ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
«ИРКУТСКИЙ ФИЛИАЛ МНТК «МИКРОХИРУРГИЯ ГЛАЗА»
ИМ. АКАД. С.Н.ФЕДОРОВА»
МИНИСТЕРСТВА ЗДРАВООХРАНЕНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

На правах рукописи

РОЗАНОВА ОЛЬГА ИВАНОВНА

ПРЕСБИОПИЯ – КОНЦЕПЦИЯ ФОРМИРОВАНИЯ И СИСТЕМА ИНТРАОКУЛЯРНОЙ ОПТИЧЕСКОЙ КОРРЕКЦИИ

14.01.07 – Глазные болезни

ДИССЕРТАЦИЯ

на соискание ученой степени
доктора медицинских наук

Научные консультанты:

Заслуженный врач РФ,
доктор медицинских наук, профессор
А.Г. Щуко

Заслуженный деятель науки РФ,
доктор медицинских наук, профессор
В. В. Малышев

Москва-2016

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ……... 5

ГЛАВА 1. СОВРЕМЕННЫЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ОБ ЭТИОЛОГИИ, ПАТОГЕНЕЗЕ И КОРРЕКЦИИ ПРЕСБИОПИИ…. 19

1.1. Этиология, патогенез и клиническое проявление пресбиопии..…. 19

1.2. Современные подходы к коррекции пресбиопии……. 35

ГЛАВА 2. КЛИНИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ОБСЛЕДУЕМЫХ ЛИЦ. МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ЛЕЧЕНИЯ…… 59

2.1. Общая характеристика обследованных лиц…….. 59

2.2. Методы исследования…….. 63

2.3. Методы лечения…… 74

2.4. Статистические методы обработки результатов исследования……... 76

ГЛАВА 3. ИЗМЕНЕНИЕ СТРУКТУРНО-ФУНКЦИОНАЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ ГЛАЗА И ПАРАМЕТРОВ СЕНСОРНОЙ РЕЦЕПЦИИ ПРИ РАЗВИТИИ ПРЕСБИОПИИ …….. 78

3.1. Структурно-функциональные изменения глаза при формировании пресбиопии ……..... 79

3.2. Изменение параметров физиологической оптической системы при формировании пресбиопии …… 94

3.2.1. Оптические аберрации глаза у пациентов с пресбиопией……... 95

3.2.2. Изменение биомеханики аккомодационного ответа при развитии пресбиопии……..... 105

3.2.3. Изменение зрачкового ответа при формировании пресбиопии……..... 119

ГЛАВА 4. ИЗМЕНЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ СЕНСОРНОЙ РЕЦЕПЦИИ ПРИ ФОРМИРОВАНИИ ПРЕСБИОПИИ …….. 130

4.1. Изменение монокулярных зрительных функций при формировании пресбиопии …….. 131

4.2. Нарушение бинокулярного взаимодействия в патогенезе пресбиопии…… 142

ГЛАВА 5. ИЗМЕНЕНИЕ ВНУТРИСИСТЕМНЫХ ВЗАИМООТНОШЕНИЙ В ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ЗРИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ПРИ ФОРМИРОВАНИИ ПРЕСБИОПИИ…….…... 153

ГЛАВА 6. РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ИНТРАОКУЛЯРНОЙ ОПТИЧЕСКОЙ КОРРЕКЦИИ ПРЕСБИОПИИ…….... 165

6.1. Хирургическая интраокулярная оптическая коррекция пресбиопии……..... 165

6.1.1.Интраокулярная коррекция пресбиопии по принципу моновидения……. 166

6.1.2..Интраокулярная коррекция пресбиопии с помощью псевдофакичных рефракционных мультифокальных ИОЛ…….. 178

6.1.3 .Интраокулярная коррекция пресбиопии с помощью псевдофакичных дифракционно-рефракционных мультифокальных ИОЛ……. 185

6.2. Восстановление бинокулярного взаимодействия у пациентов с пресбиопией после интраокулярной оптической коррекции…….. 194

6.2.1. Результаты диплоптического лечения пациентов с мультифокальными рефракциоными ИОЛ……..... 198

6.2.2. Результаты диплоптического лечения пациентов с мультифокальными комбинированными ИОЛ…… 208
6.3. Критерии отбора пациентов на мультифокальную оптическую коррекцию с учетом состояния бинокулярного взаимодействия (практические рекомендации)…….. 219
ЗАКЛЮЧЕНИЕ…… 222
ВЫВОДЫ…… 248
СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ……... 252
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ……. 253

ВВЕДЕНИЕ

АКТУАЛЬНОСТЬ ТЕМЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И СТЕПЕНЬ ЕЕ РАЗРАБОТАННОСТИ

Согласно рекомендациям Ассамблеи ООН по здравоохранению (2002), определяющим приоритеты изучения физиологических механизмов старения и факторов активного долголетия, решение проблемы пресбиопии может стать значимым вкладом в сохранение активности и полноценной жизни лиц пожилого возраста.

Современные методы оптической коррекции пресбиопии основаны на стратегиях моновидения, мультифокальности и увеличения глубины резкости, однако следует отметить, что ни одна из этих моделей не является универсальной и до конца разработанной [Gild A., 2015; Pallikaris I.G., 2012]. Модель моновидения сопряжена с ухудшением стереозрения, нарушением восприятия в зоне Панума, а также риском неполного формирования функциональной скотомы подавления и развития (в 20% случаев) синдрома монофиксации [Ito M., 2009; Vojniković B., 2013]. Стратегия мини-моновидения (с достижением анизометропи в 1 дптр) имеет определенные преимущества, так как позволяет достигать хорошие функциональные результаты с минимальным риском негативных последствий [Jain S., 2001; Сенченко Н.Я., 2011; Zettl S., et al., 2014; Labiris G., et al., 2015].

Эффективность мультифокальной коррекции пресбиопии зависит от феномена подавления одного из сформированных зрительных образов при четкой визуализации другого (монокулярного соперничества) и требует определенного периода нейроадаптации для получения качественного

зрительного изображения в условиях новой оптической системы, не имеющей физиологических аналогов [Балашевич Л.И., с соавт., 2008; Calladine D., 2012; Javitt J.C., 2000; Tan N., et al., 2014].

Отбор пациентов для имплантации мультифокальных ИОЛ должен быть строгим [Chang D.F., 2008; Pepin S.M., 2008], но при правильном подходе данный метод коррекции позволяет достичь у большинства пациентов независимости от очковой коррекции и удовлетворения полученным зрением [Беликова Е.И. с соавт., 2011; Малюгин Б.Э., с соавт., 2005;, Малюгин Б.Э., с соавт., 2012; Тахтаев Ю.В., 2008; Темиров Н.Э.,с соавт., 2010; Темиров Н.Э., с соавт., 2015; Франклин Э., 2012; Шелудченко В.М.,2012; Cochener B.,et al., 2011; Guttman C., 2009].

Тем не менее, вне зависимости от модели мультифокальной ИОЛ, всегда есть доля пациентов, предъявляющих после их имплантации жалобы на зрительную дисфотопсию в виде нечеткости изображения, затуманивания, «голографического» зрения, 3D - зрения. Данный синдром назван как «waxy vision dysphotopsia», в 5 % случаев приобретает жесткие формы и является показанием для эксплантации ИОЛ [Bucci F.A, 2007]. По данным K.Shimizu (2011) и M. Ito (2009) имплантация мультифокальных ИОЛ сопряжена с трудностями достижения нейроадаптации и адекватного нейропроведения, что проявляется в виде снижения амплитуды и увеличения латентности зрительных вызванных потенциалов. K.J. Ciuffreda (2012) высказал мнение, что проблема адаптации пациентов к мультифокальности может быть связана с индивидуальными особенностями вергентного ответа и фузионной способности пациента. Однако до конца причины дисфотопсии у пациентов с пресбиопией после имплантации мультифокальных ИОЛ остаются неясными. По данным различных авторов эксплантация мультифокальных ИОЛ составляет от 3 до 10% [Bassam; A. С соавт., 2011; Bucci F.A, 2011; Fernández-Buenaga R., et al.,2012; Foroozan R.

2012, Kamiya K.,et al., 2014; Shimizu K.,et al, 2011; van der Mooren M.,et al., 2015; Werner J.S.,2010].

До сих пор ключевым подходом в коррекции пресбиопии остается метод проб и ошибок [Pallikaris I.G., 2012], а эксплантация мультифокальных ИОЛ рассматривается как «силовой прием рефракционной хирургии» [Bassam A., et al., 2011]. Во многом это связано с тем, что внедрение новых хирургических методик коррекции пресбиопии сталкивается с определенным недостатком целостного представления о том, каким является состояние и деятельность зрительной системы у пациента с пресбиопией.

Это может быть связано с тем, что в литературе пресбиопия рассматривается лишь с точки зрения интраокулярных изменений [Егорова Г.Б., с соавт., 2004; с Пивоваров Н.Н.,с соавт.,2010; Страхов В.В. с соавт., 2006; Страхов В.В. с соавт., 2007; Страхов В.В., с соавт., 2012; Meister D.J., 2008; Sheppard A.L., 2010; Goldberg D.B., 2015].

Однако, исходя из теории функциональных систем, выпадение какого-либо функционального компонента в деятельности организма сопровождается мерами по его компенсации или адаптации к дефициту [Анохин П.К., 1975; Меерсон Ф.З., 1984; Судаков К.В., 1987, 2009; Крыжановский Г.Н., 2002; Малышев В.В., с соавт., 2004; Крыжановский Г.Н., 2011; Андрианов В.В., 2013; Бердников Д.В., 2014 и др.]. Поэтому снижение аккомодационного ответа, лежащего в основе развития пресбиопии, неизбежно должно сопровождаться нарушением баланса между компонентами, синкинетически решающими задачи ретинального дефокуса, приближения зрительного объекта, освещенности сетчатки, ретинальной диспаратности, вергентной адаптации. В последние годы взгляд на развитие пресбиопии претерпевает изменения, и считается, что пресбиопия это не просто потеря способности к фокусировке ближних

объектов, а «старческая болезнь», в основе которой лежит изменение всей зрительной системы [Hipsley, AM. Et al., 2006; Hipsley AM., 2012; Werner, J. et al., 2012].

Вместе с тем, анализ отечественной и зарубежной литературы продемонстрировал отсутствие системного подхода к изучению пресбиопии, который позволил бы более обоснованно разработать патогенетически ориентированные методы коррекции. До настоящего времени полностью не изучены многие ключевые механизмы патогенеза пресбиопии, особенно в различных рефракционных условиях. Остаются невыясненными «адаптационные механизмы поддержания стабильности зрительного образа» в условиях снижения аккомодационной способности [Werner, J. et al., 2012]. Недостаточно изучены закономерности изменения статических и динамических компонентов физиологической оптической системы при утрате аккомодации у пациентов с различными видами рефракции. Также остается неясным, каким образом происходит реорганизация многокомпонентных процессов сенсорной рецепции бинокулярной зрительной системы.

ЦЕЛЬ

- раскрыть механизмы формирования пресбиопии и на этой основе разработать и обосновать патогенетически ориентированную систему интраокулярной оптической коррекции при пресбиопии.

ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

1. Выявить закономерности изменения интраокулярных структурных взаимоотношений и уровня ВГД при формировании пресбиопии в различных рефракционных условиях.
2. Исследовать оптическую систему глаза, выяснить изменения аккомодационного и зрачкового ответа при формировании пресбиопии.
3. Установить характер изменения сенсорной рецепции и перцепции при развитии пресбиопии у пациентов с эмметропией, миопией, гиперметропией.
4. Выяснить изменения бинокулярного взаимодействия при формировании пресбиопии у пациентов с различными видами рефракции.
5. Раскрыть механизмы трансформации деятельности зрительной системы при формировании пресбиопии.
6. Оценить эффективность восстановления монокулярных и бинокулярных зрительных функций у пациентов с пресбиопией после имплантации псевдофакичных монофокальных ИОЛ по принципу моновидения, псевдофакичных мультифокальных рефракционных ИОЛ, псевдофакичных дифракционно-рефракционных мультифокальных ИОЛ.
7. Разработать и внедрить патогенетически ориентированные принципы коррекции пресбиопии с учетом выявленных изменений в системе бинокулярного зрительного восприятия.

НАУЧНАЯ НОВИЗНА

1. Впервые установлено, что пресбиопия, отражая генетически детерминированные инволюционные изменения хрусталика, представляет собой формирующийся комплекс оптических, морфологических, гидродинамических и сенсорно-рецепторных изменений органа зрения, сопровождающийся устойчивым рассогласованием процессов зрительного восприятия, и имеющий общие и специфические механизмы развития в различных рефракционных условиях.

2. Структурные иридо-цилиарные взаимоотношения при пресбиопии у пациентов с эмметропией, миопией и гиперметропией существенно различаются по расположению и конфигурации внутренней вершины цилиарного тела, степени акцентирования циркулярной порции цилиарной мышцы, величине зрачка.

3. Выявлено, что аккомодационный ответ в норме характеризуется трансформацией не только хрусталика, цилиарной мышцы и зрачка, но и существенным изменением оптических параметров роговицы с уменьшением периферической тангенциальной кривизны, деформацией лимбальной части, изменением волнового фронта роговицы, уменьшением корнеальной сферической аберрации.

4. Установлено, что помимо искажения аккомодационного ответа, общим звеном трансформации физиологической оптической системы при пресбиопии является увеличение суммарного числа интраокулярных аберраций, уменьшение диаметра зрачка в мезопических условиях освещенности. В отличие от тенденции к уменьшению минимально возможной величины зрачка при пресбиопии у пациентов с эмметропией и миопией, у лиц с гиперметропией, исходная величина зрачка в

фотопических условиях освещения, согласованная с величиной тонической аккомодации, увеличивается.

5. Определено, что весомый вклад в депрессию сенсорного зрительного восприятия при формировании пресбиопии (вне зависимости от вида рефракции) вносит увеличение эффекта светорассеивания и дизрегуляция формирования ретинального образа, что сопровождается изменением межрецепторного взаимодействия сетчатки, усилением внутреннего шума зрительной системы, изменением временных характеристик процессов зрительного восприятия.

6. Приоритетными являются данные о наличии устойчивого нарушения бинокулярного взаимодействия у пациентов с пресбиопией. Выявлена прямая зависимость площади фузионного поля от объема абсолютной аккомодации. Выяснено, что у пациентов, вне зависимости от вида рефракции глаза, при развитии пресбиопии происходят уменьшение площади фузионного поля, сдвиг амплитудного предела фузионного рефлекса при приближении, снижение фузионной способности при конвергенции и снижение уровня бинокулярной суммации.

7. На основе построения искусственной нейронной сети, впервые установлены последовательность и совокупность наиболее информативных признаков, являющихся важными звеньями патогенеза пресбиопии. Разработана концептуальная схема формирования пресбиопии и определены принципы патогенетически обоснованной коррекции пресбиопии, предусматривающие помимо оптической компенсации лечебные мероприятия по активизации бинокулярного взаимодействия.

8. Важное клиническое значение имеют данные о том, что выполнение интраокулярной оптической коррекции пресбиопии с имплантацией мультифокальных ИОЛ не устраняет феномен подавления фузионного рефлекса. Определено негативное влияние интраокулярной

коррекции пресбиопии по принципу моновидения на амплитудные пределы фузионного рефлекса.

9. Установлено, что введение в комплекс лечебных мероприятий диплоптического лечения у пациентов с пресбиопией позволяет не только расширить границы фузионного поля, но и повысить разрешающую способность глаза, значительно улучшить состояние функциональной лабильности всей зрительной системы.

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ И ПРАКТИЧЕСКАЯ ЗНАЧИМОСТЬ РАБОТЫ

1. Впервые предложен и внедрен в практику метод интерактивной регистрации аккомодации и псевдоаккомодации, прецизионно отражающий трансформацию переднего отрезка глаза в момент аккомодационного ответа.

2. Разработан метод диагностического обследования, позволяющий количественно оценить состояние фузионного диспаратного рефлекса, пределы вергентной адаптации у пациентов с пресбиопией.

3. На основании полученных результатов разработана концепция формирования пресбиопии, что может лечь в основу проведения патогенетически обоснованной коррекции пресбиопии у пациентов с различными видами рефракции.

4. Обоснованы и внедрены в практику принципы коррекции пресбиопии, включающие последовательное устранение системообразующих патологических факторов за счет выполнения оптической компенсации утраченной аккомодации, восстановления

бинокулярного сотрудничества вблизи в условиях свободной гаплоскопии и повышения функциональной лабильности зрительной системы.

5. Разработан способ улучшения зрительных функций у пациентов с пресбиопией, основанный на активизации физиологического двоения, проведении курса бинариметрии с применением серии усложняющихся двойных тестов и дополнительного диплоптического устройства. Разработано устройство для проведения диплоптического лечения у пациентов с пресбиопией.[1]

6. Результаты практической реализации настоящей работы убедительно показали биологическую обоснованность и клиническую целесообразность разработанных принципов лечения пациентов с пресбиопией и незрелой катарактой. Разработаны практические рекомендации по отбору пациентов на мультифокальную оптическую коррекцию с учетом состояния бинокулярного взаимодействия.

7. Комплекс лечебных мероприятий, включающий расширенное диагностическое обследование пациентов с пресбиопией и лентикулярными помутнениями, последующие факоэмульсификацию с имплантацией мультифокальной ИОЛ, диплоптическое лечение на бинариметре, внедрен в клиническую практику Иркутского филиала ФГБУ «МНТК «Микрохирургия глаза» имени академика С.Н. Федорова» Минздрава России, Клиники глазных болезней Иркутского государственного медицинского университета.

8. Результаты исследования внедрены в учебный процесс Международного рефракционного курса «Clinical Methology in Refractive, Cataract and Corneal Surgery», проводимым под руководством Jorge L. Alio (Miquel Hernandez University, Аликанте, Испания).

---

[1] «Устройство для проведения диплоптического лечения», Патент № RU 00097625 U1; приоритет 15.07.2009.

9. Разработан способ оценки пространственных границ и количественного расчета площади фузионного поля, в пределах которого возможно слияние двойных изображений у пациентов с бинокулярным характером зрения. Разработанный способ оценки бинокулярного взаимодействия и полученные результаты его использования в оценке бинокулярного статуса у пациентов с пресбиопией внедрены в работу Международной исследовательской группы «AceVision» (США-Тайвань).

10. Результаты исследования внедрены в учебный процесс кафедры глазных болезней ГБОУ ВПО «Иркутский государственный медицинский университет» Минздрава России, кафедры глазных болезней ГОУ ДПО «Иркутская государственная медицинская академия постдипломного образования» Минздрава России.

11. По результатам работы изданы методические рекомендации, монография: Пресбиопия/ под ред. О.И. Розановой, А.Г. Щуко. – Москва: Офтальмология, 2015. 154 с.

ПОЛОЖЕНИЯ, ВЫНОСИМЫЕ НА ЗАЩИТУ:

1. У пациентов с различной рефракцией глаза формирование пресбиопии отличается по типу лентикулярно-иридо-цилиарных взаимоотношений и характеру оптической дезорганизации. Депрессия зрительного восприятия при формировании пресбиопии у пациентов с различными видами рефракции помимо дефицита аккомодационного ответа детерминирована увеличением процессов светорассеивания, несогласованностью формирования ретинального образа, и нейросенсорной дисфункции.

2. Трансформация внутрисистемных взаимоотношений при развитии пресбиопии, подтвержденная построением искусственной нейронной сети и результатами многофакторного дискриминантного анализа, выражается в виде совокупности первичных нарушений лентикулярного компонента аккомодации и комплекса изменений со стороны цилиарной мышцы, зрачковой диафрагмы, фузионной способности, дифференцированно проявляющихся при различных видах рефракции.

3. Феномен бинокулярной супрессии при пресбиопии, выражающийся в торможении физиологического двоения вблизи, снижении фузионной способности в зоне конвергенции, уменьшении площади фузионного поля является резистентным к оптической коррекции пресбиопии.

4. Восстановление бинокулярного сотрудничества в комплексе с оптической компенсацией утраченной аккомодации и имеющихся рефракционных нарушений является патогенетически обоснованным принципом при проведении полноценной коррекции пресбиопии.

СТЕПЕНЬ ДОСТОВЕРНОСТИ И АПРОБАЦИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ

Степень достоверности проведенного исследования определяется достаточным и репрезентативным объемом выборок исследования пациентов с использованием современных инструментальных и психофизиологических диагностических методов. Полученные данные обработаны с применением одномерных и многомерных методов

статистического анализа, результаты достоверны и аргументированы.

Материалы диссертации представлены и обсуждены на: на 6-й и 7-й Конференции Международного общества по пресбиопии (Лондон, Великобритания, 2014; Барселона, Испания, 2015), на Конгрессах Европейского общества катарактальных и рефракционных хирургов (Будапешт, Венгрия, 2010; Париж, Франция, 2010; Стамбул, Турция, 2011; Вена, Австрия 2012; Милан, Италия, 2013; Лондон, Великобритания, 2014), Конгрессе Американского общества катарактальных и рефракционных хирургов (Chicago, США, 2012), Конгрессе сложных случаев в офтальмологии COPHY (Лиссабон, Португалия, 2014), Конгрессе «EyeAdvance» (Мумбаи, Индия, 2014), 31 Конгрессе Азиатско-Тихоокеанской академии офтальмологии (Тайбэй, Тайвань, 2016), Всероссийской научно-практической конференции с международным участием «Федоровские чтения» (Москва, Россия, 2009, 2011, 2012, 2013, 2014), VIII, IX, X Съездах офтальмологов России (Москва, Россия, 2010, 2015), IX, XII, XIII Международной научной конференции «Современные технологии катарактальной и рефракционной хирургии» (Москва, Россия, 2008, 2011, 2012), XII Международной научной конференции «Современные технологии катарактальной и рефракционной хирургии» (Москва, Россия, 2011), V Международной конференции «Современные аспекты реабилитации в медицине» (Ереван, Армения, 2011), VI Евро-Азиатской конференции по офтальмохирургии (Екатеринбург, Россия, 2012), III Международном симпозиуме РАМН «Осенние рефракционные чтения. Миопия: болезнь или нарушение рефракции?» (Москва, Россия 2012), 1-й Межрегиональной конференции с международным участием «Аккомодация. Проблемы и решения» (Ярославль, Россия, 2013), VIII Российском общенациональном офтальмологическом форуме (Москва, Россия, 2015), XI офтальмологической конференции «Рефракция-2015.

Рефракционные и аккомодационные аспекты гидродинамики и глаукомы» (Самара, Россия, 2015), расширенной клинической конференции МНТК Микрохирургия глаза» имени академика С.Н. Фёдорова» (Москва, Россия, 2012, 2016), расширенном заседании научно-медицинского совета Иркутского филиала ФГУ «МНТК «Микрохирургия глаза» имени академика С.Н. Фёдорова» Минздравсоцразвития России и кафедры глазных болезней ГОУ ДПО «Иркутская государственная медицинская академия постдипломного образования» Минздрава России (Иркутск, Россия, 2015).

Автором осуществлялось планирование, набор фактического материала, обобщение и статистическая обработка результатов исследования. Доля участия автора в получении материала составляет более 80%, а в обобщении и анализе накопленных данных – 100 %.

ПУБЛИКАЦИИ

По теме диссертационного исследования опубликовано 70 печатных работ, в том числе 3 рецензируемые монографии, 26 статей в рецензируемых научных журналах, включенных в список изданий, рекомендуемых ВАК Министерства образования и науки России для публикации основных научных результатов диссертационных работ, 1 Патент РФ, получено 3 положительных решения на изобретение.

СТРУКТУРА И ОБЪЕМ ДИССЕРТАЦИИ

Диссертация изложена на 297 страницах и состоит из введения, обзора литературы, описания методов исследования и клинической характеристики больных, пяти глав результатов собственных исследований и их обсуждений, заключения, выводов. Работа иллюстрирована 43 рисунками и 52 таблицами. Указатель литературы содержит 403 работы (143 отечественных и 260 иностранных источников).

СОВМЕСТНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Разработанный способ оценки бинокулярного взаимодействия использован в совместных исследованиях Международной исследовательской группой «AceVision» в рамках Клинических испытаний LaserACE (руководитель AM Hipsley, DPT, PhD, США).

На основании полученных результатов исследования, совместно с группой проф. Jorge L. Alio (исследовательская пллатформа ESCRS), составлены клинические рекомендации по оценке бинокулярного взаимодействия при проведении рефракционной и катарактальной хирургии «Clinical Methology in Refractive, Cataract and Corneal Surgery» (2016).

ГЛАВА 1. СОВРЕМЕННЫЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ О РАСПРОСТРАНЕННОСТИ, ЭТИОЛОГИИ, ПАТОГЕНЕЗЕ И КОРРЕКЦИИ ПРЕСБИОПИИ

1.1. Этиология, патогенез и клиническое проявление пресбиопии

Общепризнано прогрессирующее увеличение в популяции доли лиц с пресбиопией, что связано с тенденцией старения населения [23, 31]. В настоящее время в мире более 1,7 миллиарда человек страдают пресбиопией [178], что определяет не только медицинскую, но и социальную значимость данной проблемы. Долгосрочные прогнозы ООН показывают, что к 2030 г. демографическая картина мира существенно изменится, при этом возрастет доля лиц среднего и старшего возраста. Именно поэтому разработана Программа ООН по исследованию старения в 21 веке, утвержденная Второй Всемирной Ассамблеей ООН по старению (Мадрид, 2002), в которой уделено большое внимание биомедицинским приоритетам, направленным на лучшее понимание физиологических механизмов старения и факторов долголетия. Проблема старения общества требует развития новых перспективных направлений медицины с внедрением альтернативных технологий для сохранения активности и полноценной жизни лиц пожилого возраста [262], что, безусловно, относится и к коррекции пресбиопии, являющейся уделом каждого человека.

Согласно Международной классификации болезней (МКБ-10) пресбиопия (presbyopia: от греч. presbys – старый и opsis – зрение) относится к классу нарушений рефракции и аккомодации (H 52.4) и представляет

собой постепенное, естественное, обусловленное возрастом, необратимое снижение аккомодационной способности глаза, которое выражается в медленно прогрессирующем ухудшении остроты зрения при работе на близком расстоянии [28].

Наступающая в пожилом возрасте неспособность ясно видеть вблизи привлекла к себе внимание еще в глубокой древности. Так можно утверждать хотя бы из-за того, что термин, от которого произошло название "presbyopia" ("старческое зрение"), встречается еще в сочинениях Аристотеля. Аристотель, Цицерон, Светоний и другие греческие философы переходили в разряд старейшин именно в том возрасте, когда утрачивали способность хорошо видеть вблизи и просили читать молодых учеников [цит по 254].

Первые признаки пресбиопии проявляются в возрасте 40-45 лет и порой являются первым признаком инволюционных физиологических изменений организма. Начало проявления пресбиопии не связано с фиксированным возрастным периодом, а больше зависит от рабочего расстояния вблизи или расстояния для чтения в зависимости от индивидуума. Даже если эти расстояния одинаковые, начало пресбиопии зависит от многих других факторов, таких как рефракционные условия, тип коррекции и общее здоровье человека.

По другую сторону от этих индивидуальных вариаций находятся несколько других факторов, определяющих начало пресбиопии в мировой популяции. Время появления первых признаков пресбиопии различается и в зависимости от характеристик окружающей среды – уровня солнечной радиации, в частности ультрафиолетовой составляющей света, и от температуры окружающей среды. Считается, что эти факторы оказывают отрицательное влияние на динамику изменений хрусталика [205, 316]. Именно с этим связано, что жители Скандинавии значительно в позднем

возрасте жалуются на ухудшение зрения вблизи, чем жители Средиземноморья, а жители Средиземноморья, в свою очередь, позже, чем жители тропиков. Помимо этого, по данным M. Kajiura [283], улучшение экономических и санитарно-гигиенических условий ведёт к более позднему проявлению пресбиопии. На проявление симптомов пресбиопии влияет характер и сложность выполняемых зрительных задач, уровень освещенности и другие условия рабочего места [28, 72, 113, 304, 351, 339]. Кроме того, имеются сведения, что на время проявления пресбиопии может оказывать действие как генетические аспекты [350, 351], так и образ жизни, хронический недостаток первичных аминокислот или воздействие токсических факторов [275, 370]. Гендерных различий по степени снижения аккомодации с возрастом не выявлено, однако на основании выполненного мета-анализа установлено, что у женщин чаще требуется коррекция пресбиопии [349], что связано с особенностями зрительных задач.

Впервые (в 1864 г.) на возможную связь между снижением зрения вблизи и уменьшением величины аккомодации указал F.C. Donders [218]. В течение последующих длительных дебатов были сформулированы две классических теории пресбиопии. Согласно этим теориям, в основе развития пресбиопии лежат изменение функциональной активности ресничной мышцы и изменение упругости хрусталика. Обе теории пресбиопии базируются на классической теории аккомодативного механизма Гельмгольца (1855), согласно которой цилиарное тело меняет баланс двух пассивных биомеханических компонентов: эластичности хрусталика и восстановительного (возвращающего на прежнее место) элемента, под которым предполагалась хориоидея. Движение цилиарной мышцы вперед и в радиальном направлении расслабляет зонулярные волокна, и хрусталик становится более сферичным. В покое цилиарная

мышца расслабляется и позволяет упругой хориоидее натягивать цилиарную мышцу кзади, что ведет к натяжению передних ресничных связок и уплощению хрусталика. Теории пресбиопии отличают между собой отношение к участию цилиарной мышцы и предсказывают различные взаимоотношения между сокращением цилиарной мышцы и изменением формы хрусталика.

Согласно наиболее ранней *лентикулярной теории Hess-Gullstrand*, пресбиопия считается следствием уменьшения способности хрусталика менять свою форму, а изменения цилиарной мышцы не рассматриваются как значимые. При этом изменения в механических свойствах хрусталика происходят неравномерно. В зоне, где хрусталик еще способен к модификации, находится зона манифестации ответа («манифестная область»), вне этой зоны, в местах ограничения механических свойств хрусталика, находится латентная область аккомодационного ответа [цит по 236]. Если латентная область существует, как предполагали C. Hess и A. Gullstrand, то ослабление мышцы возможно и без соответствующего изменения формы хрусталика.

В модификации этой теории по M. Alpern мышечно-хрусталиковые взаимоотношения имеют первично латентную область, но постепенная атрофия из-за отсутствия необходимого напряжения выключает и эту латентную область [162]. Слабость цилиарной мышцы является следствием хрусталиковой неподвижности и наступает в различных анатомических зонах неравномерно.

Очевидно, что хрусталик играет самую существенную роль в процессе аккомодации. Рост хрусталика продолжается в течение всей жизни - происходит увеличение кортикального вещества, возрастает его масса и плотность, снижается радиус кривизны передней поверхности хрусталика. Вследствие возрастной физиологической инволюции происходят

склерозирование хрусталика и изменение его гистохимических свойств [62, 153, 242], что и ведет к способности хрусталика к трансформации. Именно поэтому состояние хрусталика является своеобразным маркером биологического возраста и общего состояния организма человека [28, 62, 170, 197, 280, 288, 289, 344, 346, 347].

Различие в степени зрелости волокон хрусталика зависит от его белкового состава, генетически детерминируемого. Собственные белки хрусталика (кристаллины) на основании физико-химических свойств классифицированы в три основных класса: α-, β-, γ- кристаллины [251]. Большую часть среди них представляют α-кристаллины, обладающие теплошоковыми свойствами и выполняющие функцию сопровождения (белки-шапероны). Эти кристаллины защищают прозрачность хрусталика и предотвращают образование агрегатов при повышении температуры, при окислительном воздействии или при токсическом действии тяжелых металлов [263].

Несмотря на постоянный клеточный состав, хрусталик претерпевает последовательные изменения в течение всей жизни человека [62, 71, 170] - происходит увеличение кортикального вещества, возрастает его масса и плотность, снижается радиус кривизны передней поверхности хрусталика. Скорость и характер созревания лентикулярных волокон также зависят от соотношения состава собственных белков хрусталика - кристаллинов, соотношение которых также генетически детерминировано. Вследствие возрастной физиологической инволюции происходят склерозирование хрусталика и изменение его гистохимических свойств [62], что и ведет к утрате способности хрусталика к трансформации. Формирование пресбиопии напрямую зависит именно от увеличения передне-заднего размера хрусталика [353].

Adrian Glasser с соавт. (1998) на основании результатов, полученных с помощью лазерной сканирующей техники, представил дополнительные свидетельства, что у лиц старше 60 лет хрусталик не способен к растяжению и формированию сферических аберраций [244].

Долгое время считалось, что ответственность за развитие пресбиопии лежит на изменении формы хрусталика, главным образом в экваториальной зоне, и уменьшении в связи с этим рабочего расстояния для аккомодации [113, 150, 169, 170, 286]. Однако по последним данным, представленным K. Richdale (2013), формирование пресбиопии напрямую зависит именно от увеличения передне-заднего размера хрусталика [353]. Выполненные K. Richdale исследования с применением высокоразрешающей техники МРТ 7 Тесла позволили вычислить математическую зависимость степени утраты аккомодации при формировании пресбиопии от различных факторов и показали, что степень увеличения экваториальной части хрусталика не привносит столь значимого вклада в дефицит аккомодации.

В соответствии с *экстралентикулярной теорией* (Duane A., 1925), первичными в формировании пресбиопии являются изменения в цилиарной мышце - склероз задних “сухожилий” ресничной мышцы, атрофия продольной и радиальной ее частей, а также утолщение циркулярной части этой мышцы [220, 221]. Изменения в цилиарной мышце ведут к изменению баланса в аппарате подвешивания хрусталика: уменьшается диаметр поддерживающего кольца, позволяющего округляться хрусталику. Согласно этой теории, самостоятельных изменений в хрусталике не происходит, а сократительная сила цилиарной мышцы с возрастом увеличивается. Авторы данной теории придерживаются мнения, что максимальное сокращение цилиарной мышцы продуцирует максимальный аккомодативный ответ независимо от возраста. Вместе с тем, изменения в цилиарной мышце ведут к изменению баланса подвешивания хрусталика:

уменьшается диаметр поддерживающего кольца, позволяющего округляться хрусталику. E. Fincham (1937) предложил свою концепцию видения пресбиопии, которая предполагает, что изменение аккомодации происходит первично из-за хрусталика, но все же является итогом сокращения цилиарной мышцы для получения необходимого аккомодативного ответа [232]. При этом важную роль в формировании пресбиопии играет утрата возможностей капсулы хрусталика к моделированию формы. Хотя теории A. Duane и E. Fincham постулируют различные причины развития пресбиопии (мышца начинает, хрусталик завершает), они обе говорят об одинаковых мышечно-лентикулярных взаимоотношениях. Мышечная активность всегда продуцирует некоторый, иногда маленький, хрусталиковый ответ, и максимум аккомодативного ответа может всегда сопровождаться максимумом мышечного усилия: если дополнительное мышечное сокращение было возможно произвести, то и более сильный аккомодативный ответ будет достигнут [393].

Тем не менее, до сих пор в экспериментальных исследованиях данные теории не получили однозначной поддержки. Подкреплением как для той, так и для другой теории являются результаты ряда исследований.

В поддержку лентикулярной теории говорят данные, что изменения в соотношении аккомодационной конвергенции к аккомодации (АКА) с возрастом могут быть различными - в возрастном периоде с 30 до 45 лет АКА увеличивается приблизительно на 0,1 призм-дптр/дптр за год. После 45 лет эти измерения не являются достаточно достоверными из-за слабости аккомодативного ответа. Эти изменения вполне согласуются с теорией Hess-Gullstrand. Также поддержка лентикулярной теории была найдена при выполнении экспериментальной циклографии, обеспечивающей количественное измерение активности цилиарной мышцы. J.J.Saladin и L.Stark (1975), выявив истинную латентную зону, показали наличие

активности цилиарной мышцы при отсутствии аккомодативного ответа [316]. G.Swegmark (1969) приводит данные об изменении электрического сопротивления в цилиарной мышце во время аккомодации и показывает, что активность цилиарной мышцы, необходимая для аккомодативного ответа в зоне манифестного региона, не меняется с возрастом, вплоть до 60 лет, что должно происходить согласно экстралентикулярной теории [374]. Это происходит, несмотря на то, что в цилиарном теле действительно наблюдаются проявления инволюционной дистрофии (дегенеративные изменения цинновой связки, прекращение образования мышечных волокон цилиарной мышцы, замещение их соединительной тканью, кистозные изменения цилиарного эпителия и некоторые другие [2, 21]. Лентикулярной теории развития пресбиопии придерживается большинство офтальмологов [2, 63, 72, 111, 214, 285, 286, 296].

Однако нельзя считать все происходящие изменения глаза при формировании пресбиопии однозначным явлением. Экстралентикулярные процессы также играют значительную роль и указывают на явные погрешности теории Hess-Gullstrand. Например, лентикулярная теория допускает, что максимум аккомодации предваряет максимальное сокращение цилиарной мышцы; следовательно, умеренное увеличение или уменьшение мышечной сократительной способности не должно оказывать влияния на величину максимального аккомодативного ответа. Исследования E.F.Fincham (1955) и позднее J.B.Eskridge (1984) показали, что, если активность цилиарной мышцы увеличивается или уменьшается (с использованием парасимпатических и симпатических лекарственных препаратов), то соответственно меняется и максимальный аккомодативный ответ [226, 233]. Эти данные позволяют предположить, что слабость цилиарной мышцы может вызывать потерю аккомодации.

По данным ядерно-магнитного резонанса диагностика взаимоотношений между цилиарной мышцей и хрусталиком при развитии пресбиопии ясно показала активность цилиарной мышцы во всех стадиях аккомодативного ответа. По мнению S.A. Strenk (1999) эти данные должны поддерживать теорию первичности лентикулярных изменений при пресбиопии [150]. Однако, уменьшение диаметра неаккомодатирующей мышцы строго коррелировалось с возрастом, поэтому возможность вторичности лентикулярных изменений при снижении напряжения, создающегося с помощью цилиарного кольца, остается открытой.

Установлено уменьшение натяжения и провисание средней и задней частей связочного аппарата хрусталика с измененным направлением их прохода между экватором хрусталика и короной цилиарного тела [112]. Выявлены ограничения со стороны растяжимости и подвижности со стороны задней части цилиарной мышцы, что может быть фактором развития пресбиопии. Очевидно, что на формирование пресбиопии оказывает влияние несколько факторов, ведущих к уменьшению подвижности хрусталика и цилиарной мышцы, и их вклад не является взаимоисключающим [149, 215, 373].

Первоначально в цилиарной мышце происходит увеличение доли соединительной ткани (коллагенизация), далее наступает первая фаза видоизменения мышцы (мышца удлиняется, уплощается задняя часть мышцы, передняя - несколько утолщается). Передняя часть цилиарной мышцы становится более объемной на протяжении всей жизни, увеличение толщины цилиарного тела в области внутренней вершины составляет по данным A.L.Sheppard и L.N. Davies (2011) до 2,8 - 3 мкм в год [365]. В результате на разрезах мышца приобретает форму прямоугольного треугольника. После 55 лет развивается "старческая атрофия цилиарной мышцы" - вторая фаза видоизменений [140, 371, 372].Одновременно с

морфологическими изменениями отмечено, что функциональная способность цилиарной мышцы к сокращению сохраняется, хотя и претерпевает определенные изменения [302, 338, 151], так как из-за уменьшения эластичности хрусталика для обеспечения той же степени его кривизны мышце приходится сильнее напрягаться. Не исключена возможность вторичных атрофических изменений в ресничной мышце из-за ее недостаточной активности при развитии пресбиопии [28, 72, 111, 113]. Сократительная способность цилиарной мышцы благодаря приспособительно-компенсаторным механизмам сохраняется и при дистрофических изменениях [2, 21, 72, 113]. Крайне интересно, что изменение цилиарной мышцы при формировании пресбиопии зависит от исходных условий деятельности зрительной системы и, в первую очередь, от состояния аккомодации. Даже в пределах однородной когорты здоровых лиц размеры цилиарной мышцы значительно варьируют.

Следует отметить, что в литературе представлено ограниченное число публикаций, отражающих изменения морфологии цилиарной мышцы глаза человека с возрастом. Исследования в большей степени выполнены in vitro, либо проведены у лиц узких возрастных групп и на малых выборках. В естественных условиях проведено лишь малое число исследований, при этом часть работ выполнена на животных (макаках резус). Для этого использованы ультразвуковая биомикроспокия, оптическая когерентная томография, МРТ. Представленные в литературе результаты прижизненного исследования цилиарного тела, выполненные на глазах человека и обезьян с применением циклографии, ультразвуковой биомикроскопии (УБМ), высокоразрешающей технологии магнитно-резонансной томографии, демонстрируют, что цилиарное тело и зонулярная функция претерпевают изменения с возрастом, еще до появления первых признаков пресбиопии [147, 148, 150, 285, 286, 324, 353, 358, 371, 372].

Также неясны закономерности изменения цилиарной мышцы при развитии пресбиопии в глазах с различной рефракцией. По данным C. Oliveira (2006) у пациентов молодого возраста с осевой миопией определяются большая длина цилиарного тела и меньшие размеры передней части цилиарного тела, с осевой гиперметропией цилиарное тело тоньше, чем при миопии [198]. По мнению M.D. Bailey гипертрофия цилиарного тела имеет место при аккомодационной дисфункции, и вызвана недостаточной сократительной силой цилиарной мышцы для получения адекватного аккомодационного ответа [171], и у пациентов с миопией, как правило, имеет место утолщение задних частей цилиарной мышцы, тогда как у пациентов с гиперметропией, как правило, отмечается утолщение передней части цилиарной мышцы.

Интересное предположение выдвинуто A.L. Sheppard и L.N. Davies (2010): цилиарная мышца удлиняется в процессе формирования миопии, а сохранение развившихся взаимоотношений у пациентов с близорукостью с возрастом говорит о том, что силы, ответственные за удлинение глазного яблока по-прежнему присутствуют в более позднем возрасте, и ингибируют сдвиг цилиарной мышцы кпереди, которая наблюдается у эмметропов [364]. Исследований, направленных на выяснение изменений цилиарной мышцы при развитии пресбиопии у пациентов с миопией и гиперметропией, в литературе на момент начала настоящего исследования не найдено.

R.A.Schachar в противовес классическим теориям предложил *альтернативную теорию* развития пресбиопии, которая опирается на оригинальную гипотезу биомеханики аккомодации [361]. Предложенная им альтернативная аккомодационная теория базируется на том, что во время аккомодационного ответа увеличение цилиарной мышцы превосходит уменьшение экваториального зонулярного натяжения, что происходит вследствие движения экватора хрусталика скорее кпереди, чем от склеры. Развитие пресбиопии объясняется продолжающимся экваториальным

увеличением хрусталика и неспособностью цилиарной мышцы натягивать экваториальные связки. Однако данные гониовидеографии и УБМ показали, что во время аккомодации экватор хрусталика движется от склеры в соответствии с теорией Гельмгольца об аккомодации, и не подтвердили данные R.A.Schachar [245].

С возрастом происходят значительные сдвиги в механических свойствах и других структур глазного яблока [25, 28, 38, 39, 84, 87, 111, 258, 379], что, безусловно, должно рассматриваться как потенциально значимый механизм развития пресбиопии. Инволюционные физиологические изменения касаются всего оптического аппарата [399]. Характерными являются не только лентикулярные изменения, но и увеличение интраокулярной иррегулярности, снижение процессов световой трансмиссии и увеличение явлений рассеивания света [163, 166, 167, 188]. Известно, что у лиц старшего возраста отмечено уменьшение частоты астигматизма прямого типа и увеличение частоты астигматизма обратного типа [2, 28, 52, 72, 102, 111, 235]. Выдвинуты гипотезы, согласно которым патогенетической основой этих изменений являются: меньшая сопротивляемость роговицы давлению верхнего века, неравномерная тяга наружных экстраокулярных мышц глаза, неодинаковые эластические свойства разных участков склеры, неравномерное изменение преломляющей способности ядра хрусталика в разных меридианах [84, 102].

Развитие пресбиопии сопровождается изменениями всего увеального тракта [22, 371]. Также выявлено увеличение сопротивляемости хориоидеи [26, 399], так как хориоидея по своей биомеханической роли является пружиной, действие которой направлено против движения цилиарной мышцы в момент аккомодации. В момент аккомодационного ответа происходит сократительное движение хориоидеи практически на всем

протяжении, при этом в области ora serrata хориодея сдвигается на 1,05 ± 0,07 мм, а в перипапиллярной области - на 0,1 ± 0,02 мм. При развитии пресбиопии сократительная способность хориоидеи значительно снижается, максимальный хориоидальный сдвиг при напряжении аккомодации составляет 0,4 ± 0,12 мм в области ora serrata, а в перипапиллярной зоне - лишь 0,02 ± 0,02 мм [148].

Учитывая, что аккомодация активно влияет на гемо- и гидродинамику глаза [27, 29, 51, 85, 100, 101], развитие пресбиопии предполагает увеличение размеров хрусталика в области экватора и повышение внутриглазного давления [360]. Система регуляции аккомодации является более приоритетной в жизнедеятельности организма, чем система регуляции оттока внутриглазной жидкости [26], и именно поэтому определяет систему функционирования путей оттока водянистой влаги [26, 27, 35, 36, 103, 110, 303]. Активная работа аккомодационного аппарата ведет к снижению внутриглазного давления [69, 279, 287], и этот эффект наиболее выраженно проявляется на глазах с миопической и эмметропической рефракцией [196]. Изменения аккомодационного аппарата при пресбиопии могут иметь отношение к патогенезу первичной глаукомы [81, 82].

Помимо утраты основной аккомодационной функции отмечается изменение проприоцептивной иннервации [196, 254, 255, 261], обусловленное изменением морфологии периферийной части цилиарной мышцы. С возрастом происходит увеличение латентности на 1 мс в год и уменьшение диаметра зрачка, что, по мнению I.E. Loewenfeld [300], связано с увеличением модуля упругости радужки.

Концептуально пресбиопия является неизбежным следствием процессов старения [96, 185, 186] - процессов постепенного нарушения и потери жизненно важных функций организма. Формирование пресбиопии неразрывно связано с другими инволюционными физиологическими

процессами в организме человека, которые очень многочисленны и разнообразны, но основным проявлением является снижение способности адаптироваться к условиям окружающей среды и решению изменяющихся задач [7, 31, 56, 248, 255, 397]. Вместе с тем, «для того, чтобы ответить на вопрос, можно ли повлиять на старость в благоприятном смысле, необходимо изучить ее с различных точек зрения» - так писал И.И. Мечников ещё в 1913 г. [71].

Считается, что процессы старения человеческого организма начинаются с 39-летнего возраста. Именно с этого возраста начинаются процессы нарушения выработки миелина [174], что ведет к постепенным деградационным изменениям нервной регуляции жизнедеятельности всех органов и тканей. Поэтому неизбежно, что развитию пресбиопии сопутствуют деградационные нейросенсорной части зрительного анализатора. У пациентов с пресбиопией отмечены снижение контрастной чувствительности, изменение цветовосприятия, снижение стереозрения [12, 75, 152, 164, 190, 193, 224, 348, 372]. Более того, по мнению A. Croft (2014) именно снижение аккомодации ведет к изменению межклеточного матрикса сетчатки и может инициировать первичные функциональные изменения в деятельности сетчатки и зрительного нерва [147]. Возможно, именно этими факторами обусловлено предложение *визиодинамической теории пресбиопии (*Hipsley A.M. и Dementiev D., 2006), согласно которой пресбиопию следует рассматривать как «старческую болезнь», в развитии которой участвуют все структуры глазного яблока, и представляющую закономерное проявление возрастной инволюции глаза [258].

Изменения же бинокулярного взаимодействия при утрате аккомодации остаются мало изученными. В тезисах B.Granger-Donetti, представленных в рамках конференции Европейского общества зрительного восприятия (2006), указано, что у пациентов с пресбиопией в 81% случаев имеется

подавление бинокулярного сотрудничества в той или иной степени [250]. Выявленное снижение стереозрения при развитии пресбиопии только косвенно коррелирует с уменьшением фузионной способности [293], и причины этого остаются неясными.

Клиническое проявление пресбиопии у пациентов с различными видами рефракции значительно отличается. Известно, что пациенты с гиперметропией намного раньше жалуются на снижение зрения вблизи. Учитывая, что для компенсации гиперметропии характерно повышение привычного тонуса аккомодации, декомпенсация аккомодационной способности и проявление пресбиопии наступает уже в возрасте 36-38 лет [28].

Наличие миопической рефракции служит, наоборот, оптическим фактором компенсации пресбиопии. Однако с другой стороны, снижение аккомодационной способности усложняет исходные рефракционные нарушения, и привычная оптическая коррекция зрения становится неадекватной [312].

Наличие дополнительных оптических аберраций также является одним из факторов, увеличивающим глубину резкости (глубины резко изображаемого пространства) и компенсирующим клиническое проявление пресбиопии.

Под глубиной резкости понимается расстояние в проекции оптической оси в области фокуса, в пределах которого объекты отображаются в сопряжённой фокальной плоскости субъективно резко. Глубина фокуса глаза зависит от целого ряда внешних и внутренних факторов. Значения глубины фокуса значительно варьируют среди популяции [145].

К внешним факторам глубины фокуса относятся характеристики зрительного объекта, освещенность, контрастность, спектральный профиль и пространственно-частотные характеристики. Среди внутренних факторов,

оказывающих влияние на глубину фокуса у человека, выделяют оптические и параметры нейровосприятия. К оптическим факторам относятся: диаметр зрачка, наличие монохроматических и хроматических аберраций. К параметрам нейровосприятия, влияющим на глубину фокуса, такие как: размеры фоторецепторов, плотность ганглиозного слоя сетчатки, эффект Стайла-Кройфорда, острота зрения, пороги контрастной чувствительности, уровень бинокулярной суммации и др. [138, 183, 336].

Уменьшение диаметра зрачка способствует увеличению глубины фокуса [319, 320, 378] и позволяет в какой-то мере компенсировать снижение аккомодации. Отмечено, что с возрастом происходит некоторое сужение зрачка, выполняющего роль диафрагмы и регулирующего поступление светового потока к сетчатке глаза для получения четкого ретинального изображения. Время зрачковой реакции находится в пределах от 180 до 500 мс и увеличивается при уменьшении интенсивности светового потока [378]. Также отмечено изменение зрачковой функции: так по данным S. Dorairaj с соавт., (2007) в фотопических условиях зрачок значительно меньшего диаметра (2,904±0,84 мм), чем в мезопических условиях освещенности (3,425±1,34 мм, P =0,002) [219].

С возрастом происходит увеличение интраокулярных аберраций, которые также могут выступать в качестве фактора увеличенияя глубины фокуса. Прирост числа аберраций определяется изменением как роговицы, так и хрусталика. По данным E. Berrio с соавт. (2010), среднеквадратичное отклонение волнового фронта (RMS) увеличивается с возрастом на 0,0032 мкм/год для интраокулярных аберраций и на 0,0015 мкм/год для роговичных аберраций. При этом более значимое увеличение касается сферической аберрации (0,0011 мкм/год) и горизонтальной комы (0,0017 мкм/год) [179]. Тогда как угол каппа и характер выстраивания оптики не претерпевают значимых изменений с возрастом. Геометрические изменения

хрусталика с возрастом связаны с потерей лентикулярной трансформации и способности к компенсации аберраций, что ведет к их увеличению.

По мнению JL Alio´ с соавт., (2005) оптические характеристики хрусталика при пресбиопии и с начальными лентикулярными помутнениями очень близки и являются проявлениями единого возрастного эволюционного процесса . Об этом свидетельствует и другие авторы [25, 125, 213, 299]. В зависимости от расположения помутнений хрусталика в центре или на периферии зрение может снижаться или оставаться высоким. Если катаракта начинает развиваться на периферии хрусталика, пациент может не ощущать никаких изменений в зрении. Развитие ядерной катаракты может сопровождаться изменением рефракции в сторону миопии, что может компенсировать утраченную аккомодацию при пресбиопии.

Развитие пресбиопии может служить фактором нарушения окуло-моторной адаптации и декомпенсации имеющейся экзофории. Снижение аккомодационной способности может вести к срыву коменсации гетерофории первоначально вблизи, а затем и вдаль. Это может сопровождаться двоением и формированием явного косоглазия [137].

1.2. Современные подходы к коррекции пресбиопии

Учитывая то, что клинические проявления пресбиопии начинаются в возрасте 40-45 лет, когда человек находится на пике творческих и физических сил, недостаточное зрение на близком расстоянии знерноеачительно снижает качество жизни [265, 350, 377]. Широкое использование мобильных телефонов, компьютеров, смартфонов и других

технических устройств предполагает более деликатную коррекцию пресбиопии [18].

Таким образом, проблема коррекции этого состояния является одной из самых актуальных в современной офтальмологии. В настоящее время предложены разнообразные решения задачи коррекции пресбиопии, однако ни одно не является универсальным.

Среди всего многообразия существующих методов коррекции пресбиопии интересным выглядит подход, основанный на концепции активизации процессов антистарения в организме. С учетом того, что одним из факторов антистарения является ограничение калорийности пищи, сопровождающееся нормализацией инволюционных биохимических сдвигов в организме [395, 396], были предприняты попытки проведения диетических мероприятий и в отношении сохранения аккомодационной способности. Предприняты попытки воздействовать на пресбиопию йоговскими упражнениями [249].

Гипотеза была проверена в ходе долговременного исследования на приматах - макаках резус [309]. При снижении калорийности на 30% в течение 8-12 летнего периода отмечено, что у приматов исследуемой группы увеличение толщины хрусталика происходило от 0,02 до 0,005 мм в год ($p= 0.001$). В сравнении с представителями контрольной группы (от 0,03 до 0,005 мм в год, $p=0.001$) увеличение толщины хрусталика было несколько менее выраженным, но не являлось статистически достоверным ($p=0.086$). Карбохол-индуцированный аккомодационный ответ показал утолщение хрусталика у приматов как основной группы исследования, так и контрольной группы, однако различий между группами также не выявлено ($p=0.319$). Таким образом, в эксперименте на биологической модели с аналогичным для человека аккомодационным аппаратом доказано, что в

отношении формирования пресбиопии диетические саногенетические приемы не эффективны.

Современные подходы к коррекции пресбиопии претерпевают значительные изменения. На протяжении многих лет очки применялись в качестве единственного средства, улучшающего зрение при пресбиопии.

Очки и по сей день остаются наиболее распространенным способом коррекции пресбиопии. Предложено использовать также и бифокальные, трифокальные и прогрессивные очки [88, 89, 90, 97, 98, 99, 311, 312].

Но, следует отметить, что коррекция очками имеет свои недостатки. Так, в силу различных субъективных причин, пациенты зачастую предъявляют жалобы на ограничение поля зрения, искажение пространства при переводе взгляда с одних предметов на другие. Кроме того, существуют объективные противопоказания к очковой коррекции: профессиональные, медицинские [46, 239, 312]. Недостатком прогрессивных или бифокальных линз является снижение контрастной чувствительности и глубинного зрения из-за градиентного увеличения оптической силы линзы, что может приводить к увеличению риска падения у пациентов в возрасте 65-70 лет [301].

К сложным прогрессивным линзам необходим определенный период адаптации, иногда довольно длительный. При этом существует определенная доля пациентов с пресбиопией, которые не могут адаптироваться к такой коррекции. K.J. Ciuffreda, P. Thiagarajan показали, что адаптация к прогрессивным очковым линзам намного выше у пациентов с хорошо сохранившейся быстрой вергенцией [200].

Контактная коррекция пресбиопии берет свое начало с 1938 г., когда были созданы первые бифокальные контактные линзы. Однако данный вид контактных линз не вошел в клиническую практику из-за тенденции линз к

ротационной подвижности. Тем не менее, данный факт послужил толчком для развития мультифокальной контактной коррекции.

В последние годы появились бифокальные, мультифокальные мягкие контактные линзы, что позволило намного расширить показания к применению контактной коррекции [4, 20, 60, 83, 123, 124, 129, 180, 181, 202, 265, 281, 345, 381, 386]. Предложено использовать апертурные [372, 386], аккомодирующие контактные линзы [182], а также линзы с увеличенной глубиной фокуса [228].

В мире увеличивается число пациентов с пресбиопией, использующих контактные линзы, отдавая предпочтение мультифокальной коррекции [321]. По данным отчета Международной ассоциации производителей контактных линз (2011), доля мультифокальных контактных линз составляет 11% от всех мягких контактных линз в мире. По данным P.B. Morgan (2011), J.J. Nicols (2012), среди всех носителей контактных линз в возрасте старше 45 лет пациенты с мультифокальной коррекцией составляют 40–67 % [321, 324]. В России использование мультифокальных контактных линз для коррекции пресбиопии представлено в меньшей степени.

Помимо нехирургических методов коррекции широко внедряются хирургические технологии, направленные на достижение независимости от очковой коррекции.

Восстановление лентикулярной способности к трансформации явилось бы ключевым решением задачи коррекции пресбиопии. На данном этапе знаний накоплен небольшой материал по восстановлению естественного механизма аккомодации при проведении процедуры фотодезинтеграции хрусталика с помощью фемтосекундного лазера [313]. Концепция восстановления аккомодации за счет улучшения трансформационных свойств хрусталика с помощью ультракороткой

пульсовой лазерной энергии впервые была представлена еще в 1998 г . R. Myers с соавторами [323]. Лазерные характеристики были: 1030 nm длина волны; длительность импульса 400fs. Основной проблемой вмешательства на прозрачном хрусталике является опасность развития катаракты. Именно поэтому основной задачей развития данной технологии является разработка технологических алгоритмов, безопасных в отношении катарактогенеза. Первоначально процедуры фотодезинтеграции хрусталика были выполнены в эксперименте на глазах кроликов и приматов [216], при последующем четырехлетнем наблюдении признаков развития катаракты не выявлено.

Первым человеком, которому выполнена фотодезинтеграция хрусталика, был пациент из Мехико, которому доктор R.Tackman провел данную процедуру перед удалением прозрачного хрусталика с рефракционной целью. В 2010 г. H. Uy на Филипинах проперировал 5 пациентов. Послеоперационное наблюдение выявило прибавку аккомодации в 1,62 дптр [291, 292]. В настоящее время проводится вторая стадия клинических испытаний. Опубликованы результаты хирургического лечения 80 пациентов с пресбиопией (в возрасте от 44 до 60 лет), у 49 пациентов были признаки ядерной (2 степени плотности) или кортикальной катаракты. В результате проведенного лечения отмечено улучшение со стороны субъективной аккомодации на 60%, со стороны объективной аккомодации – на 50%, улучшение остроты зрения вблизи (с коррекцией для дали) достигнуто в 40% случаев. Однако, на данном этапе, технология фотодезинтеграции хрусталика еще крайне далека от клинической практики.

Склеральные подходы к восстановлению естественного механизма аккомодации [8, 253, 307, 308, 334, 352, 363] основаны на расширении склерального пространства и увеличении функциональной деятельности

цилиарной мышцы. Первоначально R.A. Schachar предлагал имплантировать жесткое кольцо из полиметилметакрилата. С течением времени дизайн бандажей и техника имплантации были значительно изменены, в конечном варианте было предложено имплантировать 4 коллагеновых дугообразных сегмента в 4 квадрантах. Первые операции были связаны с высоким риском послеоперационных осложнений, обусловленных истончением склеры, ишемией переднего отрезка глазного яблока, а также экструзией имплантов [253, 352, 368]. Математическое моделирование и внедрение эрбиевого лазера для выполнения микроразрезов склеры позволяет улучшить результаты [8, 258] По данным A.M. Hipsley, проведение процедуры LaserACE у 37 пациентов (74 глаза, средний возраст 54,6±5,7 лет) привело к увеличению объективной аккомодации на 1,25 - 1,5 Дптр [258, 259]. Сохранение достаточной аккомодации отмечено в течение 18-24 месяцев. Недолговечность функционального результата является основным недостатком склеральной хирургии пресбиопии.

Хирургические методы оптической компенсации аккомодации используют 3 основных принципа: моновидение, мультифокальность и увеличение глубины резкости.

Моновидение

При пресбиопии моновидение реализуется путем создания искусственной анизометропии в 1-2 диоптрии, с достижением хорошего зрения вдаль на ведущем глазу. Данный принцип коррекции предпочтительно использовать у пациентов с эмметропической или слабой гиперметрической рефракцией [91, 271, 317, 394]. Оптимальная величина прогнозируемой анизометропии при бинокулярной коррекции афакии монофокальными линзами соответствует - 1,66 ± 0,21 дптр [48]. Исходя из

наличия определенного риска развития синдрома монофиксации и [241, 389], предпочтительно использовать анизометропию в 1,0 дптр (мини-моновидение). Анизометропия менее 1,5 дптр позволяет сохранить бинокулярное взаимодействие и не оказывать выраженного влияния на стереопсис. Стратегия мини-моновидения имеет определенные преимущества, так как позволяет достигать хорошие функциональные результаты с минимальным риском негативных последствий [229, 276, 315].

Принцип моновидения успешно применяется в корнеальной рефракционной хирургии.

Коррекция пресбиопии эксимерлазерными методами является эффективной, предсказуемой, безопасной и малоинвазивной методикой. Позволяет получить высокие функциональные результаты при наличии у пациентов собственных остаточных резервов аккомодации, невысоких степеней первичной аметропии, корректного планирования рефракции цели [16].

Так, разработаны алгоритмы эксимерлазерной абляции при пресбиопии, позволяющие формировать асимметричную оптическую систему с миопической рефракции в (-) 1,25Д на ведомом глазу.

Лазерные технологии, направленные на изменение формы роговицы – радиочастотная кондуктивная кератопластика, инфракрасная лазерная термокератопластика - имеют большие перспективы использования в коррекции пресбиопии у пациентов с гиперметропией.

Лежащая в основе лазерного изменения формы роговицы лежит способность коллагеновых волокон роговицы к сокращению в результате теплового воздействия. Основателем кондуктивной кератопластики считается С. Федоров (1981). В США FDA официально одобрила применение кондуктивной кератопластики при гиперметропии низких степеней в 2002 г., а в 2004 были впервые представлены результаты по

эффективности применения лазерной кондуктивной кератопластики при пресбиопии. Разработанная в МНТК «Микрохирургия глаза» медицинская технология лазерной термокератопластики на базе отечественной лазерной установки «ОКО-1», включающая алгоритмы отбора пациентов, расчета и проведения операции, подходы к профилактике и лечению послеоперационных осложнений, является эффективным, безопасным и предсказуемым методом рефракционной реабилитации пациентов с пресбиопией и гиперметропией [80]. У пациентов с гиперметропией рефракционные вмешательства на роговице позволяют добиться коррекции не только манифестной рефракции, но и компенсировать недостаток аккомодации [58, 306, 375].

У пациентов с наличием леникулярных помутнений более простым решением пресбиопии является выполнение факоэмульсификации и имплантация монофокальных ИОЛ по принципу моновидения. Применение интраокулярных хирургических технологий является ведущим методом современной коррекции пресбиопии при отсутствии остаточных резервов аккомодации и (или) наличия аномалий рефракции высокой степени [16].

Удовлетворительные результаты имплантации монофокальных ИОЛ по принципу моновидения после удаления собственного хрусталика показаны в многочисленных работах [13, 115, 116, 191, 200, 261, 274, 297, 331, 380]. По данным M. Ito (2009) максимальная скорость чтения у пациентов с пресбиопией после имплантации ИОЛ по принципу моновидения была 350±53,3 знаков в минуту, т.е. примерно такая же, как у лиц с имплантированными мультифокальными ИОЛ (355±53,3 знаков в минуту) [274].

В целом, удовлетворенность качеством зрения при выборе стратегии моновидения среди пациентов составляет 60-75% [276].

Однако недостатком моновидения является ухудшение стереозрения, пространственной контрастной чувствительности, изменения в поле зрения, дефицит в зоне Панума. По данным B.Vojniković (2013) асимметричная коррекция ведёт к затруднениям при управлении различными устройствами и при выполнении сложных зрительных задач, требующих прецизионной четкости [389]. M. Ito говорит о том, что в 20% случаев моновидения возникает доминантная форма сенсорного подавления, что ведет к формированию синдрома монофиксации с наличием функциональной скотомы подавления [274].

Оптимальным для компенсации существующих оптических аберраций может быть имплантация светочувствительных линз – Light adjustable lenses (LAL). Такие линзы содержат светочувствительные силиконовые молекулы, что дает возможность менять рефракционный индекс имплантированной линзы с помощью ультрафиолетового света в зависимости от необходимых задач. Однако, те результаты пилотных клинических исследований по имплантации ИОЛ данного вида, которые в настоящий момент опубликованы, крайне противоречивы и показывают возможности по коррекции только остаточных рефракционных ошибок в небольшом диапазоне от ± 1,5 дптр до ± 0,25 дптр [204, 209, 210, 290, 298, 383].

Мультифокальность

С развитием оптической науки, появлением современных материалов и методов их обработки появилась возможность сочетать несколько фокусов в одной линзе. Такая многофокусная линза, помещенная перед глазом, позволяет получить изображение от предметов, находящихся на различных расстояниях от наблюдателя. Принцип мультифокальности может с успехом применяться при имплантации интраокулярных линз, а

также при имплантации интракорнеальных вкладышей (рефракционных или изменяющих кривизну роговицы инлаев) [77, 79, 187, 347, 401].

Кроме того, мультифокальный оптический элемент может быть сформирован при помощи эксимерного или фемтосекундного лазера на роговице.

Формирование мультифокального профиля роговицы (PresbyLASIK) - возможно проводить двумя способами: периферического профиля (с формированием отрицательной периферической асферичности роговицы и за счет этого достижения глубины фокуса) и центрального профиля (с формированием зоны для зрения вблизи). Ранее предложенный [165] вариант вертикального мультифокального профиля (с формированием зоны для зрения вблизи в нижнем квадранте) в настоящее время не используется. По данным ряда авторов [9, 14, 141, 144, 154, 295, 305, 357] технология формирования мультифокальности роговицы позволяет достигать достаточную остроту зрения на близком расстоянии. По данным Беликовой Е.И. (2011) мультифокальный ЛАСИК с центральной зоной для дали и периферической зоной для близи эффективен и позволяет половине пациентов избавиться от очков. Вместе с этим, у 3% пациентов после операции отмечено снижение зрение вдаль и потери 0.2 ед. остроты зрения вдаль с максимальной коррекцией. Тогда как острота зрения вблизи с коррекцией для дали была 0.5 и выше у 33% в группе пациентов с гиперметропией и у 36% пациентов с миопией.

Технология INTRACOR с использованием фемтосекундного лазера позволяет достигать мультифокального профиля роговицы, в раннем послеоперационном периоде отсутвуют какие либо осложнения [53, 54, 222, 231, 273, 295, 335]. Однако данных об отдаленных функциональных результатах представлено пока недостаточно.

Мультифокальная ИОЛ за счет сложной оптики формирует два (или три) главных фокуса. По технологическому решению предложены различные варианты мультифокальных ИОЛ – рефракционные, дифракционные, градиентные, комбинированные (дифракционно-рефракционные). Паттерны мультифокальности линз крайне многочисленны. В клинической практике чаще используются радиальный тип чередования участков с разной кривизной или секторальный. Л.И. Балашевичем в 2009 г. представлен обзор технических характеристик различных видов мультифокальных ИОЛ и история их внедрения в клинической практике как в России, так и за рубежом [11]. За последующие годы разработано значительное число новых моделей ИОЛ [116].

Имплантация мультифокальных ИОЛ позволяет получить хорошую остроту зрения вдаль и вблизи [15, 49, 50, 55, 65, 66, 67, 68, 78,106, 115, 116, 121, 139, 155, 156, 242, 271, 297]. Вместе с тем, результаты имплантации ИОЛ с ротационной асимметричной оптикой показывают высокие значения остроты зрения, пространственной контрастной чувствительности, с минимально выраженными фотопическими феноменами [122, 158, 159]. При сравнении зрительных функций у пациентов после имплантации асферичных и сферичных мультифокальных ИОЛ («AcrySof ReSTOR SN6AD3» и «AcrySof ReSTOR SN60D3») отмечены значимо более высокие показатели зрительных функций у пациентов с асферической интракулярной оптикой [146, 387]. В группе пациентов с асферичной мультифокальной ИОЛ острота зрения вблизи без коррекции была максимальной (J1) в 83% случаев, а в группе со сферической мультифокальной ИОЛ – в 55,5% случаев (p= 0,003) [387].

Разработаны отечественные мультифокальные ИОЛ, к которым относятся бифокальная гибридная линза «МИОЛ Аккорд» (Патент РФ 2303961), градиентная линза «Градиол» (патент РФ №2242189).

Достаточно большой опыт имплантации «МИОЛ Аккорд» показывает возможность достижения высоких зрительных функций - остроты зрения вдаль в пределах 0,7 и не менее 0,6 на близком расстоянии [40, 41, 42, 131, 119]. Бинокулярная имплантация МИОЛ «Аккорд» имеет преимущества перед монокулярным ее использованием [43].

Мультифокальная ИОЛ «Градиол» оптическая часть которой характеризует вариабельность преломляющей силы за счет изменения рефракционного индекса составляющих ее материалов. Данный вариант мультифокальных линз прошел определенный путь эволюции: от жесткой конструкции («Градиол-1») к эластичной («Градиол-2»), от модели с видимыми границами между оптическими компонентами («Градиол-2») к модели с полным отсутствием переходной зоны («Градиол-3»). Мультицентровые исследования имплантации Градиол-3 выявили высокий уровень функционального результата и степени удовлетворенности пациентов, а также низкую частоту и степень выраженности световых явлений [66, 78, 118, 120], что является несомненных достоинством данного типа ИОЛ.

Следует отметить, что зрительные функции после имплантации мультифокальной ИОЛ постепенно улучшаются по мере улучшения процессов нейроадаптации, при этом полное восстановление зрительных функций отмечается к 6 месяцам после операции. С этим же периодом связаны максимальные проявления зрительного дискомфорта [106].

Главным достижением последних лет является создание торических ИОЛ для коррекции астигматизма. Успешно внедрены мультифокальные торические и асферические ИОЛ [15, 128, 136, 207, 223, 240]. Особое значение также приобрели мультифокальные добавочные ИОЛ при рефракционных ошибках у пациентов с артифакией [266, 362].

Вместе с тем, следует подчеркнуть, что мультифокальная оптическая система не является физиологической для глаза человека, при этом формируются два (или три) зрительных образа, а качество и возможности зрительного восприятия зависят от феномена подавления одного из них. Иначе это явление называется монокулярным соперничеством. Принимая во внимание наличие бинокулярного соперничества между зрительной информацией, возникает так называемое «триокулярное соперничество» - по R.P O'Shea [332, 333]. Монокулярное соперничество требует значительной перестройки восприятия и привыкания, так как мультифокальная оптическая система не имеет физиологических аналогов [11, 191, 277, 376]. Именно поэтому человеку с мультифокальной коррекцией требуется определенный период нейроадаптации для получения качественного зрительного изображения. Вследствие этого и отбор пациентов для имплантации мультифокальных ИОЛ должен быть достаточно строгим [343].

Кроме того, в оптических системах с бифокальной или трифокальной оптикой происходят ухудшение пространственной контрастной чувствительности, снижение остроты зрения на промежуточных расстояниях, потери светового потока при прохождении пограничных зон на мультифокальной поверхности, вокруг источников света могут возникать отрицательные оптические феномены в виде ореолов или «гало», дополнительных бликов, блеска предметов [272, 201]. Всё это существенно влияет на удовлетворенность пациентов качеством зрения после операции [106, 284].

Тем не менее, эффект мультифокальности имеет свои недостатки. Любая мультифокальная оптика делит световой поток на 2 или 3 части. В результате в глазу формируется несколько фокальных плоскостей, в которые собираются лучи, идущие от далеко расположенных предметов

(как правило, 60-70% светового потока), лучи от близко расположенных предметов (30-40% светового потока) и лучи, идущие от предметов на среднем расстоянии (20-30%). При этом сужение зрачка приводит к выключению периферических отделов оптики ИОЛ из работы, что приводит к снижению эффекта мультифокальности и соответственно ухудшению зрения вблизи [337].

Технология компенсации недостатка аккомодации за счет создания мультифокальной монокулярной оптической системы либо анизометропической бинокулярной оптики связана с трудностями адаптации части пациентов к новым оптическим условиям. Причины неудовлетворенности пациентов мультифокальной оптикой недостаточно ясны. В эксперименте, с применением симулятора мультифокального видения, было выявлено, что степень аддидации также является фактором, влияющим на процессы нейроадаптации [227]. Небольшая аддидация (около 2 дптр) сопровождается снижением зрения вдаль, намного чаще чем аддидация в 3-4 дптр.

Имплантация мультифокальных ИОЛ показана у пациентов с проявлением катаракты, и нежелательна при выполнении рефракционной экстракции хрусталика на глазах с прозрачным хрусталиком [322].

Увеличение глубины резкости

В коррекции пресбиопии принцип увеличения глубины резкости (с условием сохранения высокой остроты зрения) предлагается использовать в следующих решениях: стратегия апертуры, стратегия гиперасферичности, имплантация ИОЛ с увеличенной глубиной фокуса.

Изменение относительной диафрагмы ведет к увеличению глубины резкости изображения. Диафрагмирование ведет к уменьшению сечения световых пучков и снижению аберраций оптической системы, а также

оказывает отрицательное влияние на разрешающую способность за счет дифракционных ограничений. Минимальное значение глубины резкости оптической системы глаза с соразмерной рефракцией с диаметром зрачка 3 мм в оптимальных условиях, по данным литературы, составляет ± 0,3 дптр [192, 390]. При определенных условиях, при наличии сферической аберрации в ±0,3-0,4 мкм, случаях глубина резкости может быть увеличена до 0,6 дптр.

Дополнительные аберрации увеличивают глубину резкости, но снижают качество зрения [230]. Так, наличие слабого миопического астигматизма характеризуется неодинаковой глубиной резкости в разных направлениях, что вносит вклад в псевдоаккомодационный эффект, но сопровождается и снижением остроты зрения.

Псевдоаккомодация при артифакии объясняется увеличением глубины резкости как результат расширения фокусной зоны. Амплитуда псевдоаккомодации при артифакии различается в зависимости от вида ИОЛ, индекса асферичности монохроматических аберраций, наличия хроматических аберраций линзы и т.д., и составляет до 0,82± 0,46 дптр для сферической ИОЛ без желтого фильтра [325]. Установлено, что малые значения размеров зрачка является более предпочтительным для коррекции пресбиопии, чем сохранение сферических аберраций [257].

Имплантация апертурных роговичных вкладышей позволяет добавить глубину фокуса в ± 0,75 дптр. Вкладыши с малой апертурой – «KAMRA», используют принцип диафрагмирования, согласно которому глубина фокуса увеличивается при прохождении светового потока через отверстие с малой апертурой [11, 86, 187]. Для коррекции пресбиопии данный метод стал использоваться лишь несколько лет назад. К настоящему времени имплантировано более 20 000 вкладышей «KAMRA» [278, 369, 385]. Лидирующее положение в освоении данной технологии занимают японские

хирурги: M. Tomita в 2013 г. представил результаты имплантации более 10 тысяч вкладышей в LASIK-центре Shinagawa (Япония) и на основании столь обширного опыта сделал вывод, что имплантация возможна в самых различных клинических ситуациях: у пациентов с эмметропией, как естественной, так и после лазерной коррекции, артифакией после имплантации монофокальной ИОЛ, а также может совмещаться с лазерной коррекцией. Имплантацию вкладышей с малой апертурой возможно проводить и после ранее выполненной радиальной кератотомии и после имплантациия факичных ИОЛ [267, 268]. По данным разных исследований, спустя год в 92% случаев острота зрения вблизи составила 0,5 и выше, а средняя бинокулярная острота зрения улучшилась с 0,4 до 0,7. При этом бинокулярная острота зрения на средних расстояниях в 67% случаев была 1,0 и более. Однако 15,6% пациентов сообщали о трудно переносимых зрительных проблемах ночью, а 6,3% - о необходимости в пользовании очками для чтения. При этом, неудовлетворенность пациентов данным видом коррекции достаточно велика, что приводит к эксплантации 10% роговичных вкладышей [161]. К недостаткам данной технологии относятся также косметический дефект, частичное сужение полей зрения, жесткое диафрагмирование одного глаза, рефракционные сдвиги за счет изменения толщины роговицы. В случае удаления корнеального импланта корнеальная топография восстанавливается более чем в 60% случаев, а острота зрения вдаль и вблизи достигает дооперационных значений.

Также обсуждается возможность сохранения глубины фокуса за счет остаточной сферической аберрации. По данным Y. Fan (2010) коэффициент Цернике сферической аберрации Z_4^0 в ± 0,6 мкм соответствует глубине фокуса до 0,8±0,21 дптр [230]. G.H. Beiko (2007) дает рекомендации по персонализированному подходу при имплантации асферической ИОЛ и сохранению сферической аберрации в ± 0,3-0,4 мкм [176]. Вместе с тем,

глубина фокуса в 0,6-0,8 дптр недостаточна для чтения вблизи. Поэтому принцип хирургического моделирования оптической системы с увеличением сферической аберрации более предпочтительно использовать для усиления истинной аккомодации, что возможно при вмешательстве на роговице (PresbyCOR).

Перспективным направлением является имплантация интраокулярных линз с увеличенной глубиной фокуса, что может быть достигнуто за счет изменения дифракционной решетки, либо за счет гиперасферичности [210, 392]. Однако, до настоящего времени ИОЛ с увеличенной глубиной фокуса в России не лицензированы.

В отличие от монофокальных или мультифокальных линз, псевдоаккомодирующие ИОЛ симулируют аккомодационный ответ. Под действием экстралентикулярного компонента аккомодации они меняют свою конфигурацию или положение своей оптической части. При этом псевдоаккомодирующие ИОЛ, как и монофокальные, создают только одну фокальную плоскость, которая сохраняет свое положение при изменении положения оптики ИОЛ [11, 13, 37, 160, 297]. Такой дизайн ИОЛ исключает потерю световой энергии, поступающей в глаз при формировании зрения на разных расстояниях, и тем самым обеспечивает высокую контрастную чувствительность [125, 201, 388].

Псевдоаккомодирующие ИОЛ называют «Святым Граалем современной имплантологии» [134]. Несмотря на высокие цели, пока ожидания от получаемого эффекта по восстановлению аккомодации не оправданны. Тем не менее, псевдоаккомодирующие ИОЛ являются предметом дискуссий и полем для новых исследований. Разработан целый ряд моделей, как моноблочных, так и полиэлеметных ИОЛ. Представителями моноблочных являются линзы «1CU» (производитель Human Optics), «Tetraflex» (Lenstec Inc.), семейство «Crystalens»

(Bausch+Lomb), «nanoFLEX» (Staar Surgical) и ряд других. К линзам со сложной оптикой относятся ИОЛ «Synchrony» (Visiogen), состоящие из двух линз, соединенных эластичной гаптикой, линза «NuLens» (NuLens Ltd) с центральной частью из гибкого силикона, способной модифицироваться, и гаптики, работающей, как поршень.

Более того, предложен электронный вариант псведоаккомодирующей линзы с сапфировой оптикой и автофокусировкой – ИОЛ «ELENZA». Данная линза считается первой в мире линзой с искусственным интеллектом, так как снабжена управляемыми фотоэлементами и микрочипом с программным обеспечением. Принцип действия основан на управлении зрачковым ответом - сужение зрачка позволяет увеличить глубину фокуса, соответствующую 3 дптр аккомодации [255]. Учитывая, что зрачковая динамика достаточно индивидуальна, то алгоритм зрачкового ответа можно варьировать извне. Однако, несмотря на неоспоримые технические преимущества, пока в отношении данной линзы клинических испытаний не проводилось, а первые имплантации человеку только планируются.

О применении одной из пседоаккомодирующих линз последнего поколения «FluidVision» (PowerVision) на 5-й Конференции Международного общества по пресбиопии уже представлены первые клинические результаты. Эта линза представляет собой акриловый объектив с полыми камерами, заполненными силиконовым маслом, что позволяет имитировать естественный процесс аккомодации. Пилотное исследование включало имплантацию аккомодирующей линзы «FluidVision», выполненную в ходе хирургии катаракты 20 пациентам офтальмологической клиники г. Преттории (ЮАР). Через 6 месяцев после операции у всех пациентов были высокие зрительные функции как вдаль, так и вблизи, а величина псевдоаккомодации составила в среднем 4,4 дптр.

Пятилетнее наблюдение за пациентами показало отсутствие фиброза задней капсулы. Полученные результаты, представленные на XXXII Конгрессе Европейского общества катарактальных и рефракционных хирургов (2014 г.), свидетельствуют о хорошей клинической перспективе имплантации данной линзы. В настоящее время проводятся 2 и 3 стадия клинических испытаний в Германии и Южной Африке.

Принцип действия псевдоаккомодирующих ИОЛ семейства «Crystalens» основан на феномене смещения стекловидного тела кпереди при аккомодационном усилии. За счет сгибаемой опорной части при аккомодации происходит смещение оптической части ИОЛ кпереди, что обеспечивает точную фокусировку близко расположенных объектов. Однако, согласно данным литературы, через 18-24 месяца после имплантации ИОЛ вследствие фиброза капсульного мешка снижается его эластичность [294, 403]. В результате уменьшается подвижность оптической части таких линз, и, соответственно, ухудшается зрение на близком расстоянии. Кроме того, отмечены характерные отдаленные осложнения после имплантации аккомодирующих ИОЛ, так называемый Z-синдром, когда вследствие неравномерного фиброзирования капсульного мешка один опорный элемент линзы выгибается кпереди, а второй кзади. Как итог, оптическая часть ИОЛ изгибается, а положение линзы в капсульном мешке напоминает латинскую букву «Z». Данное состояние значительно снижает остроту зрения как вдаль, так и на близком расстоянии и требует дополнительных хирургических или лазерных вмешательств [403].

Наиболее изучена и применяется в клинической практике ИОЛ Crystalens «Crystalens HD500», которая обладает не только высокоразрешающей оптикой, но и имеет усовершенствованную оптическую часть с утолщением в центре (на 3 микрона) с положительными

сферическими аберрациями, что обеспечивает улучшение зрения вблизи и на среднем расстоянии.

I.Pallikaris с соавторами (2012) представили результаты имплантации в цилиарную борозду аккомодирующей ИОЛ «Crystalens HD500» при разрыве задней капсулы в процессе факоэмульсификации (n=3). Интересно, что даже в данной несанкционированной позиции у пациентов было достигнуто удовлетворительное зрение вдаль и вблизи [382]. Это еще раз говорит о том, что подвижность ИОЛ играет минимальную роль в возможностях дефокусировки, высокие зрительные функции у пациентов достигаются за счет оригинального решения оптической части линзы.

С целью определения эффективности имплантации псевдоаккомодирующих ИОЛ Кохрановский международный центр доказательной медицины "Cochrane Collaboration" провел мета-анализ результатов рандомизированных клинических испытаний различных моделей псевдоаккомодирующих ИОЛ. H.S. Ong с соавторами (2014) проанализировали сравнительные результаты имплантаций псевдоаккомодирующих линз 1CU (HumanOptics), AT-45 Crystalens у 229 человек (256 глаз) и монофокальных ИОЛ [291]. Операции выполнены в клиниках Германии, Италии, Великобритании. Возраст пациентов варьировал от 21 до 87 лет. Было показано, что лица с псевдоаккомодирующими ИОЛ первые полгода после имплантации имеют более высокие зрительные функции вблизи. Однако функциональные преимущества были небольшими и постепенно утрачены с течением времени. Также отмечена более высокая частота помутнений задней капсулы, что является насущной проблемой для линз данного типа.

Таким образом, каждый из рассмотренных выше типов ИОЛ - мультифокальные рефракционные, мультифокальные дифракционные, псевдоаккомодирующие - имеют свои преимущества и недостатки, и,

соответственно, разные ниши применения в зависимости от потребностей пациентов в решении зрительных задач.

D.F. Chang (2008) рекомендует выполнять билатеральную имплантацию ИОЛ ReSTOR преимущественно для решения зрительных задач вблизи и ограниченно для средних расстояний. При необходимости достижения хорошего зрения на различных расстояниях предложен подход «mix and match», т.е. по принципу «комбинации и подгонки» [195]. При таком подходе выполняется имплантация ИОЛ комбинированного типа в неведущий глаз, а в ведущий – имплантация рефракционной мультифокальной или псевдоаккомодирующей ИОЛ. Однако последствия такого подхода не всегда предсказуемы, так как пациент сталкивается с необходимостью нейроадаптации, нередко крайне мучительной, а также с явлениями различных оптических феноменов.

Предлагаются гибридные подходы - асимметричная имплантация аккомодирующих ИОЛ по принципу «мини-моновидения», с разницей в 0,5 дптр [105, 195], а также имплантация монофокальной ИОЛ в ведущий глаз в сочетании с имплантацией мультифокальной ИОЛ в ведомый глаз [269].

Выбирая между рефракционными и дифракционными типами ИОЛ, между разными возможностями аддидации, крайне важно определить индивидуальные рефракционные хирургические цели. Универсального подхода по имплантации мультифокальных ИОЛ, оптимального для всех пациентов с пресбиопией, не существует. Однако понимание различий между функциональными оптическими характеристиками ИОЛ дает возможность персонифицированно подходить к задачам коррекции пресбиопии и у некоторых пациентов совмещать различные типы ИОЛ. При правильном отборе пациентов для имплантации мультифокальных ИОЛ большинство пациентов удовлетворены полученным зрением и полученной независимостью от очковой коррекции [208, 252]. Мультифокальные ИОЛ

позволяют достигнуть независимость от очковой коррекции. Однако, имеются определенные расхождения в остроте зрения вдаль и вблизи. При достижении высоких значений остроты зрения вдаль, реальные данные по остроте зрения вблизи являются ниже теоретически рассчитанных [340].

Наиболее часто встречающимися проблемами при имплантации мультифокальных ИОЛ являются: остаточный рефракционный дефект, прогрессирующее помутнение задней капсулы, недостаточность зрачковой диафрагмальной функции, децентрация ИОЛ, оптические феномены, необходимость нейроадаптации.

Несмотря на высокие функциональные результаты, полученные после имплантации мультифокальных ИОЛ, часть пациентов остается неудовлетворенными качеством зрения: пациенты с мультифокальными ИОЛ предъявляют жалобы на световые рефлексы, нечеткость изображения, затуманивание, «зрение как голограмма», что примерно в 5 % случаев приобретает жесткие формы. Данный синдром назван как «vaseline vision dysphotopsia» (*с англ.* «вазелиновая зрительная дисфотопсия»), причины которой неясны, но в ряде случаев данный синдром приводит к эксплантации мультифокальных или псевдоаккомодирующих интраокулярных линз. Феномен повышенного сверкания (глистенинг) также отягощает адаптацию к мультифокальности [384].

A. Bassam и E. Donnenfeld (2011) рассматривают эксплантацию мультифокальной ИОЛ как «силовой прием рефракционной хирургии» [175]. По данным различных авторов эксплантация мультифокальных ИОЛ составляет от 3 до 10% [175, 189, 238, 271, 321, 366].

K.Shimizu и M. Ito (2011) представили результаты бинокулярной имплантации дифракционных ИОЛ 49-летнему мужчине и 71-летней женщине [366]. Несмотря на полученные хорошие показатели остроты зрения, пациенты высказывали неудовлетворенность полученным зрением.

При регистрации паттерн-ЗВП выявлены снижение амплитуды потенциалов и увеличение их латентности. Интересно, что после эксплантации мульт ифокальной ИОЛ с заменой на монофокальную ИОЛ зафиксированы увеличение амплитуды ЗВП и улучшение временных параметров ЗВП. R. Foroozan представил два случая необъяснимого снижения зрения у пациентов с пресбиопией после имплантации мультифокальных ИОЛ, не имеющих органических причин, что в итоге потребовало эксплантации линз [238].

Представленные случаи говорят о явных проблемах нейроадаптации к одновременному монокулярному видению. Но причины нарушения нейроадаптации не ясны [321]. K.J. Ciuffreda (2012) высказал теоретическое предположение, что проблема адаптации пациентов к мультифокальности может быть связана с индивидуальными особенностями вергентного ответа и диспаратной фузионной способности пациента [200].

Подводя итог анализа литературных данных, можно сделать вывод, что, до сего времени как в отечественной, так и в зарубежной литературе системный анализ механизмов формирования пресбиопии отсутствует. Подходы к коррекции пресбиопии опираются лишь на компенсацию утраченной аккомодации. При этом ключевым методом является метод проб и ошибок. Крайне значимой становится необходимость адаптации пациента к вновь созданным оптическим условиям, поэтому результаты хирургической коррекции пресбиопии не всегда однозначны. Вместе с тем следует принимать во внимание, что аккомодация является одной из основ постоянства воспринимаемого зрительного изображения. И хотя взаимосвязь между аккомодацией и конвергенцией не является жесткой, а зрачковый ответ подчиняется вегетативной иннервации, развитие пресбиопии неизбежно должно сопровождаться изменением всех компонентов синкинетического рефлекса на приближение. Роль вергентной

адаптации и изменение диспаратного фузионного рефлекса при снижении аккомодационной способности остаются не до конца выясненными.

Очевидно, что даже на современном этапе знаний и несмотря на накопленный опыт, интенсивные и многочисленные исследования, патогенез пресбиопии остаётся до конца не изученным. Именно поэтому выявление закономерностей и механизмов формирования пресбиопии является неоспоримой базой для разработки системы лечебных мероприятий. В целом это и определило актуальность работы, материалы которой представлены далее.

ГЛАВА 2. КЛИНИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ОБСЛЕДУЕМЫХ ЛИЦ. МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ЛЕЧЕНИЯ

2.1.Общая характеристика обследованных лиц

Работа выполнена на базе Федерального государственного автономного учреждения «Иркутский филиал Межотраслевого научно-технического комплекса «Микрохирургия глаза» им. акад. С.Н. Фёдорова Минздрава РФ». Группа лиц для исследования была сформирована на добровольных началах, в соответствии с Хельсинской декларацией Всемирной медицинской ассоциации «Этические принципы проведения научных медицинских исследований с участием человека» (1964 г. с поправками 2000 г.) и Федеральным законом Российской Федерации от 21 ноября 2011 г. N 323-ФЗ «Об основах охраны здоровья граждан в Российской Федерации».

Всего обследовано 354 пациента.

На первом этапе были обследованы 80 человек без пресбиопии в возрасте от 18 до 27 лет (**группа 1**).

Критерии отбора пациентов в группы исследования были следующими:

- отсутствие сопутствующей офтальмопатологии;
- максимальная острота зрения вдаль 0,9 и выше;
- величина гетерофории не более 5 призм-дптр;
- рефракция в условиях циклоплегии от +5 дптр до -5 дптр;
- астигматизм менее 0,5 дптр;
- межзрачковое расстояние от 62 до 64 мм.

В зависимости от вида рефракции пациенты были разделены на три группы:

группа 1.1. – с эмметропической рефракцией (± 0,5 дптр),

группа 1.2. - с осевой миопией слабой и средней степени,

группа 1.3.- с осевой гиперметропией слабой и средней степени.

Характеристика пациентов без пресбиопии представлена в Таблице 1.

Таблица 1 - Характеристика пациентов без пресбиопии

	Группа 1.1.	Группа 1.2.	Группа 1.3.
Количество человек	30	30	20
Возраст, года	от 18 до 27	от 18 до 27	от 18 до 27
Гендерное соотношение, М:Ж	15:15	16:14	9:11
Рефракция, дптр	от +0,5 дптр до -0,5 дптр	от -2,0 дптр до -5,0 дптр	от +2,0 дптр до +5,0 дптр
Привычный тонус аккомодации, дптр	от +0,5 дптр до -0,5 дптр	от 0 дптр до -1,0 дптр	от +1,0 дптр до +3,5 дптр
Объем абсолютной аккомодации, дптр	от 6,0 дптр до 10,0 дптр	от 6,0 дптр до 10,0 дптр	от 6,0 дптр до 10,0 дптр

На следующем этапе были обследованы 274 человека с пресбиопией в возрасте от 45 до 55 лет.

Из них 90 человек - с прозрачным хрусталиком и теми же критериями отбора, что и для группы 1 – составили **группу 2**.

В зависимости от вида рефракции выделены следующие подгруппы:

группа 2.1. – с эмметропической рефракцией (± 0,5 дптр),

группа 2.2. – с осевой миопией слабой и средней степени,

группа 2.3. – с осевой гиперметропией слабой и средней степени.

Характеристика пациентов с пресбиопией представлена в Таблице 2.

Таблица 2 - Характеристика пациентов с пресбиопией

	Группа 2.1.	Группа 2.2.	Группа 2.3.
Количество человек	30	30	30
Возраст, года	от 45 до 55	от 45 до 55	от 45 до 55
Гендерное соотношение, М:Ж	15:15	16:14	16:14
Рефракция, дптр	от +0,5 дптр до -0,5 дптр	от -2,0 дптр до -5,0 дптр	от +2,0 дптр до +5,0 дптр
Привычный тонус аккомодации, дптр	от +0,5 дптр до -0,5 дптр	от 0 дптр до -0,5 дптр	от 0 дптр до +0,5 дптр
Объем абсолютной аккомодации, дптр	от 0,5 дптр до 3,0 дптр	от 0,5 дптр до 3,0 дптр	от 0,5 дптр до 3,0 дптр

Все пациенты были обследованы по единому протоколу. Сравнение структурно-функционального состояния зрительной системы проведено между пациентами с пресбиопией и без пресбиопии в тех же рефракционных группах. Для выявления изменения внутрисистемных взаимоотношений в деятельности зрительной системы использованы многомерные виды статистического анализа.

На третьем этапе, были обследованы 184 пациента с пресбиопией с наличием лентикулярных помутнений начальной степени (**группа 3**).

Критерии включения пациентов в группы исследования были следующими:

- отсутствие сопутствующей офтальмопатологии;
- возраст от 45 до 55 лет;
- максимальная острота зрения до операции не менее 0,6;

- разница в остроте зрения между двумя глазами до операции не более 0,2;
- рефракция от + 3,0 дптр до -3,0 дптр;
- активная реакция зрачка на свет.

Критерии исключения пациентов из исследования были:

- отклонение полученной рефракции от целевых значений 0,5 дптр и более;
- несоблюдение режима послеоперационного наблюдения;
- заболевания сердечно-сосудистой системы;
- неврологические заболевания;
- патология и функциональные нарушения печени и почек;
- психические заболевания;
- наличие наркотической или алкогольной зависимости;
- наличие токсического поражения в анамнезе.

Всем пациентам была проведена двухсторонняя факоэмульсификация с имплантацией псевдофакичной заднекамерной ИОЛ. В зависимости от принципа коррекции пресбиопии пациенты были разделены на следующие группы:

Группа 3.1. – с асимметричной билатеральной имплантацией монофокальных асферических ИОЛ (*AcrySof IQ SN60WF)* по принципу моновидения, с разницей в целевой рефракции на ведущем и ведомом глазу в 1 дптр (n = 64).

Группа 3.2. – с симметричной имплантацией рефракционных мультифокальных асферических ИОЛ (*Rayner M-flex 630* F) (n = 60).

Группа 3.3. – с симметричной имплантацией дифракционно-рефракционных мультифокальных аподизированных асферических ИОЛ (*AcrySof ReSTOR SN6AD1*) (n = 60).

Группы пациентов были однородны по рефракционному статусу, возрастному и гендерному соотношению. До хирургического лечения между

пациентами сформированных групп статистически значимых различий по основным функциональным показателям не наблюдалось (p>0,05).

Пациенты были обследованы через 1, 3, 6 месяцев после операции.

Сравнение основных зрительных функций проведено с данными пациентов с пресбиопией (группы 2.1). Для выявления различий были использованы сравнительный анализ (критерии Манна-Уитни и Вилкоксона).

На четвертом этапе 61 пациентам через 3 месяца после факоэмульсификации с имплантацией псевдофакичных мультифокальных ИОЛ (**группа 4**) было проведено диплоптическое лечение с помощью прибора «АВИЗ-01» (бинариметра) по разработанному методу.

Группу 4.1. составили 35 пациентов с рефракционными мультифокальными ИОЛ (*Rayner M-flex 630* F).

Группу 4.2. - 26 пациентов с дифракционно-рефракционными мультифокальными аподизированными асферическими ИОЛ (*AcrySof ReSTOR SN6AD1*).

2.2.Методы исследования

Обследование пациентов проводилось стандартизированно, с применением высокотехнологичных методов, направленных на оценку анатомических и оптических параметров глаза, как в покое, так и при аккомодационной нагрузке, а также показателей сенсорной деятельности зрительной системы.

Методы оценки анатомии глаза

Биомикроскопия, позволяющая оценить состояние роговицы, радужки, хрусталика и передних отделов стекловидного тела, и **офтальмоскопия** (оценка состояния глазного дна) проводились на щелевой лампе SL 115 фирмы «Zeiss» (Германия). Данные методы исследования позволяют оценить состояние как переднего отрезка глазного яблока и придаточного аппарата глаза (век, конъюнктивы, роговицы, передней камеры, радужки, хрусталика, стекловидного тела), так и сетчатки (с использованием нейтрализующих бесконтактных линз 90 D и контактных линз Гольдмана и панфундус). Основной задачей данных исследований являлось выявление пациентов без сопутствующей глазной патологии.

Ультразвуковая биометрия с целью измерения длины передне-задней оси глаза, глубины передней камеры, толщины хрусталика проводилась в режиме А-сканирования («Tomey AL-3000», Япония).

Когерентная оптическая биометрия выполнялась с использованием когерентного биометра IOL Master фирмы «Zeiss» (Германия). Данный комплексный метод исследования необходим для точного измерения ПЗО, преломляющей силы роговицы, глубины передней камеры и диаметра роговицы и последующего автоматического расчета оптической силы ИОЛ с использованием современных формул. Данные полученные при этом исследовании, также используются в онлайн-калькуляторах ИОЛ.

Ультразвуковая биомикроскопия проводилась на приборе «Hi Scan» (Optikon). Измерения проведены согласно критериям, описанными C. Pavlin [302] и A.Sheppard [322], в 4 квадрантах, соответствующих меридианам 12, 3, 6, 9 часов. Были исследованы: положение и угловые параметры внутренней вершины цилиарного тела, максимальная толщина цилиарного тела в

проекции внутренней вершины (ТЦТ max), угол внутренней вершины цилиарного тела (УВЦТ), угол примыкания «трабекула-радужка» (УТР), длина передней порции цинновой связки (ЦС). Схематичное отображение регистрации анатомических параметров представлено на Рисунке 1.

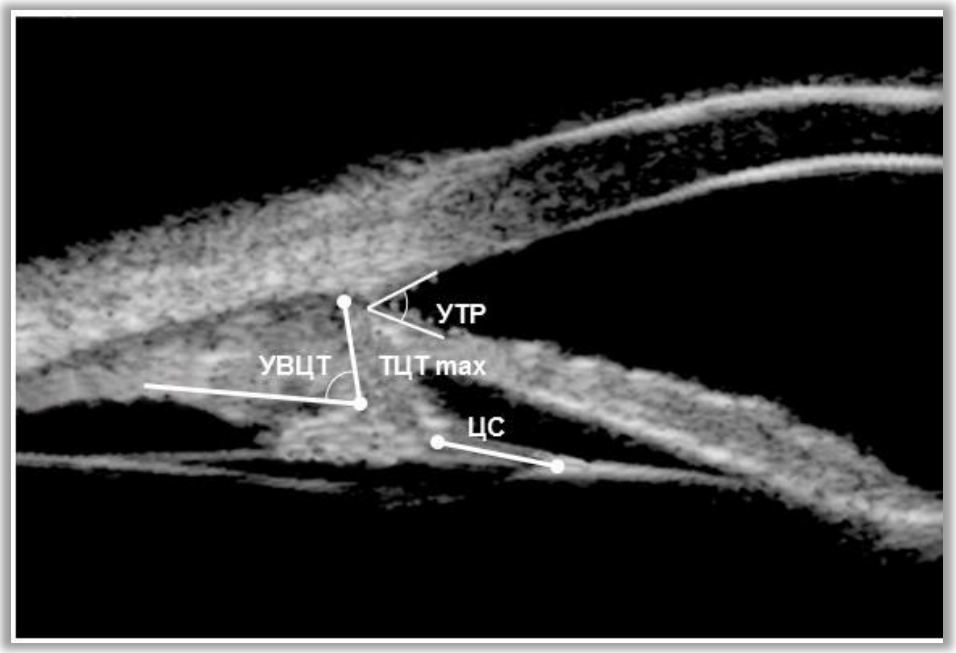

Рисунок 1 - УБМ картина иридо-цилиарной зоны со схематичным отражением анатомических параметров. ТЦТ max -максимальная толщина цилиарного тела в проекции внутренней вершины, УТР - угол примыкания «трабекула-радужка», УВЦТ - угол внутренней вершины цилиарного тела, ЦС - длина передней порции цинновой связки.

Денситометрия хрусталика проведена при анализе Шеймпфлюг-образов («Pentacam», Oculus). В условиях медикаментозного мидриаза зафиксированы показатели световой трансмиссии хрусталика в кортикальной, перинуклеарной и нуклеарной зонах (Рисунок 2).

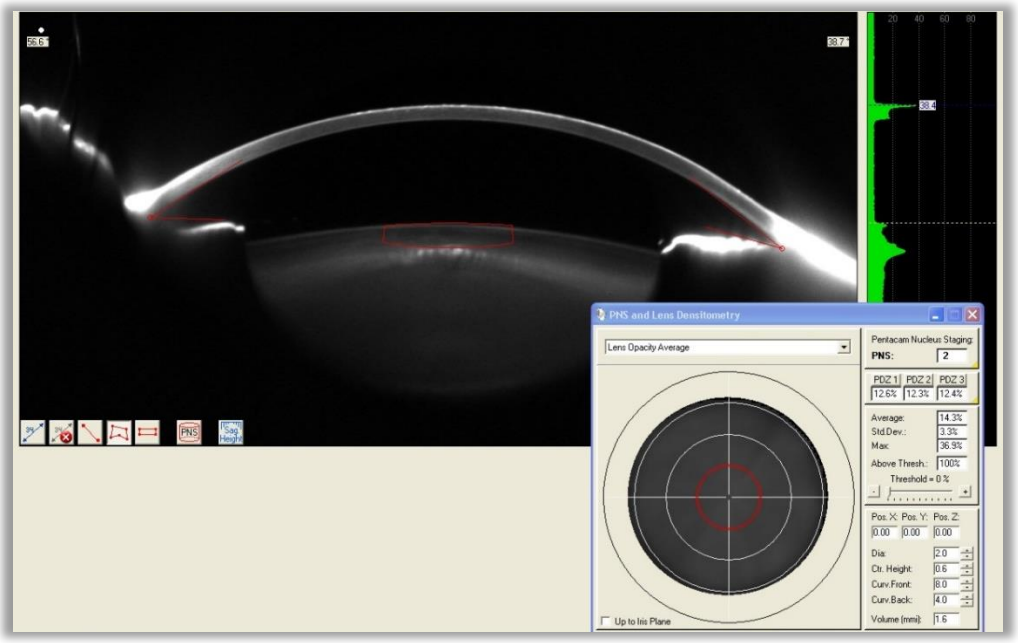

Рисунок 2 - Определение оптической плотности хрусталика («Pentacam», Oculus)

Оценка гидродинамики глаза

Тонометрия и **тонография** проведены на электронном тонографе «Medtronic-30 Classic TM» (США). Проводилась количественная оценка оттока внутриглазной жидкости с графической регистрацией показателя внутриглазного давления (ВГД).

Оценка компонентов оптической системы глаза

Авторефрактометрия выполнена в естественных условиях и в условиях медикаментозной циклоплегии при помощи автокераторефрактометра (Topcon, Япония).

Аберрометрия - исследование волнового фронта погрешностей (аберраций) оптических элементов глаза («OPD- Scan II ARK-10000»; «Pentacam HR», Oculus). Для статистической обработки взяты значения среднеквадратичного отклонения волнового фронта (RMS total) глаза (при диаметре зрачка 3 см). Дя анализа аберраций роговицы зафиксированы значения коэффициентов Цернике оптических аберраций 3 и 4 порядков, RMS total роговицы (центральной зоны 6 мм диаметром).

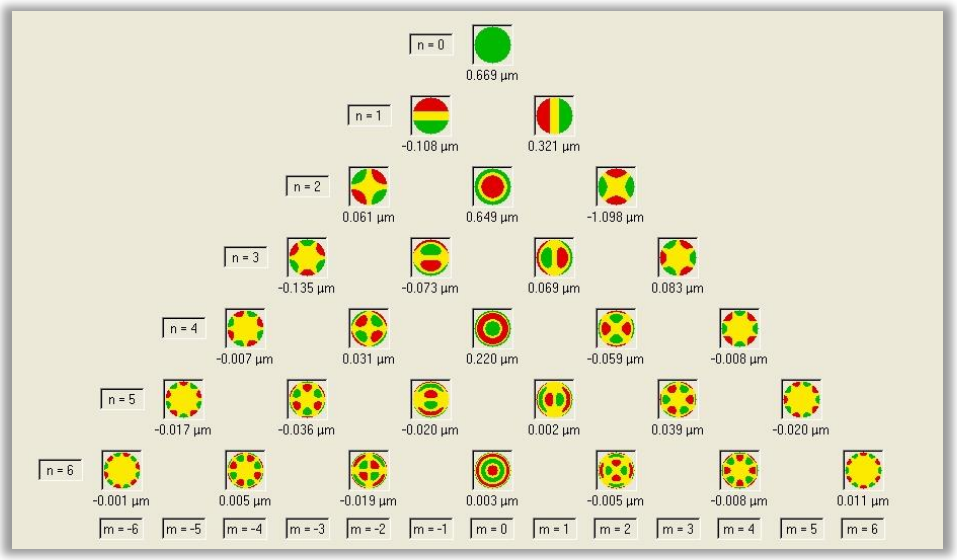

Рисунок 3 - Пирамида полиномов Цернике

Инфракрасная пупиллометрия проведена с использованием аберрометра с автоматической ретиноскопией («OPD-Scan II ARK-10000», Nidek). Измерен диаметр зрачка в условиях фотопической (100 кд/м^2) и мезопической освещённости (10 кд/м^2).

Методы оценки аккомодационного ответа

Объем абсолютной аккомодации оценивался как разница в рефракции одного глаза при установке его на ближайшую и дальнейшую точки ясного зрения. Оценка ближайшей точки ясного видения проводилась в монокулярных условиях, с полной коррекцией для дали, с использованием таблицы для проверки остроты зрения для близи**,** соответствующей остроте зрения 0,7. Положение дальнейшей точки ясного зрения оценивали, исходя из рефракции глаза.

Привычный тонус аккомодации оценивался как разница между манифестной и циклоплегической рефракцией [3]. Исследование проводили при помощи автокераторефрактометра (Topcon, Япония).

Запас относительной аккомодации определялся в бинокулярных условиях по общепринятой методике. С этой целью использовался текст, соответствующий остроте зрения 0,7 из таблицы Сивцева для близи с расстояния 33 см. За величину запаса относительной аккомодации принималась максимальная отрицательная линза, с которой возможно чтение текста.

Интерактивная Шеймпфлюг-регистрация переднего отрезка глаза («Pentacam HR» Oculus). Для изучения аккомодационного ответа по разработанному нами алгоритму (положительное решение по заявке на патент «Способ диагностики аккомодации и псевдоаккомодации» №2013130351 (045778) Рос. Федерация / Розанова О.И., Мищенко Т.С., Аверьянов Д.А., Самсонов Д.А. Щуко А.Г.; приоритет от 10.08.13). В покое и в момент предъявления зрительного стимула, соответствующего напряжению аккомодации в 3 дптр, с оценкой диаметра зрачка, объема передней камеры, оптических параметров роговицы (Рисунок 4), коэффициента светорассеивания хрусталика.

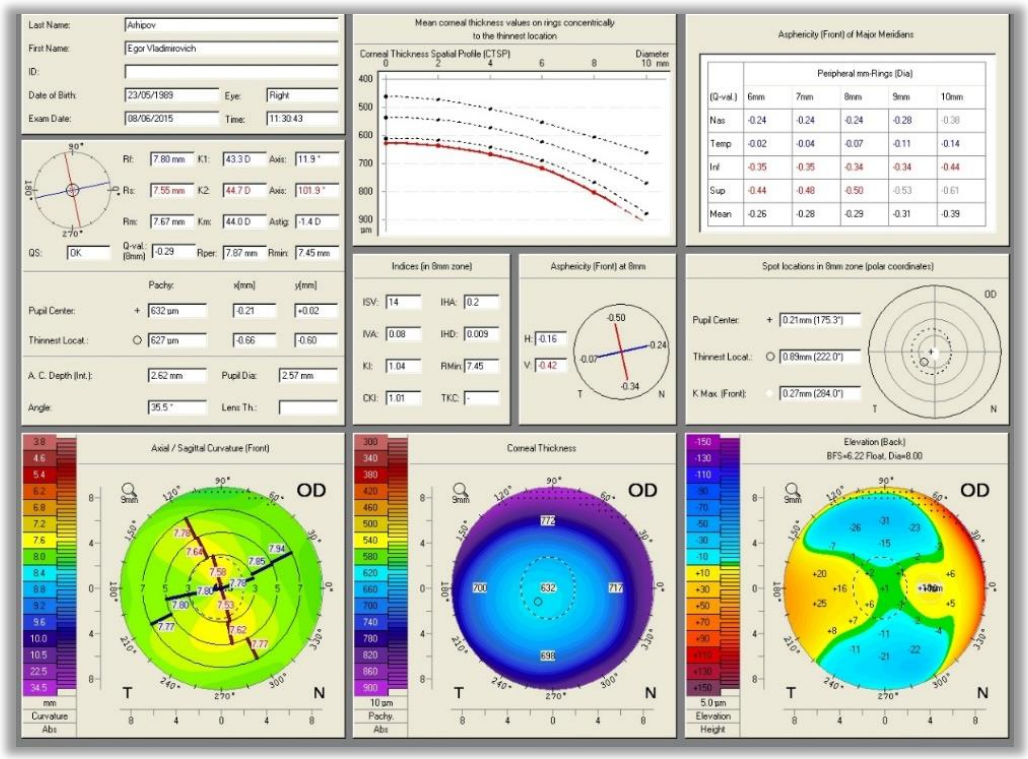

Рисунок 4 - Шеймпфлюг-регистрация оптических параметров переднего отрезка глаза

Интерактивная ультразвуковая регистрация аккомодационного ответа - в покое и в момент предъявления зрительного стимула, соответствующего напряжению аккомодации в 3 дптр проведена оценка толщины хрусталика, толщины цилиарного тела на расстоянии 1,5 мм от трабекулы, длины передней порции цинновой связки, дистанции «трабекула-цилиарные отростки» («Hi Scan», Optikon).

Методы оценки сенсорной зрительной рецепции в монокулярных условиях деятельности зрительной системы

Визометрия вдаль проводилась в монокулярных и бинокулярных условиях с фороптера «Unicos ACP–700» (Корея) со встроенной системой смены корригирующих линз, и с системой сменяющихся оптотипов в логической геометрической прогрессии по шкале Bailey-Lovie. Значения остроты зрения по LogMAR переведены и зафиксированы по десятичной шкале.

Визометрия вблизи проводилась в монокулярных и бинокулярных условиях с использованием ккарт для проверки остроты зрения. Значения остроты зрения фиксированы по десятичной шкале.

Пространственная контрастная чувствительность была исследована с использованием стандартных таблиц в виде видеограмм [112, 115] в частотах 3,6,9,18 цикл/град.

Статическая периметрия выполнена на компьютерном анализаторе полей зрения «Dicon» (США). Исследование проводилось в поле зрения 80˚ от точки фиксации с оценкой пороговой световой чувствительности в децибелах (дБ).

Электрофизиологические исследования с определением электрической чувствительности (электрического фосфена) и лабильности проводились с помощью прибора «ЭСОМ» (Россия), критической частоты слияния мельканий (КЧСМ) - на приборе «СПЕКЛ-М» (Россия) по общепринятым методикам [112].

Электроретинография проводилась приборе «Tomey EP1000» (Япония) с использованием конъюнктивальных электродов, с регистрацией по стандартам ISCEV [113].

Регистрация зрительных вызванных потенциалов. Исследование зрительных вызванных потенциалов проводилось на приборе «Tomey EP 1000 » (Япония), использовались вспышки белого цвета (частота 2Гц), измерения проводились в комплексе волн P_{100} [112, 113].

Методы оценки бинокулярного взаимодействия

Исследование бинокулярного взаимодействия проводилось в естественных условиях, без разделения полей зрения.

Оценка гетерофории проведена с использованием шкалы Меддокса и призменного компенсатора;

Уровень бинокулярной суммации – соотношение бинокулярной и монокулярной остроты зрения. В норме острота зрения в бинокулярных условиях превышает монокулярную остроту зрения на $\sqrt{\pi}$ [231].

Оценку стереозрения проводили с помощью тестов Ланга (Lang) I и II (1981). Стереограммы Ланга представляют собой новый уровень дистантного простого обследования стереоскопического чувства у детей и взрослых. Метод основан на двух принципах: «Random Dots» и сети цилиндров. Первый принцип, разработанный B. Julesz (1986), используется в различных стереограммах либо с поляризационными стёклами, либо с красно-зелёными очками, либо с другими способами разделения потоков зрительной информации для правого и левого глаз [248]. Второй принцип группировки цилиндров в сеть разработан W.R. Hess (лауреатом Нобелевской премии 1949 года), разделение зрительных впечатлений от каждого глаза создаётся благодаря сети тонких полуцилиндров, расположенных параллельно. Под каждым его элементом находятся две полосы картин, одна из которых попадает только в правый глаз, а вторая только в левый. В стереотестах Ланга

впервые реализована комбинация этих двух технологий, имеющих большое преимущество перед другими методами разделения потоков зрительной информации. Принцип стереограмм исключает монокулярное стереовосприятие. На стереотестах Ланга только горизонтальная диспаратность вызывает чувство рельефа и даёт возможность точно воспринимать форму. При исследовании фиксировался максимальный разрешающий порог стереовосприятия.

Амплитудные пределы фузионного рефлекса исследованы в естественных условиях с использованием бинариметра (АВИЗ-01, Россия) [39, 64, 78, 80]. После провокации физиологического двоения достигается слияние двойных изображений и восприятие виртуального бинокулярного зрительного образа. В условиях свободной гаплоскопии были определены амплитудные пределы диспаратной фузионной способности, далее были составлены карты бинокулярности (Рисунок 5).

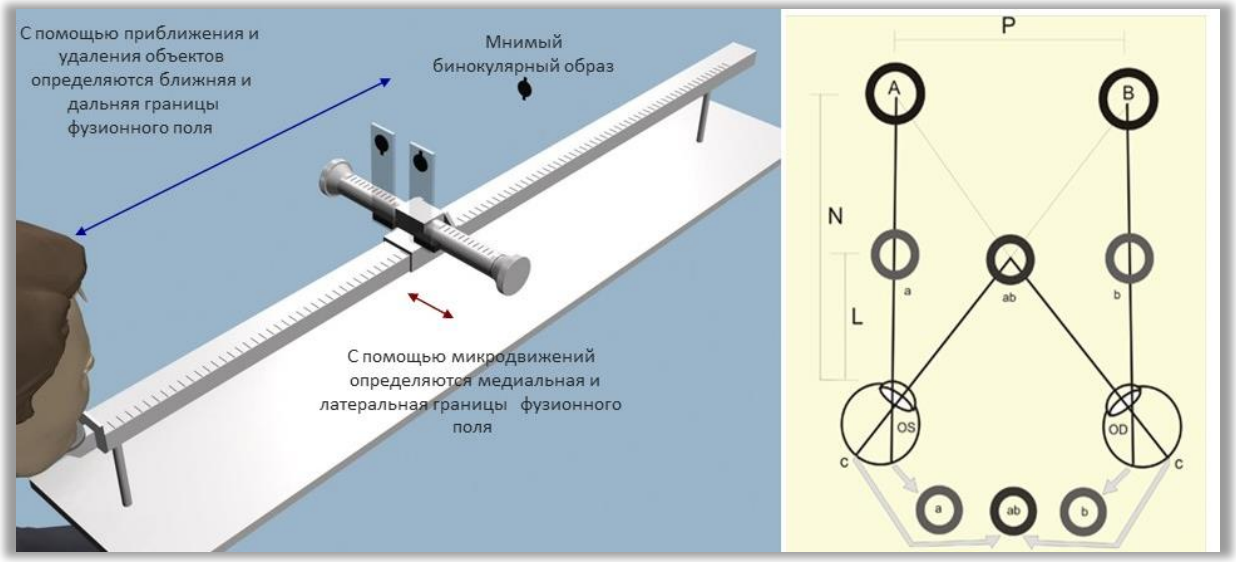

Рисунок 5 - Регистрация амплитудных пределов фузионного рефлекса и схема слияния двойных изображений в условиях свободной гаплоскопии (Бинариметр АВИЗ-01, Россия)

Для графического отображения зоны, в пределах которой возможно слияние двойных изображений, были разработаны карты бинокулярного

сотрудничества 2D, представленные на Рисунке 6, и произведен количественный расчет площади фузионого поля в см^2 («Способ оценки степени бинокулярного взаимодействия» (*положительное решение по заявке № 2012103263 (004848) РФ; приоритет от 01.02.12)*. Измерения расстояния между предъявляемыми тестами проводятся на протяжении 1 м от глаз исследуемого пациента с интервалом 50 мм. Результаты исследования заносятся на сетку с делениями.

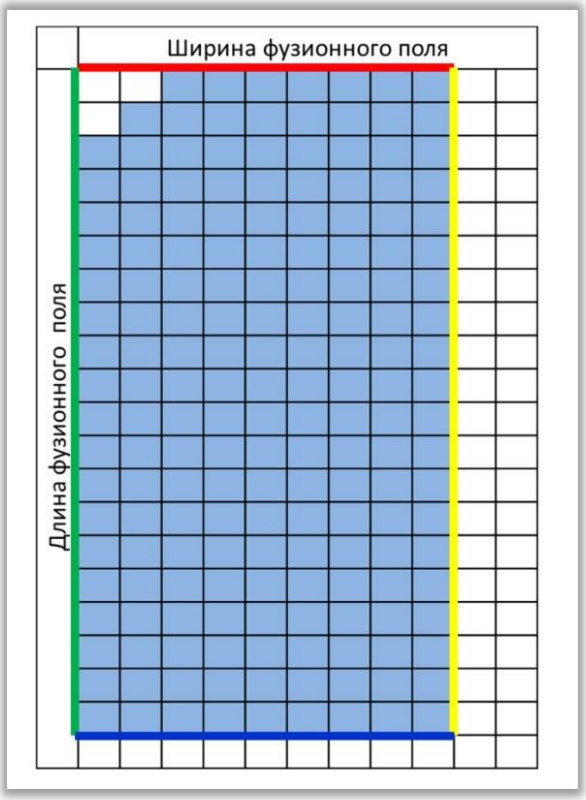

Рисунок 6 - Реконструкция границ и зоны фузионного рефлекса при предъявлении двойных изображений в свободном пространстве. Красным цветом выделен ближний амплитудный предел фузионного рефлекса (ФР), синим цветом - дальний амплитудный предел ФР, зеленым цветом - медиальный амплитудный предел ФР, желтым цветом - латеральный амплитудный предел ФР

Субъективная оценка качества зрения

Оценка качества зрения проведена методом тестрования пациентов с использованием стандартной анкеты VF-14 (Visual Function - 14). Пациенты выставляли отметку (максимум – 10 баллов) полученному качеству зрения в предложенных 14 жизненных ситуациях [130], а также отмечали, были ли трудности при адаптации к новым оптическим условиям (Ответ:Да или Нет).

2.3. Методы лечения

1. Хирургическое лечение - проводилась факоэмульсификация по стандартной технологии, с роговичным доступом 2,2 мм, с имплантацией псевдофакичной заднекамерной ИОЛ. Выбор модели ИОЛ и расчет ее оптической силы осуществлены с учетом имеющейся рефракции и исходя из принципа компенсации утраченной аккомодации.

2. Диплоптическое лечение проводилось на бинариметре «АВИЗ 01» («Красногвардеец», Россия) – приборе, позволяющем предъявлять тестовые изображения для бинокулярного слияния в условиях свободной гаплоскопии, без разделения полей и дополнительных оптических элементов [77, 78].

Для понимания, на какие узловые механизмы зрения опирается бинариметрия, необходимо пояснить следующее. Физиологическое двоение и слияние двойных изображений возникают в том случае, когда зрительные оси правого и левого глаза сходятся за плоскостью двойных изображений (заплоскостное или перекрещивающееся слияние) или перед плоскостью двойных изображений (предплоскостное или неперекрещивающееся слияние).

Схема заплоскостного слияния двойных изображений представлена на Рисунке 7.

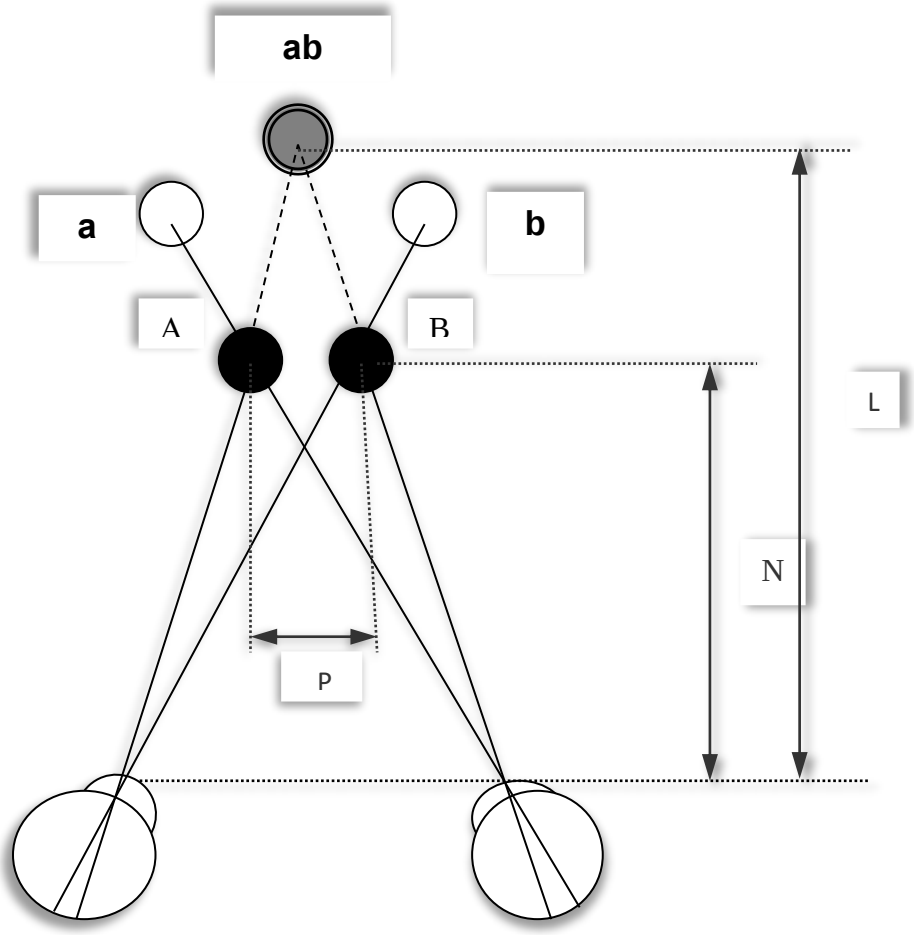

Рисунок 7 - Схема заплоскостного слияния при образовании мнимого бинокулярного зрительного образа (обозначения указаны в тексте)

В результате слияния идентичных изображений теста А и В возникает восприятие «мнимого зрительного образа», который состоит из трех изображений. Эта воспринимаемая картина выглядит так: в центре ab – изображение, воспринимаемое бинокулярно (бинокулярный образ), a – изображение, воспринимаемое монокулярно правым глазом, b – изображение, воспринимаемое монокулярно левым глазом. Бинокулярный образ – ab – воспринимается удаленным от обследуемого в пространстве на расстоянии L за плоскостью реального двойного изображения теста. Данный феномен имеет

название «эффект глубины». Все элементы «мнимого зрительного образа» воспринимаются увеличенными, этот феномен называется «эффект лупы». Если изменить расстояние P между центрами изображений теста A и B или расстояние N – от глаз до элементов теста, то изменится ощущаемое расстояние – до бинокулярного образа ab.

Диплоптическое лечение у пациентов старшей возрастной группы потребовало разработки нового способа восстановления зрительных функций при пресбиопии (*положительное решение по заявке на патент РФ № 2013130337 (045268) приоритет от 04.07.2013*), с применением более сложных тестов для слияния, чем при косоглазии, но в тоже время простых для концентрации внимания. На первом этапе проводилась активизация физиологического двоения с помощью призматических линз (30 призм-дптр). Первые занятия для улучшения фузионной способности проводились с тестами в виде черных кружков диаметром 14 мм, в последующем – с парами цветных тестов (с учетом соответствия цветовым каналам), и мелко детализированными тестами. Курс лечения включал 15 занятий. Для закрепления функционального результата пациент проводит домашние занятия с портативным устройством для слияния двойных изображений (*Патент РФ № RU 00097625 U1; приоритет 15.07.2009).*

2.4. Статистические методы обработки результатов исследования

Статистический анализ результатов исследования проведён с применением компьютерной программы Statistica 6.0. Расчеты проведены на кафедре информатики и компьютерных технологий Иркутской государственной медицинской академии постдипломного образования (зав. кафедрой, доцент Михалевич И.М.). Результаты исследований были

проанализированы методом вариационной статистики [18, 33, 48, 81, 93, 119]. Алгоритм статистического анализа был следующим:

1. **Дескриптивный анализ** (описательная статистика результатов исследований). Для групп из описательной статистики были просчитаны следующие характеристики: среднее значение (*M*), стандартное отклонение (σ). Переменные проверены на нормальность распределения по критерию Колмогорова-Смирнова и критерию Шапиро-Уилка в зависимости от количества точек. Выбранный критический уровень значимости равнялся 5 % ($p < 0{,}05$).

1. **Сравнительный анализ** проведен с использованием параметрических и непараметрических критериев в зависимости от вида распределения.

2. **Регрессионный анализ** позволил найти виды взаимодействия исследуемых признаков. Данные анализировались попарно в зависимости от поставленной задачи. Качество регрессионной зависимости оценивали по коэффициенту детерминации $\boldsymbol{R^2}$, отражающему степень соответствия регерссионной модели эмпирическим данным.

3. **Корреляционный анализ.** Оценка корреляционных взаимосвязей показателей зрительной системы проводилась по методу Пирсона, что позволило оценить связь между различными показателями, характеризующими состояние зрительной системы.

4. **Дискриминантный анализ** проведен для выявления наиболее информативных показателей и оценки их эффективности для классификации наблюдений [61].

5. **Нейросетевой анализ.** Этот анализ был использован для понижения размерности с помощью генетического алгоритма [60]. С помощью дискриминантного анализа и нейросетевого анализа были определены наиболее информативные признаки и их последовательность.

РЕЗУЛЬТАТЫ СОБСТВЕННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

ГЛАВА 3. СТРУКТУРНО-ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ГЛАЗА ПРИ ФОРМИРОВАНИИ ПРЕСБИОПИИ

Инволюционные, генетически детерминированные, возрастные изменения затрагивают все структуры зрительной системы, что сопровождается снижением функциональных возможностей. Наиболее заметным для индивидуума признаком старения со стороны глаз является снижение аккомодационной способности, влекущее за собой утрату возможности фокусировать зрение на близко расположенных предметах и снижение зрения вблизи, формирование так называемого «старческого зрения» или пресбиопии.

Несмотря на накопленный опыт, интенсивные и многочисленные исследования, «природа» развития пресбиопии остаётся недостаточно ясной. Также остаются до конца не изученными различия в изменении лентикулярного и экстралентикулярного компонентов аккомодации у пациентов с различными видами рефракции. Снижение аккомодационного ответа неизбежно сопровождается не только изменением физиологической оптической системы, но и изменением гидродинамических взаимоотношений, однако различия в характере этих изменений в различных рефракционных условиях не выяснены. Это и определило необходимость проведения углублённых исследований, посвящённых раскрытию закономерностей изменения структурно-функционального состояния структур глаза,

ответственных за аккомодационный ответ, результаты которых и представлены в этой главе.

3.1.Структурно-функциональные изменения глаза при формировании пресбиопии

Для решения поставленной задачи выявления закономерностей изменения интраокулярных структурных взаимоотношений и уровня ВГД при формировании пресбиопии в различных рефракционных условиях проведен анализ по следующему алгоритму. Первоначально у пациентов с эмметропией, а далее у пациентов с аметропией, было проанализировано состояние следующих параметров:

- размер и уровень световой трансмиссии хрусталика,
- толщина цилиарной мышцы в области внутренней вершины цилиарного тела,
- пространственно-угловые характеристики цилиарного тела,
- признаки интраокулярной симметрии,
- уровень офтальмотонуса.

На последнем этапе были установлены зависимости изменений толщины хрусталика, толщины цилиарного тела и ВГД от степени снижения аккомодации.

Структурно-функциональные изменения глаза при формировании пресбиопии у пациентов с соразмерной рефракцией

Было установлено (Таблица 3), что при формировании пресбиопии наблюдаются усиление лентикулярной плотности более чем в 6 раз и увеличение толщины хрусталика. При этом плотность хрусталика различается в зависимости от топографических зон.

Таблица 3 - Сравнительный анализ показателей состояния хрусталика у пациентов с пресбиопией и лиц молодого возраста с соразмерной рефракцией

Показатели	Без пресбиопии (M±σ)	Пресбиопия (M±σ)	Критерий Манна-Уитни, p
	1	2	
Толщина хрусталика, мм	3,73±0,23	4,41±0,21	$P_{1-2}< 0,001$
Плотность ядра хрусталика, %	15,5±1,2	26,6±3,4	$P_{1-2}< 0,001$
Плотность коры хрусталика, %	9,1±0,9	10,8±1,3	$P_{1-2}< 0,001$

Оптическая плотность хрусталика максимально увеличивается в нуклеарной зоне (на 60-80%), а в поверхностных кортикальных слоях хрусталика коэффициент световой трансмиссии на 15-20% превосходит данный показатель у лиц молодого возраста ($p< 0,001$).

На Шеймпфлюг-изображениях (Рисунок 8) отчетливо видно, что кортикальные слои значительно уступают по плотности ядерным слоям.

Также выявлено, что увеличение размеров хрусталика сопровождается сдвигом иридо-хрусталиковой диафрагмы кпереди, уменьшением толщины цилиарного тела в проекции внутренней вершины, уплощением угла внутренней вершины цилиарного тела (Рисунок 9), увеличением расстояния между трабекулой и цилиарными отростками, укорочением длины и некоторым провисанием передней порции цинновой связки.

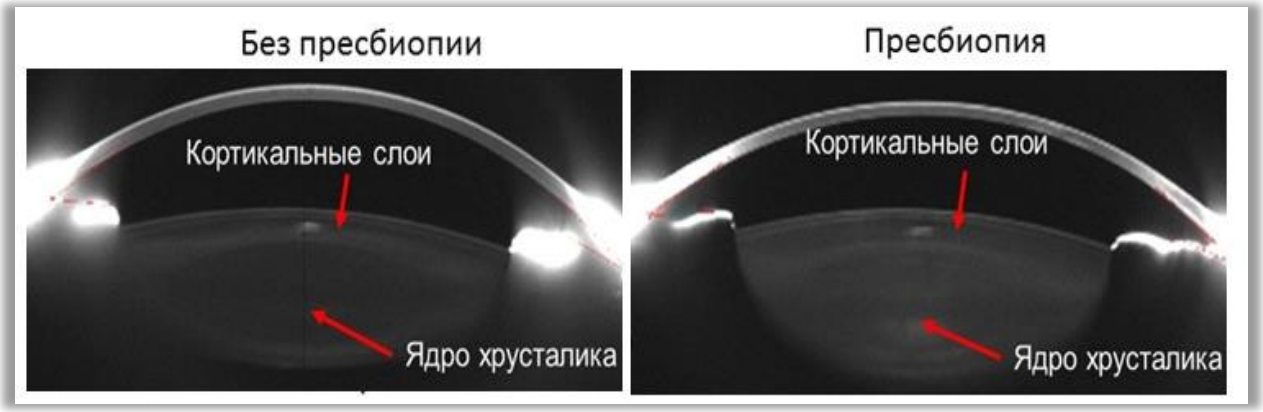

Рисунок 8 - Шеймпфлюг-изображения переднего отрезка

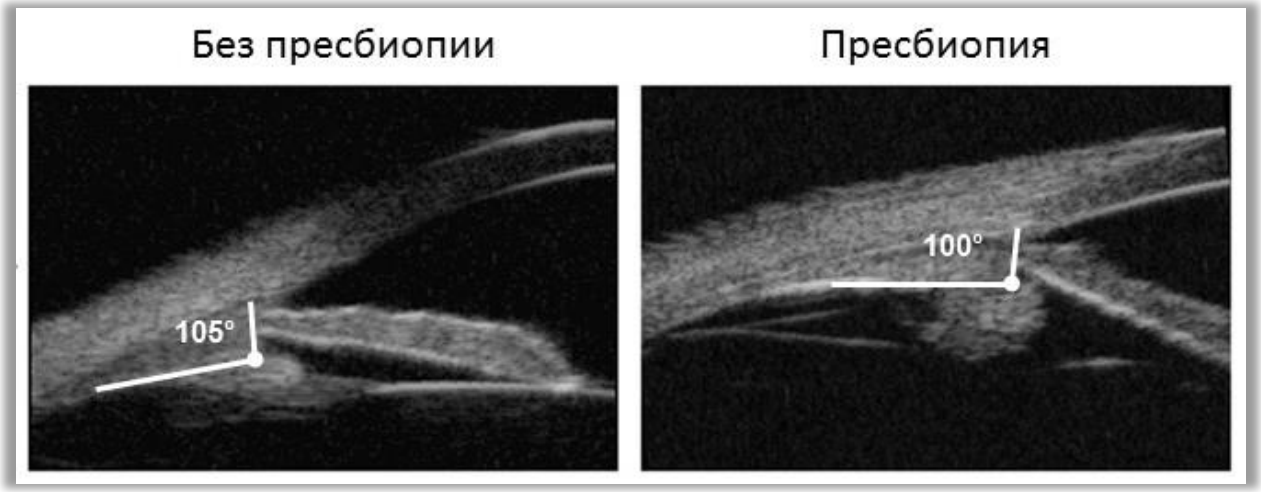

Рисунок 9- Состояние цилиарного тела и перилентикулярных структур у пациентов с эмметропической рефракцией (по данным УБМ)

При одинаковой длине глазного яблока, структурные показатели состояния цилиарного тела у пациентов с пресбиопией и без пресбиопии различаются (Таблица 4).

Таблица 4- Сравнительный анализ показателей структурного состояния цилиарного тела и длины глазного яблока у пациентов с пресбиопией и без пресбиопии (эмметропическая рефракция)

Показатели	Без пресбиопии (M±σ)	Пресбиопия (M±σ)	Критерий Манна-Уитни, p
	1	2	
Угол внутренней вершины ЦТ, град	105,2±2,3	100,1±2,6	$P_{1-2}<0,05$
Толщина ЦТ в области вершины, верхний сегмент, мм	0,82±0,10	0,63±0,11	$P_{1-2}<0,001$
Дистанция «трабекула-цилиарные отростки», верхний сегмент, мм	0,79±0,10	1,02±0,11	$P_{1-2}<0,001$
Длина передней порции цинновой связки, верхний сегмент, мм	1,23±0,31	1,04±0,26	$P_{1-2}<0,001$
ПЗО, мм	23,5±0,5	23,2±0,4	$P_{1-2}>0,05$

Далее был проведен сравнительный анализ между идентичными анатомическими параметрами глаза в различных пространственных квадрантах. Кинематическая модель интраокулярной асимметрии

представлена на Рисунке 10. Стрелками указаны достоверные различия между параметрами: толщины цилиарного тела (красного цвета), длины передней порции цинновой связки (зеленого цвета).

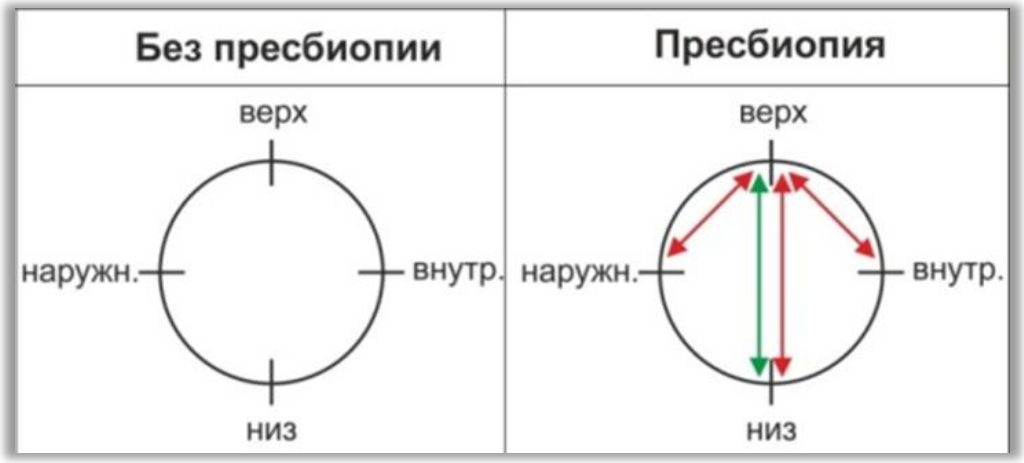

Рисунок 10 - Кинематическая модель появления интраокулярной асимметрии у пациентов с эмметропией при развитии пресбиопии (пояснение в тексте)

Видно, что формирование пресбиопии у пациентов с эмметропией сопровождается появлением асимметрии со стороны толщины цилиарного тела и длины передней порции цинновой связки в различных квадрантах.

Структурно-функциональные изменения глаза при формировании пресбиопии у пациентов с аметропией

Формирование пресбиопии у пациентов с аметропией характеризуется увеличением толщины хрусталика – при миопии на 16-18% (Таблица 5), при гиперметропии – на 14-16% (Таблица 6).

Таблица 5 - Сравнительный анализ структурных показателей глаза у пациентов с миопией при развитии пресбиопии (M±σ)

Показатели	Эмметропия		Миопия		Критерий Манна-Уитни
	Без пресбиопии (n=30)	Пресбиопия (n=30)	Без пресбиопии (n=30)	Пресбиопия (n=30)	
	1	2	3	4	
Толщина хрусталика, мм	3,73±0,23	4,41±0,21	3,61±0,19	4,23±0,29	P_{1-2}< 0,001 P_{3-4}<0,001 P_{1-3}>0,05 P_{2-4}<0,01
Плотность ядра хрусталика, %	15,5±1,2	25,6±3,4	14,7±1,1	25,5±3,7	P_{1-2}< 0,001 P_{3-4}<0,001 P_{1-3}>0,05 P_{2-4}>0,05
Плотность коры хрусталика, %	9,1±0,9	10,8±1,3	9,2±0,7	11,1±1,4	P_{1-2}< 0,001 P_{3-4}<0,001 P_{1-3}>0,05 P_{2-4}>0,05
Угол внутренней вершины ЦТ, град	105,2±2,3	100,1±2,6	124,4±4,3	123,7±4,8	P_{1-2}< 0,05 P_{3-4}>0,05 P_{1-3}<0,05 P_{2-4}<0,05
ТЦТ в обл. вершины, верхний сегмент, мм	0,82±0,10	0,63±0,11	0,87±0,38	0,64±0,38	P_{1-2}< 0,001 P_{3-4}<0,001 P_{1-3}>0,05 P_{2-4}>0,05
ДТЦО верхний сегмент, мм	0,79±0,10	1,02±0,11	1,14±0,38	1,34±0,16	P_{1-2}<0,001 P_{3-4}<0,001 P_{1-3}<0,001 P_{2-4}<0,001
Длина передней порции ЦС, верхний сегмент, мм	1,23±0,31	1,04±0,26	1,44±0,25	1,28±0,21	P_{1-2}< 0,001 P_{3-4}<0,001 P_{1-3}<0,01 P_{2-4}<0,001
ПЗО, мм	23,5±0,5	23,2±0,4	24,52±0,63	24,57±0,58	P_{1-2}>0,05 P_{3-4}>0,05 P_{1-3}<0,001 P_{2-4}<0,001

Таблица 6 - Сравнительный анализ структурных показателей глаза у пациентов с гиперметропией при развитии пресбиопии (M±σ)

Показатели	Эмметропия		Гиперметропия		Критерий Манна-Уитни
	Без пресбиопии (n=30)	Пресбиопия (n=30)	Без пресбиопии (n=20)	Пресбиопия (n=30)	
	1	2	3	4	
Толщина хрусталика, мм	3,73±0,23	4,41±0,21	3,72±0,30	4,30±0,34	P_{1-2}< 0,001 P_{3-4}<0,001 P_{1-3}>0,05 P_{2-4}<0,01
Плотность ядра хрусталика, %	15,5±1,2	25,6±3,4	16,5±1,1	27,2±3,6	P_{1-2}< 0,001 P_{3-4}<0,001 P_{1-3}>0,05 P_{2-4}>0,05
Плотность коры хрусталика, %	9,1±0,9	10,8±1,3	9,6±0,7	10,7±1,4	P_{1-2}< 0,001 P_{3-4}<0,001 P_{1-3}>0,05 P_{2-4}>0,05
Угол внутренней вершины ЦТ, град	105,2±2,3	100,1±2,6	96,4±5,2	89,2±4,3	P_{1-2}< 0,05 P_{3-4}< 0,001 P_{1-3}>0,05 P_{2-4}>0,05
ТЦТ в обл. вершины, верхний сегмент, мм	0,82±0,10	0,63±0,11	1,21±0,30	1,32±0,20	P_{1-2}< 0,001 P_{3-4}<0,05 P_{1-3}<0,001 P_{2-4}<0,001
ДТЦО верхний сегмент, мм	0,79±0,10	1,02±0,11	0,74±0,23	0,84±0,30	P_{1-2}<0,001 P_{3-4}<0,001 P_{1-3}>0,05 P_{2-4}<0,001
Длина передней порции ЦС, верхний сегмент, мм	1,23±0,31	1,04±0,26	1,02±0,26	0,92±0,21	P_{1-2}< 0,001 P_{3-4}<0,01 P_{1-3}<0,001 P_{2-4}<0,001
ПЗО, мм	23,5±0,5	23,2±0,4	22,2±0,4	22,1±0,6	P_{1-2}>0,05 P_{3-4}>0,05 P_{1-3}<0,001 P_{2-4}<0,001

У пациентов с аметропией, также как у пациентов с эмметропией, при развитии пресбиопии установлено повышение оптической плотности хрусталика, более выраженное в нуклеарной зоне. Однако характер изменений иридо-хрусталиковых взаимоотношений при развитии пресбиопии у пациентов с различными видами рефракции различается.

Видно, что у пациентов с осевой миопией при развитии пресбиопии выявлено выраженное изменение конфигурации цилиарного тела в виде: сдвига расположения верхушки цилиарного тела кзади, сопряженного с увеличением дистанции «трабекула-цилиарные отростки», уменьшения толщины цилиарного тела. Тогда как угол внутренней вершины цилиарного тела значимо не изменяется.

Утрата аккомодации на глазах с гиперметропией сопровождается увеличением толщины цилиарного тела в проекции внутренней вершины, с уменьшением угла внутренней вершины ЦТ.

Установлено, что развитие пресбиопии характеризуется появлением прочной взаимосвязи между степенью акцентирования внутренней вершины цилиарного тела и длиной глазного яблока. Уравнение регрессии, где в качестве зависимой величины принята толщина цилиарного тела в проекции внутренней вершины цилиарного тела (ТЦТ), а за независимую величину – передне-задний размер глаза (ПЗО) у пациентов с пресбиопией выглядит следующим образом:

$$\boldsymbol{ТЦТ} = 4{,}85 - 0{,}17 \times \boldsymbol{ПЗО};\ \boldsymbol{R^2} = 0{,}53;\ p=0{,}001.$$

На Рисунке 11 представлены тренды регрессионной зависимости толщины цилиарного тела в верхнем сегменте в проекции внутренней вершины от длины глазного яблока.

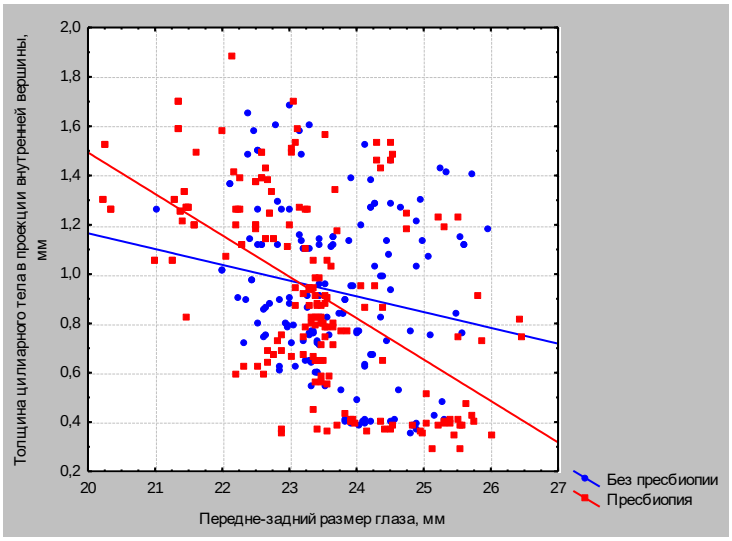

Рисунок 11 - Зависимость толщины цилиарного тела (ТЦТ) от передне-заднего размера глазного яблока (ПЗО)

Тогда как у пациентов без пресбиопии стастистически достоверной зависимости между толщиной цилиарного тела и размерами глаза не установлено ($\mathbf{R^2}$= 0,14, p=0,09).

Полученные результаты исследования свидетельствуют о существенном преобразовании анатомических взаимоотношений переднего и среднего отделов глазного яблока при развитии пресбиопии, при этом в зависимости от исходных рефракционных условий степень и характер изменений аккомодационного аппарата различаются.

При развитии пресбиопии наблюдается усиление исходной интраокулярной асимметрии (со стороны толщины цилиарного тела и длины передней порции цинновой связки), особенно это явление проявлено у пациентов с миопией (Рисунок 12).

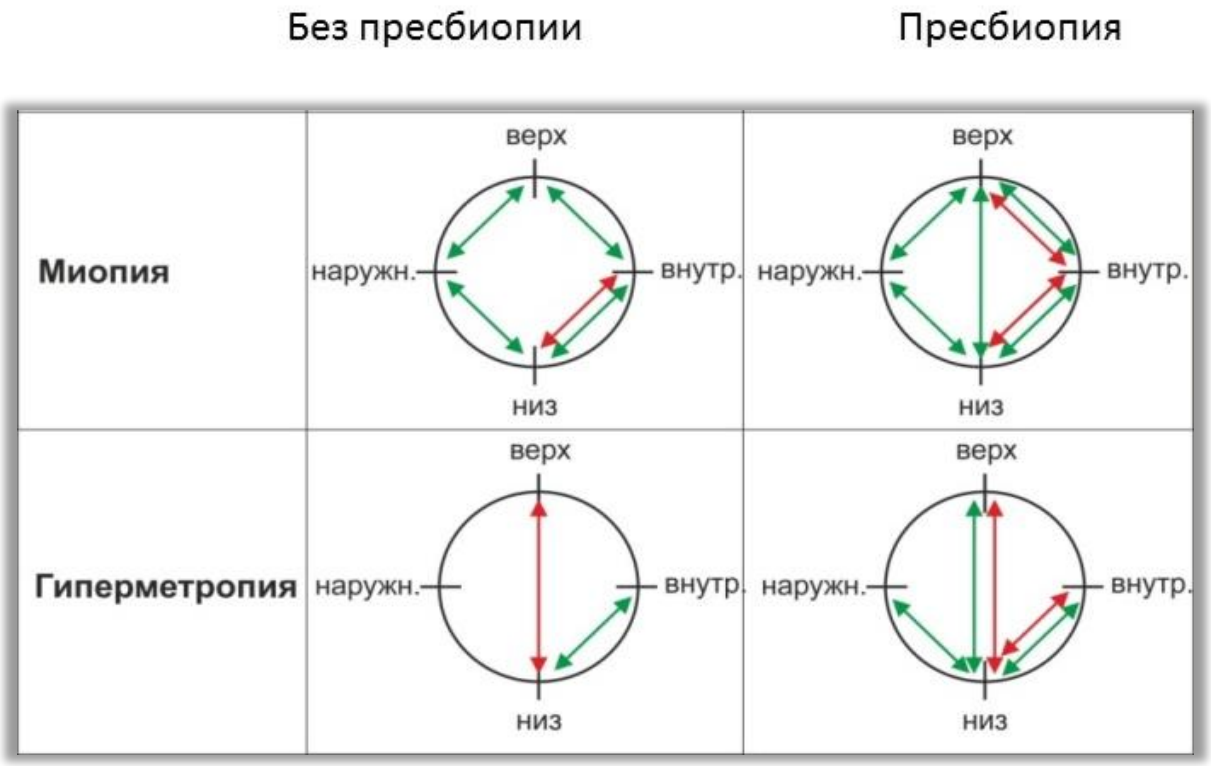

Рисунок 12 - Кинематическая модель интраокулярной асимметрии. Стрелками указаны достоверные различия между параметрами: толщины цилиарного тела (красного цвета), длины передней порции цинновой связки (зеленого цвета)

Из представленной кинематической модели интраокулярной асимметрии видно, что у молодых пациентов с аметропией исходно присутствует определенная асимметрия внутренних анатомических структур в различных квадрантах.

Изменение офтальмотонуса при формировании пресбиопии

Выявленные при формировании пресбиопии изменения аккомодационного ответа, сдвиги со стороны анатомии цилиарного тела и дренажной области глаза, повышение тонуса цилиарной мышцы, а также повышение ригидности оболочек глаза в совокупности могут приводить к

изменению условий продукции и оттока внутриглазной влаги. Именно поэтому у пациентов с пресбиопией были проанализированы основные показатели гидродинамики, а также их взаимосвязь с показателями аккомодации. При формировании пресбиопии было установлено статистически достоверное увеличение офтальмотонуса: у пациентов с эмметропией с 17,32±1,08 мм рт.ст. до 18,65±0,96 мм рт.ст. ($p< 0,01$), у пациентов с миопией - с 17,12±0,82 мм рт.ст. до 18,63±0,87 мм рт.ст. ($p<0,01$), у пациентов с гиперметропией - с 17,10±0,97 мм рт.ст. до 19,17±1,02 $p<0,01$). Однако во всех случаях показатели ВГД были в пределах физиологической нормы.

Зависимость параметров хрусталика, цилиарной мышцы, ВГД от величины аккомодации в ходе развития пресбиопии

На следующем этапе, для понимания характера изменения аккомодационной системы в ходе формирования пресбиопии, был проведен регрессионный анализ, где в качестве зависимой величины были взяты параметры хрусталика, цилиарной мышцы, ВГД, а в качестве регрессора – объем абсолютной аккомодации.

Было установлено, что величина аккомодациии при развитии пресбиопии обратно пропорциональна величине передне-заднего размера хрусталика. При том выявлено, что у пациентов с эмметропической рефракцией теснота взааимозависимости между толщиной хрусталика и величиной аккомодации является более высокой (коэффициент детерминации $\boldsymbol{R^2}$= 0,84; p=0,001), чем у пациентов с миопией и гиперметропией.

Результаты регрессионного анализа представлены в Таблице 7, линии регрессии толщины хрусталика от величины аккомодации представлены на Рисунке 13.

Таблица 7 – Результаты регрессионной зависимости толщины хрусталика от ОАА

Вид рефракции	Уравнение регрессии	Достоверность
Эмметропия	***ТХ***= 4,655- 0,101 * ***ОАА***	R^2 = 0,84; p=0,001
Миопия	***ТХ***= 4,408 - 0,139 * ***ОАА***	R^2 = 0,70; p=0,001
Гиперметропия	***ТХ*** = 4,417 - 0,082 * ***ОАА***	R^2 = 0,65; p=0,001
Где: ***ТХ*** – толщина хрусталика; ***ОАА*** – объем абсолютной аккомодации; R^2 - коэффициент детерминации.		

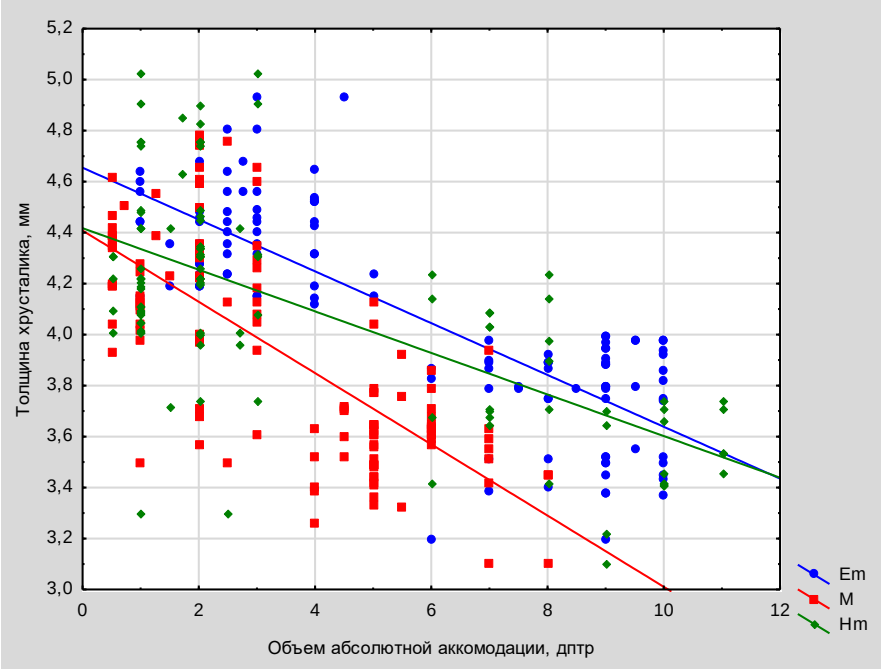

Рисунок 13 - Регрессионная зависимость толщины хрусталика (ТХ) от величины аккомодации у пациентов с различными видами рефракции

При анализе характера изменения цилиарной мышцы в ходе развития пресбиопии установлена достоверная зависимость толщины цилиарной мышцы в проекции внутренней вершины цилиарного тела от объема абсолютной аккомодации у пациентов с эмметропией (p=0,001), а также у пациентов с миопической рефракцией (p=0,004).

Уравнения регрессии и показатели достоверности проведенного регрессионного анализа представлены в Таблице 8. На Рисунке 14 представлены линии регрессии толщины цилиарного тела от ОАА.

Таблица 8 – Результаты регрессионной зависимости толщины цилиарного тела от ОАА

Вид рефракции	Уравнение регрессии	Достоверность
Эмметропия	***ТЦТ***= 0,734+0,021 * ***ОАА***	R^2 = 0,30; p=0,001
Миопия	***ТЦТ***= 0,664+0,039 * ***ОАА***	R^2 = 0,26; p=0,004
Гиперметропия	***ТЦТ*** = 1,307-0,013 * ***ОАА***	R^2 = 0,16; p=1,121
Где: ***ТЦТ***– толщина цилиарного тела в проекции внутренней вершины; ***ОАА*** – объем абсолютной аккомодации; R^2 - коэффициент детерминации.		

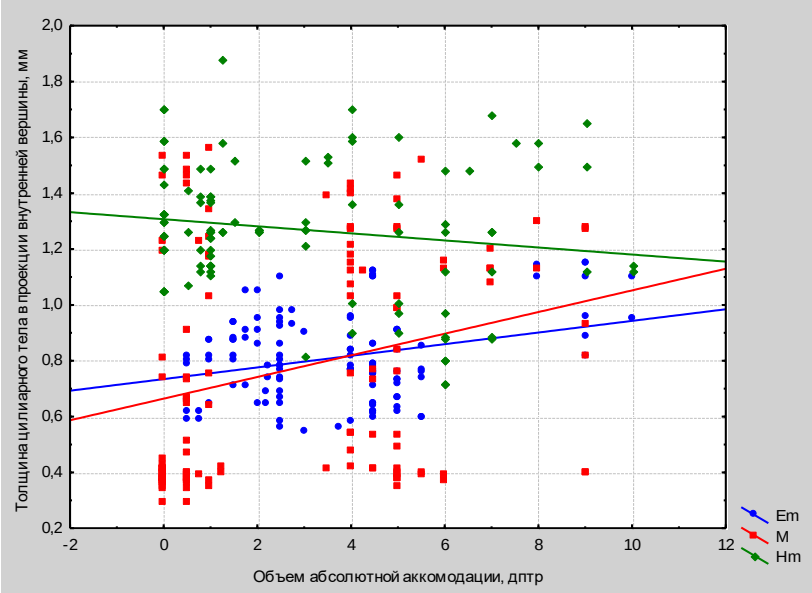

Рисунок 14 – Регрессионная зависимость толщины цилиарного тела (ТЦТ) в проекции внутренней вершины от величины аккомодации у пациентов с различными видами рефракции

При развитии пресбиопии, вне зависимости от имеющейся рефракции, установлена достоверная отрицательная взаимосвязь между величиной аккомодации и уровнем истинного ВГД, наиболее прочная у пациентов с эмметропией. Уравнения регрессии, коэффициенты детерминации, уровень достоверности проведенного анализа представлены в Таблице 9, линии регрессии - на Рисунке 15.

Таблица 9 – Результаты регрессионной зависимости ВГД от ОАА

Вид рефракции	Уравнение регрессии	Достоверность
Эмметропия	***ВГД*** = 19,192 - 0,231 ∗ ***ОАА***	R^2 = 0,69; p=0,001
Миопия	***ВГД*** = 18,478 - 0,151 ∗ ***ОАА***	R^2 = 0,27; p=0,003
Гиперметропия	***ВГД*** = 19,169 - 0,188 ∗ ***ОАА***	R^2 = 0,39; p=0,001
Где: ***ВГД***– внутриглазное давление; ***ОАА*** – объем абсолютной аккомодации; R^2 - коэффициент детерминации.		

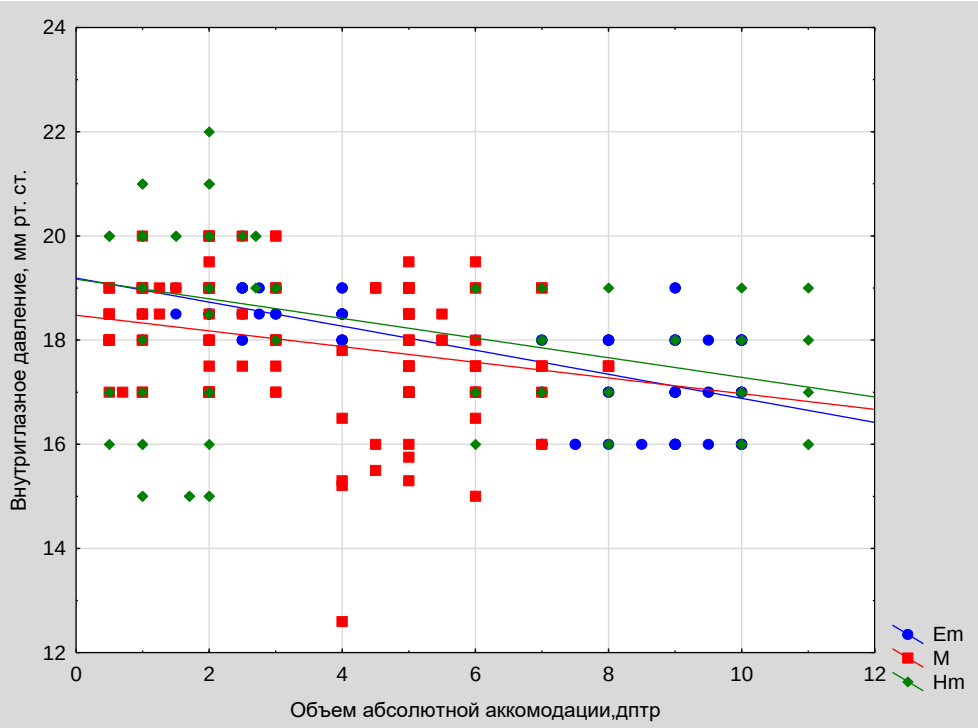

Рисунок 15 - Регрессионная зависимость уровня ВГД от объема абсолютной аккомодации

Таким образом, доказано, что при пресбиопии независимо от рефракционных условий происходят повышение оптической плотности хрусталика и увеличение его передне-заднего размера. Однако степень увеличения размеров хрусталика в зависимости от вида рефракции различается и является максимальной при эмметропии, менее выраженной – при миопии и гиперметропии. Теснота взааимозависимости между толщиной хрусталика и величиной аккомодации является наибольшей у пациентов с эмметропией.

Структурные иридо-цилиарные взаимоотношения при пресбиопии у пациентов с эмметропией, миопией и гиперметропией существенно различаются по расположению и конфигурации внутренней вершины цилиарного тела, степени акцентирования циркулярной порции цилиарной мышцы: у пациентов с соразмерной рефракцией происходит уплощение

внутренней вершины цилиарного тела; у пациентов с миопией наблюдается сдвиг внутренней вершины кзади и уплощение цилиарного тела; при гиперметропии установлено акцентирование циркулярной порции цилиарной мышцы. Одновременно с этим у пациентов с эмметропией с развитием пресбиопии появляется интраокулярная асимметрия, у пациентов с аметропией – исходная асимметрия усиливается.

При развитии пресбиопии у пациентов во всех рефракционных группах установлено достоверное увеличение ВГД (в пределах физиологических значений). Выявлена достоверная зависимость между величиной аккомодации и уровнем истинного ВГД, наиболее прочная у пациентов с эмметропией. Полученные результаты подтверждают наличие взаимоотношений между аккомодационной способностью, и гидродинамикой глаза.

Представленные результаты исследования раскрывают закономерности изменения интраокулярных структурных взаимоотношений и уровня ВГД при формировании пресбиопии в различных рефракционных условиях.

3.2. Изменение параметров физиологической оптической системы при формировании пресбиопии

Оптический аппарат глаза человека характеризуется не только поликомпонентностью морфологии оптических элементов, но и наличием сложных биомеханических механизмов, регулирующих поступление и фокусирование светового потока на сетчатке.

Для решения поставленной задачи исследования оптической системы глаза, выяснения изменения аккомодационного и зрачкового ответов при формировании пресбиопии были проанализированы интраокулярные и корнеальные оптические аберрации, показатели диафрагмальной зрачковой функции в различных условиях освещения, а также биомеханика аккомодационного ответа.

Параметры физиологической оптической системы при развитии пресбиопии первоначально проанализированы у пациентов с эмметропической рефракцией, далее - у пациентов с аметропией. Также были установлены зависимости между частными компонентами физиологической оптической системы и величиной аккомодации.

3.2.1. Оптические аберрации глаза у пациентов с пресбиопией

На первом этапе исследования оптической системы глаза были проанализированы оптические аберрации глаза в условиях аккомодационного рефлекторного покоя. Для этого были зафиксированы коэффициенты полиномов Цернике, являющихся эффективными базисными функциями оптической системы, а также значения среднеквадратичного отклонения волнового фронта (RMS total) глаза и роговицы.

Анализ оптических аберраций глаза при формировании пресбиопии у пациентов с эмметропией

При анализе оптических аберраций у пациентов с пресбиопией прослеживается тенденция к увеличению среднеквадратичного отклонения волнового фронта как со роговицы, так и со стороны всего глаза. При анализе среднеквадратичного отклонения волнового фронта у пациентов с эмметропией выявлено, что формирование пресбиопии характеризуется увеличением суммарного числа интраокулярных и корнеальных оптических аберраций (Таблица 10), а также снижением способности хрусталика компенсировать корнеальные аберрации.

Таблица 10- Показатели волнового фронта оптической системы у пациентов с пресбиопией в сравнении с лицами молодого возраста

Показатели	Без пресбиопии (M±σ)	Пресбиопия (M±σ)	Критерий Манна-Уитни, p
	1	2	
Среднеквадратичное отклонение волнового фронта глаза (диаметр зрачка 3,0 мм), мкм	0,13± 0,01	0,17± 0,02	P_{1-2}< 0,001
Среднеквадратичное отклонение волнового фронта роговицы (total), мкм	0,37±0,17	0,48±0,14	P_{1-2}<0,01

Изменению оптических аберраций роговицы у пациентов с пресбиопией уделено прицельное внимание. Разброс данных по значениям полиномов

Цернике наиболее значимых клинических корнеальных оптических аберраций у пациентов с пресбиопией представлен в Таблице 11.

Таблица 11 - Сравнительный анализ корнеальных оптических аберраций (ОА) высокого порядка у пациентов с пресбиопией и лиц молодого возраста (эмметропическая рефракция)

Показатели	Без пресбиопии (M±σ)	Пресбиопия (M±σ)	Критерий Манна-Уитни, p
	1	2	
ОА Z_3^{-3},мкм	0,02±0,00	0,02±0,01	$P_{1-2}>0,05$
ОА Z_3^{-1},мкм	0,03±0,01	0,01±0,01	$P_{1-2}>0,05$
ОА Z_3^{1},мкм	0,02±0,01	0,03±0,01	$P_{1-2}>0,05$
ОА Z_3^{3},мкм	0,04±0,01	0,03±0,01	$P_{1-2}>0,05$
ОА Z_4^{-4},мкм	0,02±0,01	0,02±0,02	$P_{1-2}>0,05$
ОА Z_4^{-2},мкм	0,02±0,01	0,03±0,01	$P_{1-2}>0,05$
ОА Z_4^{0},мкм	0,17±0,05	0,23±0,06	$P_{1-2}<0,001$
ОА Z_4^{2},мкм	0,001±0,001	0,001±0,002	$P_{1-2}>0,05$
ОА Z_4^{4},мкм	0,001±0,001	0,001±0,006	$P_{1-2}>0,05$

Можно предполагать, что прирост корнеальной сферической аберрации 4 порядка взаимосвязан со снижением аккомодации и может быть направлен на увеличение глубины фокуса у пациентов с пресбиопией. Однако показатель корнеальной сферической аберрации имеет довольно большой уровень дисперсии, что может говорить об индивидуальных особенностях – генетически детерминированных либо обусловленных образом жизни.

Тем не менее, полученные данные говорят о приросте оптических погрешностей эмметропичного глаза при развитии пресбиопии. Физиологическая оптическая система у пациентов с пресбиопией становится менее совершенной, что может способствовать процессам светорассеивания и ухудшению формирования ретинального образа.

Анализ оптических аберраций глаза при формировании пресбиопии у пациентов с аметропией

При анализе оптических аберраций при формировании пресбиопии у пациентов с миопией также установлена тенденция к увеличению среднеквадратичного отклонения волнового фронта глаза (Таблица). У пациентов с миопической рефракцией при формировании пресбиопии, также как у пациентов с эмметропией, отмечается значимый прирост суммарного числа корнеальных оптических аберраций. При этом выявлено увеличение коэффициента Цернике не только сферической аберрации Z_4^0 , но и уменьшение горизонтальной комы Z_3^1 (Таблица 12).

У пациентов с гиперметропией при аберрометрии получены интересные результаты (Таблица 13). У молодых пациентов с гиперметропией среднеквадратичного отклонения волнового фронта глаза были достоверно выше, чем аналогичные значения у молодых пациентов с эмметропией.

Таблица 12 - Сравнительный анализ среднеквадратичного отклонения волнового фронта глаза и роговицы, корнеальных оптических аберраций 3 порядка у пациентов с миопией при развитии пресбиопии

Показатели	Эмметропия		Миопия		Критерий Манна-Уитни
	Без пресбиопии (M±σ)	Пресбиопия (M±σ)	Без пресбиопии (M±σ)	Пресбиопия (M±σ)	
	1	2	3	4	
RMS total глаза (диаметр зрачка 3,0 мм), мкм	0,13± 0,01	0,17± 0,02	0,13± 0,01	0,19±0,01	P_{1-2}< 0,001 P_{3-4}<0,001 P_{1-3}>0,05 P_{2-4}>0,05
RMS total роговицы, мкм	0,37±0,17	0,48±0,14	0,39±0,17	0,52±0,19	P_{1-2}< 0,01 P_{3-4}<0,001 P_{1-3}>0,05 P_{2-4}>0,05
ОА роговицы Z_3^1,мкм	0,02±0,01	0,03±0,01	0,03±0,01	-0,03±0,01	P_{1-2}< 0,001 P_{3-4}<0,001 P_{1-3}< 0,01 P_{2-4}< 0,001
ОА роговицы Z_4^0,мкм	0,17±0,05	0,23±0,06	0,16±0,05	0,21±0,06	P_{1-2}< 0,001 P_{3-4}<0,001 P_{1-3}>0,05 P_{2-4}>0,05

Средние значения коэффициента Цернике корнеальной горизонтальной комы (ОА Z_3^1) у молодых пациентов с гиперметропией достоверно отличались от аналогичных значений у пациентов с эмметропией, при этом были отрицательными. Средние значения коэффициента Цернике корнеальной сферической аберрации (ОА Z_4^0) у пациентов с гиперметропией были достоверно больше, чем у пациентов с эмметропией. Это говорит об иной организации оптических элементов в гиперметропичном глазу.

Таблица 13 - Сравнительный анализ среднеквадратичного отклонения волнового фронта глаза и роговицы,корнеальных оптических аберраций 3 порядка у пациентов с гиперметропией при развитии пресбиопии

Показатели	Эмметропия		Гиперметропия		Критерий Манна-Уитни
	Без пресбиопии (M±σ)	Пресбиопия (M±σ)	Без пресбиопии (M±σ)	Пресбиопия (M±σ)	
	1	2	3	4	
RMS total глаза (диаметр зрачка 3,0 мм), мкм	0,13± 0,01	0,17± 0,02	0,15± 0,01	0,23±0,01	P_{1-2}< 0,001 P_{3-4}<0,001 P_{1-3}<0,001 P_{2-4}<0,001
RMS total роговицы, мкм	0,37±0,17	0,48±0,14	0,43±0,17	0,45±0,14	P_{1-2}< 0,001 P_{3-4}>0,05 P_{1-3}>0,05 P_{2-4}>0,05
ОА роговицы Z_3^1,мкм	0,02±0,01	0,03±0,01	-0,02±0,07	-0,02±0,10	P_{1-2}>0,05 P_{3-4}>0,05 P_{1-3}< 0,01 P_{2-4}< 0,001
ОА роговицы Z_4^0,мкм	0,17±0,05	0,23±0,06	0,31±0,04	0,32±0,08	P_{1-2}< 0,001 P_{3-4}>0,05 P_{1-3}< 0,001 P_{2-4}< 0,001

При развитии пресбиопии выявлено высоко достоверное увеличение среднеквадратичного отклонения волнового фронта глаза. Тогда как достоверного прироста со стороны оптических аберраций роговицы не отмечено.

Из представленных данных аберрометрии видно, что оптическая организация глаза при аметропии является менее совершенной, чем при соразмерной рефракции. Развитие пресбиопии вносит свои закономерности в изменение оптических характеристик глаза: если при миопии отмечен равномерный прирост как со стороны роговицы, так и со стороны глаза, то при

гиперметропии развитие пресбиопии ведет к увеличению суммарного числа аберраций всего глаза, но не роговицы. Это говорит в пользу того, что у пациентов с гиперметропие й отмечен рост внутриглазных оптических аберраций и отсутствие со стороны хрусталика возможностей компенсирования роговичных аберраций.

Взаимосвязь величины оптических аберраций глаза с величиной аккомодации

Далее, для понимания взаимосвязи между величиной аккомодации при развитии пресбиопии и характером изменения оптических аберраций был проведен регрессионный анализ. При проведении регрессионного анализа установлена достоверная зависимость между показателями RMS total и объемом абсолютной аккомодации. Результаты регрессионного анализа представлены в Таблице 14.

Таблица 14 - Результаты регрессионной зависимости среднеквадратичного отклонения волнового фронта от ОАА

Вид рефракции	Уравнение регрессии	Достоверность
Зависимость RMS total глаза от ОАА		
Em	***RMS total*** = 0,183 - 0,008 * ***OAA***	R^2= 0,75; p=0,001
M	***RMS total*** = 0,187 - 0,009 * ***OAA***	R^2 = 0,87; p=0,001
Hm	***RMS total*** = 0,177- 0,007 * ***OAA***	R^2 = 0,57; p=0,0001
Зависимость RMS total роговицы от ОАА		
Em	***RMS total cornea*** = 0,495 - 0,024 * ***OAA***	R^2= 0,41; p=0,0001
M	***RMS total cornea*** = 0,514 - 0,020 * ***OAA***	R^2 = 0,35; p=0,0001
Hm	***RMS total cornea*** = 0,498- 0,011 * ***OAA***	R^2 = 0,19; p=0,046
Где: ***RMS total*** – среднеквадратичное отклонение волнового фронта глаза; ***RMS total cornea*** – среднеквадратичное отклонение волнового фронта роговицы;***OAA*** – объем абсолютной аккомодации; R^2 - коэффициент детерминации.		

Линии регрессии среднеквадратичного отклонения волвого фронта глаза от объема абсолютной аккомодации отражены на Рисунке 16, а зависимости среднеквадратичного отклонения волнового фронта роговицы от величины аккомодации – на Рисунке 17.

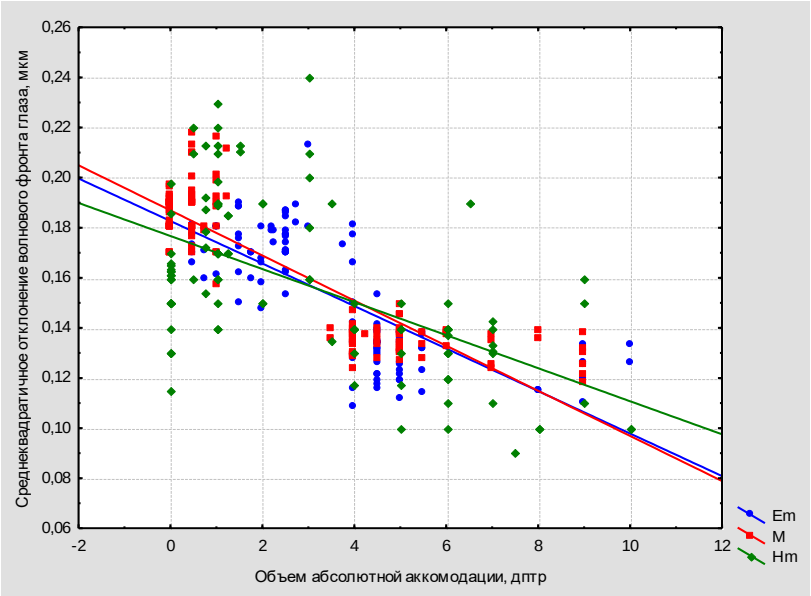

Рисунок 16 - Регрессионная зависимость среднеквадратичного отклонения волнового фронта глаза от объема абсолютной аккомодации

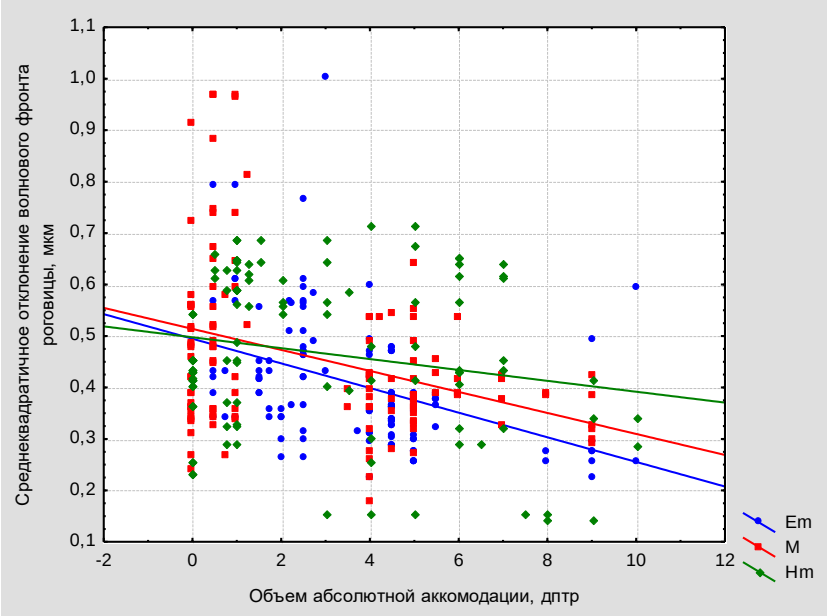

Рисунок 17– Регрессионная зависимость среднеквадратичного отклонения волнового фронта роговицы от объема абсолютной аккомодации

Видно, что объем абсолютной аккомодации достоверно выступает в качестве детерминирующей величины для суммарного значения числа оптических аберраций (как интраокулярных, так и избирательно корнеальных) в ходе развития пресбиопии у пациентов всех рефракционных групп. У пациентов с гиперметропией теснота взаимосвязи между RMS total роговицы и объемом абсолютной аккомодации является невысокой, но достоверной.

Установленное повышение значений корнеальной сферической аберрации 4 порядка при развитии пресбиопии у пациентов с миопией, также как и у пациентов с эмметропией указывает на необходимость дополнительных исследований для выявления клинической значимости данной аберрации при развитии пресбиопии.

При проведении регрессионного анализа установлена согласованность увеличения сферической аберрациий 4 порядка и уменьшения аккомодационной способности при развитии пресбиопии (Таблица 15). При этом взаимосвязь между величиной аккомодации и коэффициентом Цернике корнеальной сферической аберрации у пациентов с эмметропией является высоко достоверной, у пациентов с миопией теснота данной зависимости менее выраженной. Для пациентов с гиперметропией данная зависимость не достоверна.

Регрессионная зависимость между величиной корнеальной сферической аберрации и величиной аккомодации представлена на Рисунке 18.

Таблица 15– Результаты регрессионной зависимости коэффициента Цернике корнеальной сферической аберрации 4 порядка ОАА

Вид рефракции	Уравнение регрессии	Достоверность
Эмметропия	**ОА Z_4^0** = 0,239 - 0,008 * **ОАА**	**R^2**= 0,39; p=0,001
Миопия	**ОА Z_4^0** = 0,203 - 0,009 * **ОАА**	**R^2** = 0,23; p=0,011
Гиперметропия	**ОА Z_4^0** = 0,207 - 0,002 * **ОАА**	**R^2** = 0,09; p=0,368

Где:

ОА Z_4^0 – коэффициент Цернике корнеальной сферической аберрации 4 порядка;

ОАА – объем абсолютной аккомодации;
R^2 - коэффициент детерминации.

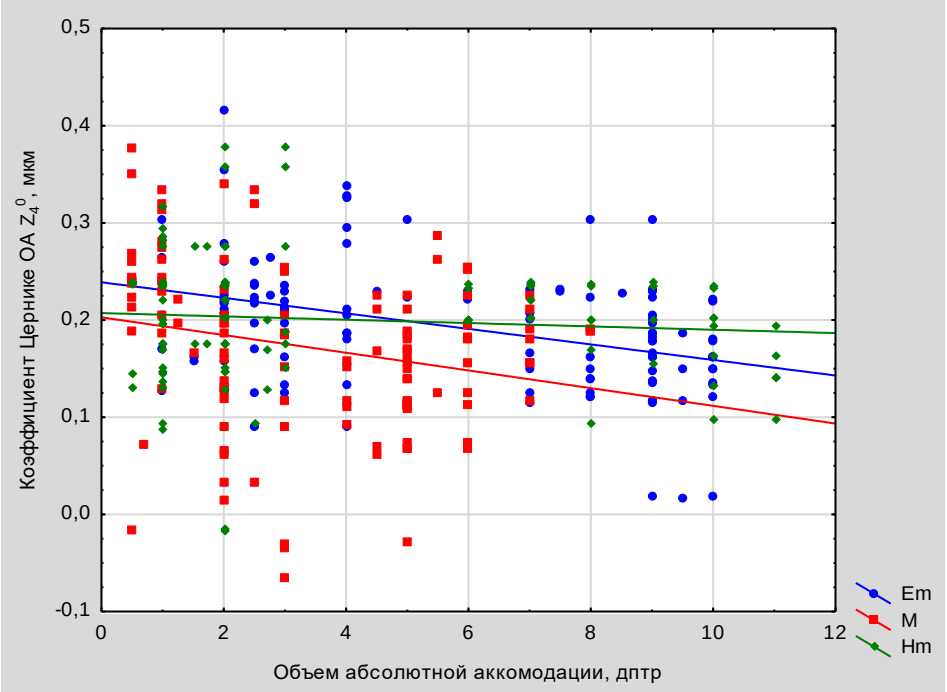

Рисунок 18 – Регрессионная зависимость коэффициента Цернике корнеальной сферической аберрации 4 порядка от объема абсолютной аккомодации

Таким образом, установлено, что для физиологической оптической системы глаза при пресбиопии характерно увеличение среднеквадратичного отклонения волнового фронта глаза, среднеквадратичного отклонения волнового фронта роговицы. Развитие пресбиопии у пациентов с эмметропией и миопией характеризуется увеличением среднеквадратичного отклонения волнового фронта роговицы, значений коэффициента Цернике корнеальной сферической аберрации 4 порядка. Увеличение рефракционных ошибок и усиление рассеивания светового потока, попадающего на сетчатку, ведет к снижению возможностей для формирования оптимального ретинального изображения у пациентов с пресбиопией. Для понимания роли корнеальных аберраций в развитии пресбиопии необходимо изучить биомеханику нормального аккомодационного ответа и при развитии пресбиопии.

3.2.2. Изменение биомеханики аккомодационного ответа при развитии пресбиопии

На следующем этапе было проанализированы различия в состоянии физиологической оптической системы в покое и при напряжении аккомодации. С целью выявления закономерностей формирования аккомодационного ответа в норме и при развитии пресбиопии нами было проведено исследование переднего отрезка глаз с помощью ротационной Шеймпфлюг-камеры и ультразвуковой биомикроскопии в покое и в момент предъявления зрительного стимула, соответствующего напряжению аккомодации в 3 дптр.

Для характеристики аккомодационного ответа интерактивно были зафиксированы следующие параметры:

- толщина хрусталика;
- световая трансмиссия хрусталика;
- толщина цилиарного тела в проекции внутренней вершины;
- дистанция «трабекула-цилиарные отростки» (ДТЦО);
- диаметр зрачка;
- индексы асферичности роговицы (горизонтальный меридиан);
- индекс асферичности периферической части роговицы (среднее в 4 квадрантоах по кольцу диаметром 10 мм);
- роговичные оптические аберрации;
- угол примыкания «трабекула-радужка» (ТР).

Сравнительный анализ был проведен с использованием критерия Вилкоксона. Установлены закономерности биомеханики нормального аккомодационного ответа у пациентов без пресбиопии с эмметропией. Отклонения в характере аккомодационного ответа у пациентов с аметропией установлены при сравнении результатов с результами у пациентов с соразмерной рефракцией. На следующем этапе определена биомеханика аккомодационного ответа у пациентов с пресбиопией (с эмметропией и аметропией).

Биомеханика нормального аккомодационного ответа у пациентов с эмметропией

Для определения биомеханики нормального аккомодационного ответа установлены анатомические и оптические преобразования глаза у молодых пациентов с эмметропической рефракцией (группы 1.1. данного исследования), с объемом абсолютной аккомодации 8,36±1,12 дптр (M±σ), привычным тонусом аккомодации -0,04±0,28 дптр (M±σ).

При интерактивной регистрации аккомодационного ответа (при рефракционной нагрузке в 3 дптр) выявлено одновременное совместное преобразование оптической системы глаза и анатомических структур, обеспечивающих адекватный биомеханический ответ. Установлено, что лентикулярный компонент аккомодации является доминирующим, при этом происходит увеличение передне-заднего размера хрусталика на 8-10%, усиление плотности кортикальных слоев хрусталика на 5-6% (Таблица 16).

Помимо этого, в момент максимального напряжения аккомодации у пациентов с эмметропической рефракцией происходит сужение зрачка с изменением профиля радужной оболочки, изменение периферической части роговицы, изменением волнового фронта роговицы с уменьшением значений сферической аберрации 4 порядка.

Таблица 16 - Сравнительный анализ структурных изменений переднего отрезка глазного яблока во время аккомодационного ответа (при рефракционной нагрузке 3 дптр) у молодых пациентов с эмметропической рефракцией (M±σ)

Параметры	В покое (n=30)	В момент аккомодации (n=30)	Критерий Вилкоксона, p
	1	2	
Световая трансмиссия коры хрусталика, %	8,52±0,58	8,81±0,52	P_{1-2}< 0,05
Толщина хрусталика, мм	3,78±0,32	4,08±0,11	P_{1-2}< 0,001
ТЦТ, мм	0,97±0,14	0,92±0,18	P_{1-2}> 0,05
Дистанция «трабекула-цилиарные отростки», мм	0,99±0,24	0,89±0,17	P_{1-2}< 0,05
Диаметр зрачка, мм	3,61±0,44	2,84±0,41	P_{1-2}< 0,001
Индекс асферичности роговицы в гориз. меридиане	0,25±0,07	0,28±0,07	P_{1-2}< 0,001
Индекс асферичности периферии роговицы (среднее по кольцу d 10 мм)	0,42±0,14	0,78±0,17	P_{1-2}< 0,001
RMS total роговицы, мкм	0,37±0,17	0,42±0,23	P_{1-2}< 0,01
Корнеальная сферическая аберрация $Z_4{}^0$, мкм	0,17±0,01	0,12±0,02	P_{1-2}< 0,01
Угол примыкания ТР, град.	37,5±2,3	39,48±2,1	P1-2< 0,001

На основании данных корнеотопографии (Рисунок) установлено, что в момент максимального напряжения аккомодации тангенциальная кривизна периферической части роговицы в верхнем и нижнем уменьшается. Одновременно с этим в этих зонах отмечено формирование лимбального углубления в виде канавки, что может быть следствием функционального сокращения цилиарной мышцы. Изменение корнеальных оптических аберраций высокого порядка при аккомодационном напряжении представлено на Рисунке 19.

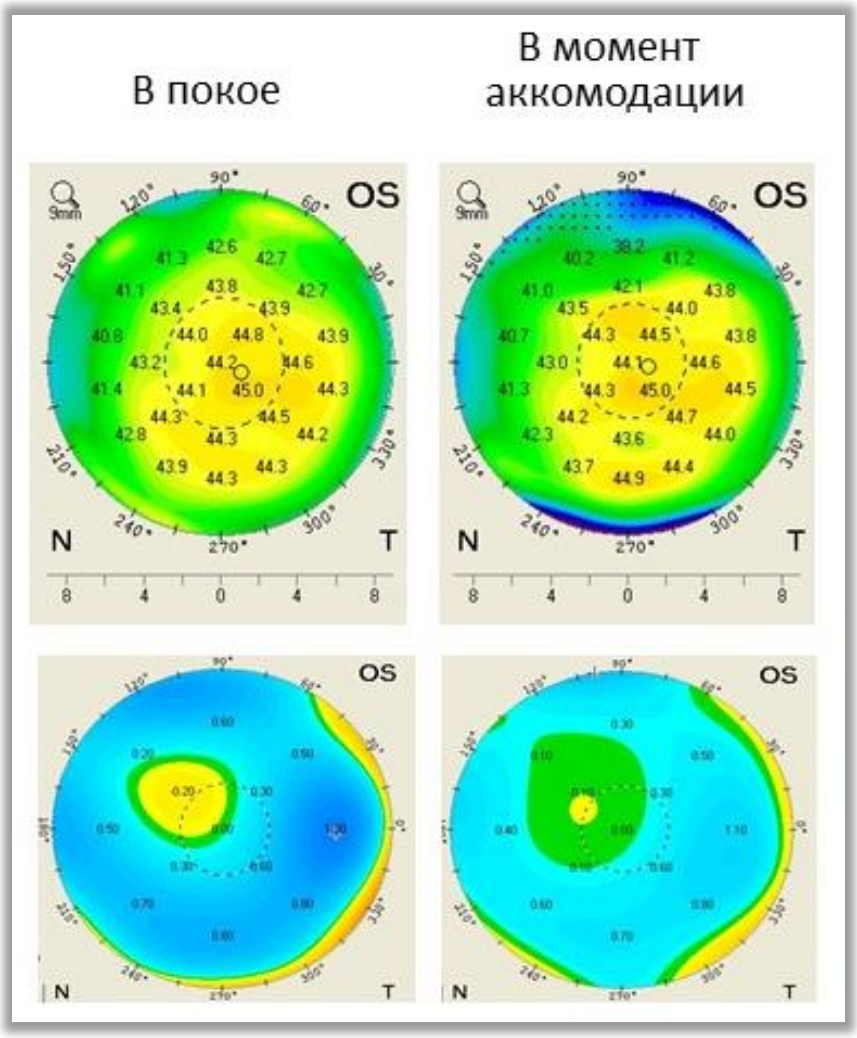

Рисунок 19– Изменение тангенциальной кривизны и RMS HOA роговицы в момент аккомодационного ответа у молодого пациента с эмметропической рефракцией глаза

Шеймпфлюг-изображения переднего отрезка глаза, с дифференциацией структур в покое (выделены линями зеленого цвета) и в момент аккомодации (выделены линями красного цвета) демонстрируют происходящие биомеханические сдвиги (Рисунок 20).

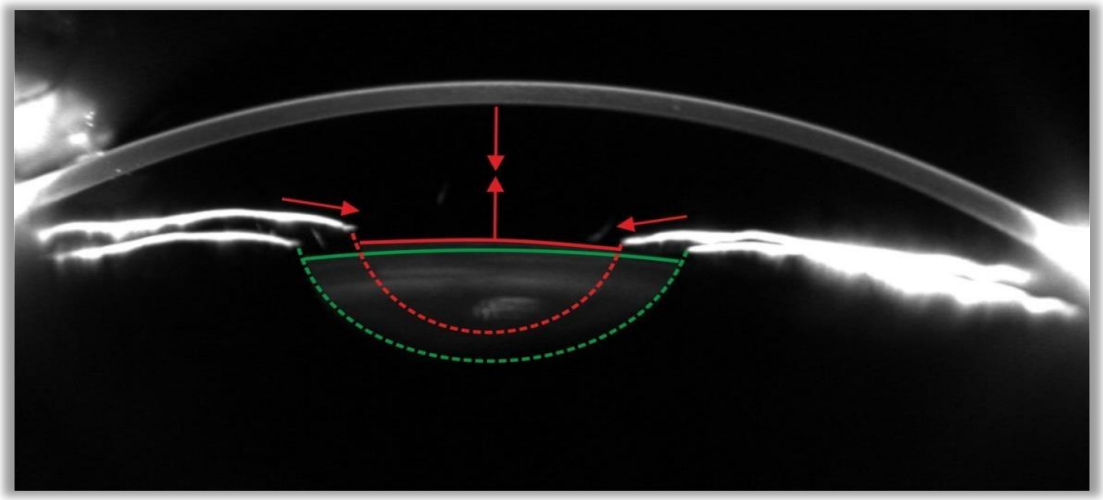

Рисунок 20 - Сравнительный анализ Шеймпфлюг-изображений переднего отрезка в покое и при аккомодации у пациента с эмметропической рефракцией. Дифференциация структур в покое и в момент аккомодации произведена, исходя из сопоставления задних поверхностей роговицы двух изображений

Таким образом, установлено, что аккомодационный ответ в норме характеризуется не только трансформацией хрусталика, сокращением цилиарной мышцы, сужением зрачка, но и существенным изменением оптических параметров роговицы с уменьшением периферической тангенциальной кривизны, изменением волнового фронта роговицы, уменьшением сферической аберрации.

Биомеханика аккомодационного ответа у молодых пациентов с аметропией

Для определения биомеханики аккомодационного ответа установлены анатомические и оптические преобразования глаза у молодых пациентов с миопической рефракцией (группы 1.2. данного исследования), с объемом абсолютной аккомодации 6,48±1,04 дптр (M±σ), привычным тонусом аккомодации -0,35±0,13 дптр (M±σ) и с гиперметропической рефракцией (группы 1.3. данного исследования), с объемом абсолютной аккомодации 8,86±1,97 дптр (M±σ), привычным тонусом аккомодации 1,98±0,56 дптр (M±σ).

Установлено, что у пациентов с миопической рефракцией в момент аккомодационного напряжения, также как у пациентов с эмметропической рефракцией, происходят увеличение передне-заднего размера хрусталика, увеличение световой трансмиссии кортикальных слоев хрусталика, сужение зрачка, уменьшение расстояния между трабекулой и цилиарными отростками, увеличение иридо-корнеального угла, уменьшение сферической аберрации 4 порядка и изменение профиля радужной оболочки (Таблица 17). В отличие от пациентов с эмметропией, у пациентов с миопией в момент аккомодации изменение асферичности роговицы в горизонтальном меридиане не выявлено.

У пациентов с гиперметропической рефракцией, также как у пациентов с эмметропией, в момент аккомодационного ответа происходят увеличение передне-заднего размера хрусталика, увеличение световой трансмиссии кортикальных слоев хрусталика, сужение зрачка (Таблица 18). Принципиальным отличием в характере аккомодационного ответа у пациентов с гиперметропией является отсутствие достоверных изменений со стороны оптических параметров роговицы.

Таблица 17- Сравнительный анализ структурных изменений переднего отрезка глазного яблока во время аккомодационного ответа (при рефракционной нагрузке 3 дптр) у молодых пациентов с миопической рефракцией (M±σ)

Параметры	В покое (n=30)	В момент аккомодации (n=30)	Критерий Вилкоксона p
	1	2	
Световая трансмиссия коры хрусталика, %	8,42±0,51	8,69±0,31	$P_{1-2}< 0,05$
Толщина хрусталика, мм	3,66±0,21	3,74±0,20	$P_{1-2}< 0,001$
ТЦТ, мм	0,86±0,15	0,82±0,16	$P_{1-2}> 0,05$
Дистанция «трабекула-цилиарные отростки», мм	1,13±0,28	1,08±0,29	$P_{1-2}< 0,001$
Диаметр зрачка, мм	4,09±0,54	3,63±0,44	$P_{1-2}< 0,001$
Индекс асферичности роговицы, горизонт. меридиан	0,45±0,11	0,46±0,12	$P_{1-2}> 0,05$
Индекс асферичности периферии роговицы (среднее по кольцу d 10 мм)	0,61±0,14	0,58±0,14	$P_{1-2}> 0,05$
RMS total роговицы мкм	0,39±0,17	0,37±0,15	$P_{1-2}> 0,05$
Корнеальная сферическая аберрация Z_4^0, мкм	0,21±0,04	0,18±0,03	$P_{1-2}< 0,01$
Угол примыкания ТР, град.	42,6±5,3	44,1±4,1	$P_{1-2}< 0,01$

Таблица 18 - Сравнительный анализ структурных изменений переднего отрезка глазного яблока во время аккомодационного ответа (при рефракционной нагрузке 3 дптр) у молодых пациентов с гиперметропической рефракцией (M±σ)

Параметры	В покое (n=20)	В момент аккомодации (n=20)	Критерий Вилкоксона, p
	1	2	
Световая трансмиссия коры хрусталика, %	8,01±0,17	8,17±0,58	$P_{1-2}< 0,05$
Толщина хрусталика, мм	3,43±0,20	3,69±0,29	$P_{1-2}< 0,001$
ТЦТ, мм	1,21±0,30	1,12±0,31	$P_{1-2}> 0,05$
Дистанция «трабекула-цилиарные отростки», мм	0,74±0,17	0,78±0,12	$P_{1-2}> 0,05$
Диаметр зрачка, мм	2,97±0,43	2,22±0,36	$P_{1-2}< 0,001$
Индекс асферичности роговицы, горизонт. меридиан	0,16±0,04	0,16±0,04	$P_{1-2}> 0,05$
Индекс асферичности периферии роговицы (среднее по кольцу d 10 мм)	0,38±0,14	0,40±0,14	$P_{1-2}>0,05$
RMS HOA роговицы	0,43±0,17	0,43±0,15	$P_{1-2}> 0,05$
Корнеальная сферическая аберрация Z_4^0, мкм	0,23±0,03	0,23±0,04	$P_{1-2}>0,05$
Угол примыкания ТР, град.	35,7±1,8	36,6±2,5	$P_{1-2}>0,05$

Сравнительный анализ Шеймпфлюг-изображений у пациентов с эмметропией и аметропией (без пресбиопии) представлен на Рисунке 21.

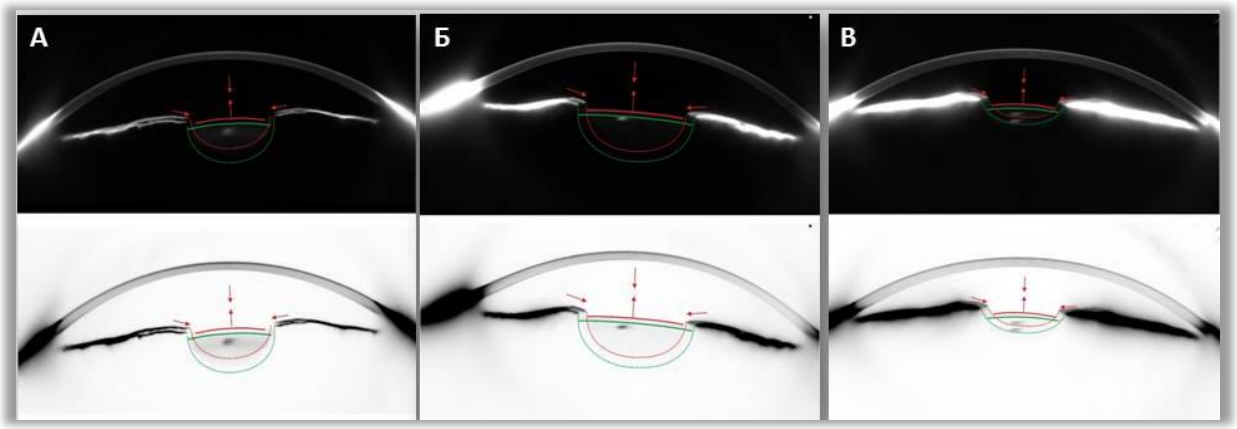

Рисунок 21 - Сравнительный анализ Шеймпфлюг-изображений переднего отрезка глаза в покое и при напряжении аккомодации. А - у пациента с эмметропией, Б - у пациента с осевой миопией слабой степени, В - у пациента с гиперметропией слабой степени. Дифференциация структур в покое и в момент аккомодации произведена исходя из сопоставления задних поверхностей роговицы двух изображений

При анализе состояния аккомодационной системы в покое и при напряжении аккомодации выявлено, что у молодых лиц во всех рефракционных группах лентикулярный компонент аккомодации является доминирующим. Вместе с тем, характер аккомодационного ответа у пациентов с миопией и гиперметропией несколько отличается от характера ответа у пациентов с эмметропией, что указывает на существующие различия в функциональном состоянии аккомодационного аппарата.

Изменение биомеханики аккомодационного ответа при развитии пресбиопии

У пациентов с пресбиопией аккомодационный ответ имеет совершенно иной характер. При развитии пресбиопии лентикулярная способность к трансформации утрачивается, но экстралентикулярные составляющие аккомодационного ответа сохраняются. Распознавание Шеймпфлюг-образов (Рисунок 22) позволило выделить различия в состоянии зрачковой диафрагмы в покое (границы выделены зеленым цветом) и в момент аккомодации (границы выделены красным цветом).

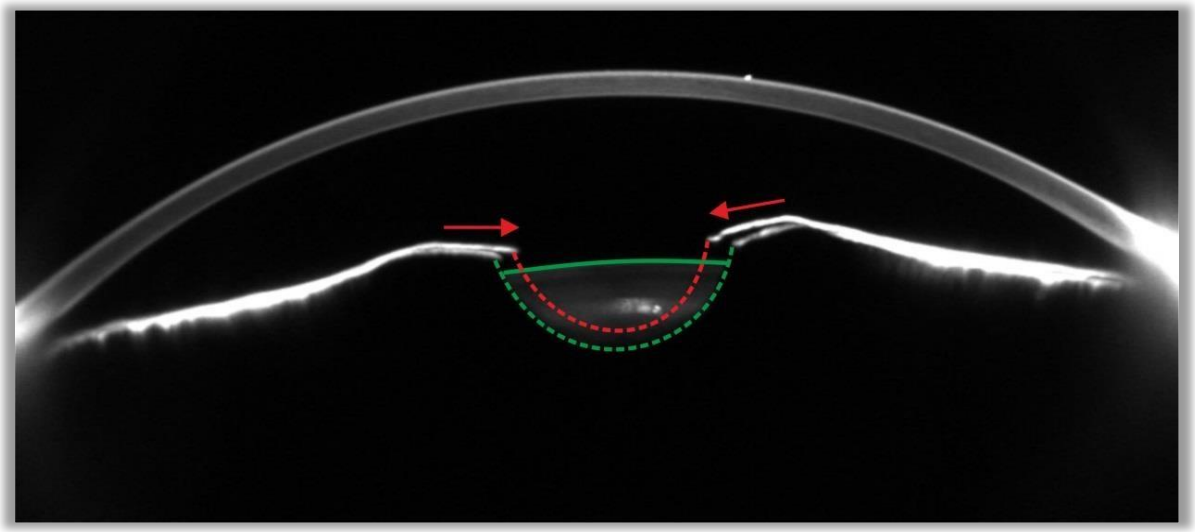

Рисунок 22 - Сравнительный анализ Шеймпфлюг-изображений переднего отрезка глаза у пациентов с пресбиопией в покое и при аккомодации (дифференциация структур произведена, исходя из сопоставления задних поверхностей роговицы двух изображений)

У пациентов с пресбиопией и эмметропией в момент аккомодационного ответа зафиксированы уменьшение толщины цилиарной мышцы с 0,64±0,12 мм до 0,56±0,13 мм ($p<0,05$), уменьшение диаметра зрачка с 3,25±0,26 мм до 2,32±0,24 мм ($p<0,001$), увеличение асферичности периферической части роговицы с 0,49±0,11 до 0,56±0,12, до ($p<0,001$). Уменьшения сферической аберрации 4 порядка роговицы, что характерно для нормального аккомодационного ответа, у пациентов с пресбиопией не выявлено. Топография роговицы по значениям тангенциальной кривизны в покое и в момент аккомодации у пациентов с пресбиопией представлена на Рисунке 23.

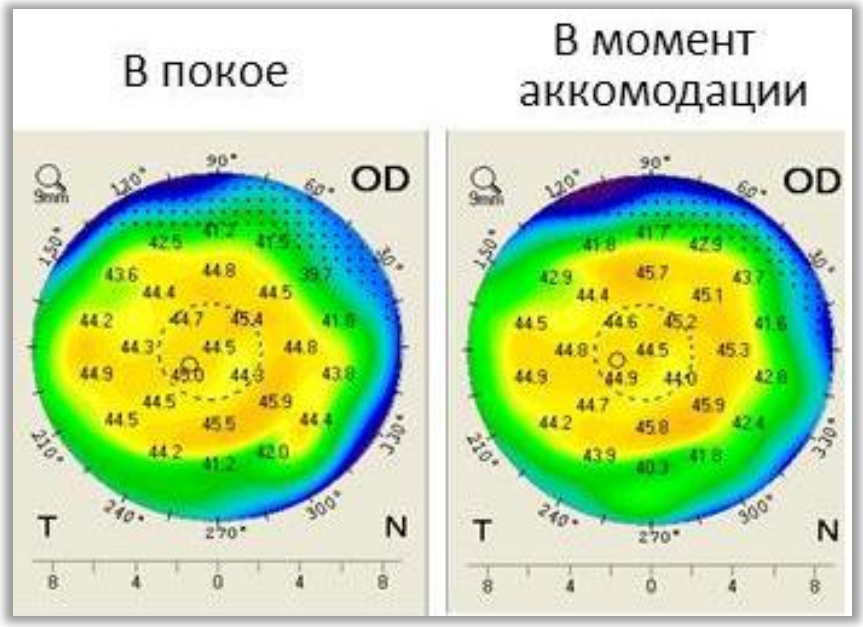

Рисунок 23– Тангенциальная кривизна роговицы в покое и при максимальном напряжении аккомодации у пациента с пресбиопией и эмметропией

При развитии пресбиопии у пациентов с гиперметропией, в сравнении с данными в покое, степень изменения оптических параметров в момент

аккомодации была менее выраженной, а с миопией – незначимой (Рисунок 24)..

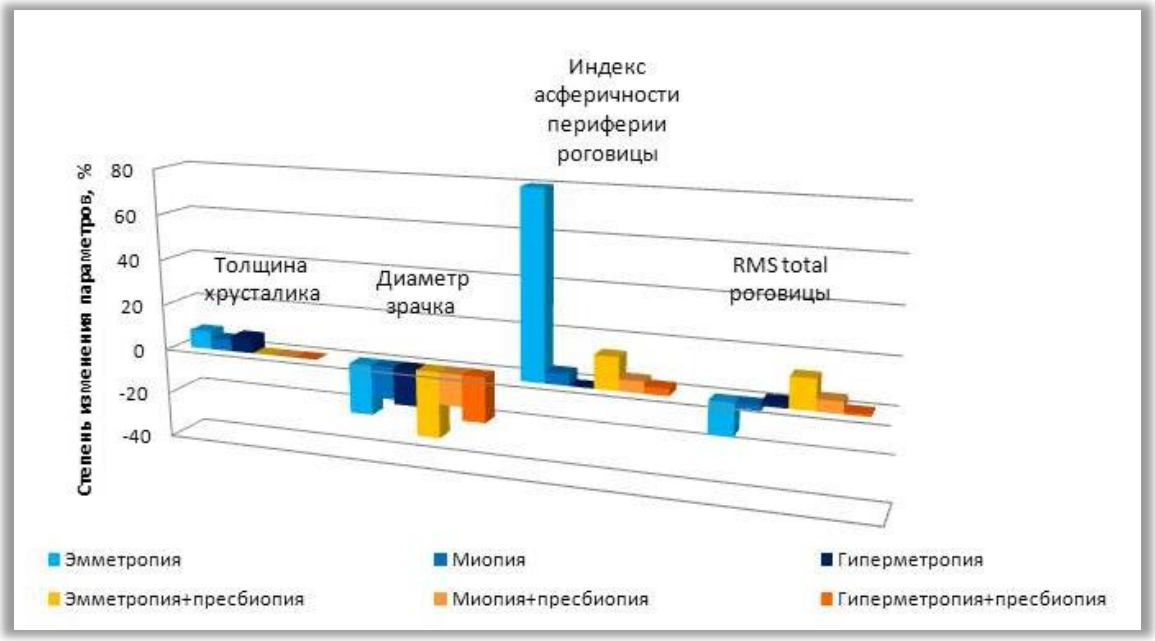

Рисунок 24 - Изменение показателей глаза во время аккомодационного ответа (рефракционная нагрузка в 3 дптр)

Таким образом, установлены закономерности изменения аккомодационного ответа.

У пациентов с нормальной аккомодацией выполнение задачи ясного видения характеризуется трансформацией не только хрусталика, но и всего оптического аппарата, с активным участием в аккомодационном процессе роговицы и радужки. Лентикулярный компонент является доминирующим у молодых пациентов вне зависимости от рефракции. Представлены приоритетные данные об изменении денситометрических показателей хрусталика, а также оптических параметров роговицы в момент аккомодации. Аккомодационный ответ в норме характеризуется существенным изменением оптических параметров роговицы с уменьшением периферической тангенциальной кривизны, изменением волнового фронта роговицы, уменьшением корнеальной сферической аберрации 4 порядка.

Установленные закономерности показывают, что в нормальной физиологической системе процесс аккомодации, направленный на получение адекватного зрительного изображения на различных расстояниях является результатом взаимодействия ряда биомеханических преобразований глазного яблока.

При развитии пресбиопии аккомодационный ответ характеризуется изменением биомеханики с утратой лентикулярного механизма аккомодации, усилением асферичности периферии роговицы, сужением зрачка. Изменение асферичности периферии роговицы можно рассматривать как следствие сокращения цилиарной мышцы и натяжения периферической части роговицы при выполнении функциональной системой зрительного восприятия задачи достижения адекватного зрительного образа и подключении всех имеющихся ресурсов.

Характер аккомодационного ответа у пациентов с миопией и гиперметропией несколько отличается от характера ответа у пациентов с эмметропией, что указывает на существующие различия в функциональном состоянии аккомодационного аппарата.

3.2.3. Изменение зрачкового ответа при формировании пресбиопии

Зрачковый ответ отражает изменение зрачковой диафрагмы в ответ на изменение ретинальной освещенности и является важным компонентом оптической системы глаза. Благодаря динамически меняющейся экскурсии, зрачок регулирует поток лучей света, идущих в глаз и падающих на сетчатку. Зрачковый ответ является результатом необходимости решения задачи ретинального дефокуса, а также является одним из компонентов синкинетического рефлекса на приближение. Несмотря на тесное взаимоотношение зрачкового ответа и аккомодационного ответа, данные о взаимоотношении зрачкового ответа и аккомодации в литературе крайне скудны и практически не изучены. Именно поэтому на следующем этапе исследования был проведен анализ состояния зрачковой диафрагмы.

В данном разделе представлены:

- данные о диаметре зрачка в различных условиях освещения и диапазоне зрачковой экскурсии у пациентов без пресбиопии с различными видами рефракции,

- данные о диаметре зрачка в различных условиях освещения и диапазоне зрачковой экскурсии при развитии пресбиопии у пациентов с эмметропией и аметропией.

- взаимоотношения диаметра зрачка с параметрами цилиарного тела,

- наличие или отсутствие взаимосвязи между состоянием зрачка и цривычным тонусом аккомодации (тонической аккомодацией),

- наличие или отсутствие взаимосвязи между диаметром зрачка и объемом абсолютной аккомодации.

Изменение зрачкового ответа при формировании пресбиопии у пациентов с эмметропией

Было выявлено, что у молодых пациентов с эмметропической рефракцией диаметр зрачка в фотопических условиях составляет 3,81±0,76 мм, в мезопических условиях -6,47±0,56 мм. Между этими параметрами существует прочная корреляционная взаимосвязь (r= 0,70; p=0,0001).

При развитии развитии пресбиопии у пациентов с эмметропией диаметр зрачка как в фотопических (на 12-14%), так и в мезопических условиях освещения уменьшается (на 14-16 %). Диапазон зрачковой экскурсии у пациентов с пресбиопией уменьшен на 20-22% в сравнении с молодыми лицами без пресбиопии (Таблица 19).

Таблица 19 - Сравнительный анализ пределов зрачковой экскурсии глаза у пациентов с эмметропической рефракцией с пресбиопией и без пресбиопии

Показатели	Без пресбиопии (M±σ)	Пресбиопия (M±σ)	Критерий Манна-Уитни, p
	1	2	
Диаметр зрачка в фотопич. условиях освещения, мм	3,81±0,76	3,35±0,78	P_{1-2}< 0,001
Диаметр зрачка в мезопич. условиях освещения, мм	6,47±0,56	5,50±0,94	P_{1-2}< 0,001
Диапазон зрачковой экскурсии, мм	2,66±0,22	2,11±0,13	P_{1-2}< 0,001

Установленная согласованность изменения пределов зрачковой экскурсии при пресбиопии говорит об уменьшении зрачковой диафрагмы с сохранением физиологического баланса между m. sphincter pupillae и m. dilatator pupillae.

Изменение зрачкового ответа при формировании пресбиопии у пациентов с аметропией

Нами было установлено, что у пациентов молодого возраста (до развития пресбиопии) параметры зрачковой экскурсии значительно различаются в зависимости от рефракции глаза.

Так, у молодых пациентов с миопической рефракцией диаметр зрачка как в фотопических, так и в мезопических условиях освещения достоверно больше, чем у пациентов с эмметропией (Таблица 20). При этом между диаметрами зрачка в фотопических и мезопических условиях освещения также определена прочная взаимосвязь (r= 0,81; p=0,0001).

Таблица 20 - Показатели зрачковой экскурсии глаза у пациентов с миопической рефракцией с пресбиопией и без пресбиопии

Показатели	Эмметропия		Миопия		Критерий Манна-Уитни
	Без пресбиопии (M±σ)	Пресбиопия (M±σ)	Без пресбиопии (M±σ)	Пресбиопия (M±σ)	
	1	2	3	4	
Диаметр зрачка в фотопич. условиях освещения, мм	3,81±0,76	3,35±0,78	4,24±0,79	3,96±0,86	P_{1-2}<0,001 P_{3-4}<0,001 P_{1-3}<0,001 P_{2-4}<0,001
Диаметр зрачка в мезопич. условиях освещения, мм	6,47±0,56	5,50±0,94	6,75±0,77	5,22±0,87	P_{1-2}<0,001 P_{3-4}<0,001 P_{1-3}<0,001 P_{2-4}<0,001
Диапазон зрачковой экскурсии, мм	2,66±0,22	2,11±0,13	2,34±0,12	1,98±0,11	P_{1-2}<0,001 P_{3-4}<0,001 P_{1-3}<0,001 P_{2-4}<0,001

При развитии пресбиопии у пациентов с миопией происходит уменьшение диаметра зрачка в фотопических условиях освещения на 6-8%, диаметра зрачка в мезопических условиях освещения –на 22-23%, диапазона зрачковой экскурсии – на 16-18%.

Характер состояния зрачковой диафрагмы у пациентов с гиперметропией значительно отличается (Таблица 21).

Таблица 21 - Показатели зрачковой экскурсии глаза у пациентов с гиперметропической рефракцией с пресбиопией и без пресбиопии

Показатели	Эмметропия		Гиперметропич		Критерий Манна-Уитни
	Без пресбиопии (M±σ)	Пресбиопия (M±σ)	Без пресбиопии (M±σ)	Пресбиопия (M±σ)	
	1	2	3	4	
Диаметр зрачка в фотопич. условиях освещения, мм	3,81±0,76	3,35±0,78	3,00±0,22	3,26±0,48	$P_{1-2}<0,001$ $P_{3-4}<0,01$ $P_{1-3}<0,001$ $P_{2-4}<0,001$
Диаметр зрачка в мезопич. условиях освещения, мм	6,47±0,56	5,50±0,94	5,69±0,68	5,15±0,62	$P_{1-2}<0,001$ $P_{3-4}<0,01$ $P_{1-3}<0,001$ $P_{2-4}<0,001$
Диапазон зрачковой экскурсии, мм	2,66±0,22	2,11±0,13	2,67±0,10	2,11±0,10	$P_{1-2}<0,001$ $P_{3-4}<0,001$ $P_{1-3}>0,05$ $P_{2-4}>0,05$

У молодых пациентов с гиперметропией диаметр зрачка как в фотопических, так и в мезопических условиях освещения достоверно меньше, чем у пациентов с соразмерной рефракцией. Однако достоверной корреляционной связи между диаметрами зрачка в различных условиях освещенности у молодых пациентов с гиперметропией не установлено (r= -

0,28; p=0,221). При развитии пресбиопии установлено достоверное увеличение диаметра зрачка в фотопических условиях освещения на 7-9%, в сочетании с уменьшением диаметра зрачка в мезопических условиях освещения на 9-11% и уменьшением дапазона максимальной экскурсии на 19-20%.

Выявленные отличия в характере изменения зрачковой экскурсии у пациентов с пресбиопией с аметропией можно расценивать как следствие различий в структурно-функциональном состоянии аккомодационного аппарата, различий в вегетативной иннервации и физиологических взаимоотношений m. sphincter pupillae и m. dilatator pupillae при миопии и гиперметропиии. Для подтверждения этого были проведены дополнительные исследования, результаты которых представлены ниже.

Согласованность изменений диаметра зрачка и параметров цилиарного тела

При корреляционном анализе, проведенном для всех групп пациентов, установлено, что изменение диаметра зрачка взаимосвязано с параметрами цилиарного тела (Таблица 22). Исходя из значений коэффициентов корреллляции, данные зависимости имеют слабый характер связи, но с высоким уровнем достоверности.

Выявлено, что диаметр зрачка в фотопических условиях имеет зависимость с толщиной цилиарного тела в проекции внутренней вершины, т.е. в проекции циркулярной порции цилиарной мышцы.

Также установлено, что диаметр зрачка в мезопических условиях освещения взаимосвязан с дистанцией «трабекула-цилиарные отростки», что

косвенно отражает взаимосвязь между зрачковым ответом и степенью сдвига короны цилиарного тела при развитии пресбиопии.

Таблица 22- Корреляционные взаимосвязи между параметрами цилиарного тела (ЦТ) и диаметром зрачка (коэффициент корреляции r, ошибка достоверности p)

Параметры	Диаметр зрачка, фотопич.	Диаметр зрачка, мезопич.
Толщина ЦТ в области вершины, верхний сегмент	**-0,25** **p=0,001**	-0,0179 p=0,772
Толщина ЦТ в области вершины, внутренний сегмент	**-0,25** **p=0,001**	-0,013 p=0,82
Толщина ЦТ в области вершины, нижний сегмент	**-0,22** **p=0,001**	-0,002 p=0,97
Толщина ЦТ в области вершины, наружный сегмент	**-0,27** **p=0,001**	-0,012 p=0,84
Дистанция «трабекула-цилиарные отростки», верхний сегмент	0,11 p=0,06	**-0,16** **p=0,02**
Дистанция «трабекула-цилиарные отростки», внутренний сегмент	0,11 p=0,06	**-0,16** **p=0,02**
Дистанция «трабекула-цилиарные отростки», нижний сегмент	0,11 p=0,06	**-0,13** **p=0,04**
Дистанция «трабекула-цилиарные отростки», наружный сегмент	0,11 p=0,06	**-0,16** **p=0,02**

Полученные данные демонстрируют взаимосвязь между структурами с преобладающей парасимпатической или симпатической иннервацией. Учитывая эфферентную парасимпатическую иннервацию аккомодации, согласованное уменьшение диаметра зрачка и увеличение массы в области циркулярной порции цилиарной мышцы являются результатом функционального взаимосодействия указанных структур в аккомодационном ответе, и могут служить отражением попытки компенсации недостатка аккомодации.

Взаимосвязь изменения диаметра зрачка с изменением величины аккомодации

Далее, для каждой рефракционной группы был произведен расчет регрессионной зависимости диаметра зрачка от тонической аккомодации и от объема абсолютной аккомодации.

Видно (Таблица 23), что диаметр зрачка в фотопических условиях освещения зависит от величины тонической аккомодации у пациентов с миопической и гиперметропической рефракцией. Диаметр зрачка в мезопических условиях освещения достоверно взаимосвязан с величиной тонической аккомодации у пациентов с миопией. Во всех этих ситуациях определена обратная достоверная взаимосвязь, что показывает увеличение диаметра зрачка при наличии сниженного привычного тонуса аккомодации и наоборот.

Таблица 23 – Результаты регрессионной зависимости диаметра зрачка от привычного тонуса аккомодации

Вид рефракции	Уравнение регрессии	Достоверность
Диаметр зрачка в фотопических условиях освещения		
Эмметропия	***ДЗФ*** = 3,851-0,125* ***ПТА***	R^2 = 0,03; p=0,702
Миопия	***ДЗФ*** = 4,242 - 3,631 * ***ПТА***	R^2 = 0,44; p=0,001
Гиперметропия	***ДЗФ*** = 3,275-0,101* ***ПТА***	R^2 = 0,23; p=0,018
Диаметр зрачка в мезопических условиях освещения		
Эмметропия	***ДЗМ*** = 5,981+0,125* ***ПТА***	R^2 = 0,05; p=0,530
Миопия	***ДЗМ*** = 5,593 - 4,772 * ***ПТА***	R^2 = 0,52; p=0,001
Гиперметропия	***ДЗМ*** = 5,513-0,065* ***ПТА***	R^2 = 0,10; p=0,28
Где: ***ДЗФ*** – диаметр зрачка в фотопических условиях освещения; ***ДЗМ*** – диаметр зрачка в мезопических условиях освещения; ***ПТА*** – привычный тонус аккомодации; R^2 - коэффициент детерминации.		

Проведение регрессионного анализа для размера зрачка в фотопических условиях освещения, где в качестве предиктора принят объем абсолютной аккомодации (Таблица 24), позволило установить достоверную зависимость у пациентов во всех рефракционных группах. Тогда как диаметр зрачка в мезопических условиях освещения достоверно взаимосвязан с объемом абсолютной аккомодации только у пациентов с эмметропией и миопией.

Тренды регрессионной зависимости диаметра зрачка от объема абсолютной аккомодации представлены на Рисунках 25 и 26.

Таблица 24 – Результаты регрессионной зависимости диаметра зрачка от объема абсолютной аккомодации

Вид рефракции	Уравнение регрессии	Достоверность
Диаметр зрачка в фотопических условиях освещения		
Эмметропия	***ДЗФ*** = 3,191+0,210 * ***ОАА***	R^2 = 0,51; p=0,0001
Миопия	***ДЗФ*** = 3,689+ 0,234 * ***ОАА***	R^2 = 0,53; p=0,0001
Гиперметропия	***ДЗФ*** = 3,331 - 0,032 * ***ОАА***	R^2 = 0,33; p=0,001
Диаметр зрачка в мезопических условиях освещения		
Эмметропия	***ДЗМ***= 5,068 + 0,159 **ОАА***	R^2 = 0,41; p=0,0001
Миопия	***ДЗМ***= 4,795 + 0,328 **ОАА***	R^2 = 0,67; p=0,0001
Гиперметропия	***ДЗМ***= 5,523 + 0,009 * ***ОАА***	R^2 = 0,11; p=0,268

Где:

ДЗФ – диаметр зрачка в фотопических условиях освещения;

ДЗМ – диаметр зрачка в мезопических условиях освещения;

ОАА – объем абсолютной аккомодации;

R^2 - коэффициент детерминации.

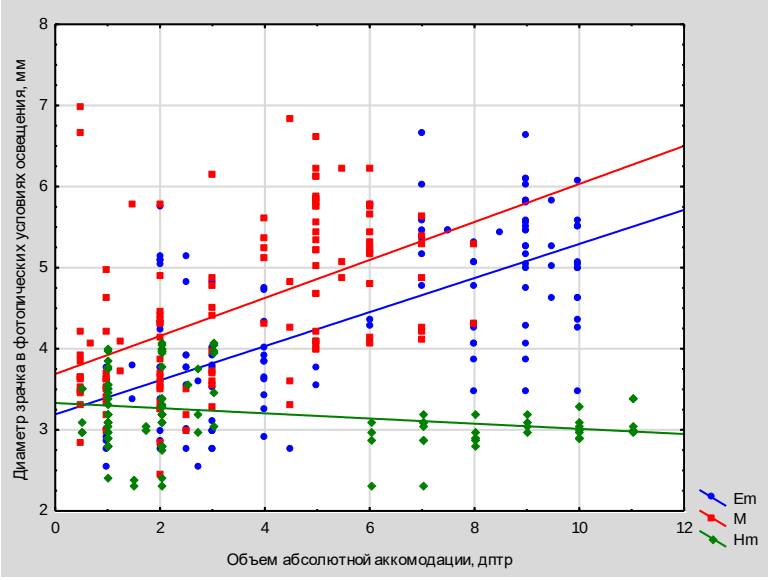

Рисунок 25- Регрессионная зависимость диаметра зрачка в фотопических условиях освещения от объема абсолютной аккомодации у пациентов с различными видами рефракции

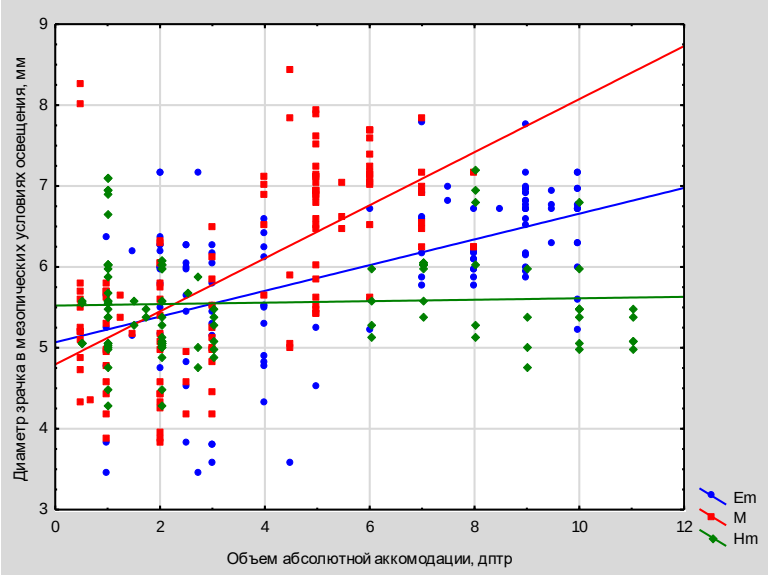

Рисунок 26 - Регрессионная зависимость диаметра зрачка в мезопических условиях освещения от объема абсолютной аккомодации у пациентов с различными видами рефракции

Таким образом, изменения зрачкового ответов при формировании пресбиопии дифференцируются в зависимости от исходной рефракции и тонуса привычной аккомодации. Развитие пресбиопии сопровождается уменьшением диаметра зрачка в мезопических условиях освещения у пациентов с различными видами рефракции глаза; уменьшением диаметра зрачка в фотопических условиях освещения у пациентов с эмметропией и миопией, увеличением этого параметра у пациентов с гиперметропией. Установлена согласованность зрачкового ответа с величиной тонической аккомодации у пациентов с миопией и гиперметропией. Диаметр зрачка имеет корреляционные взаимосвязи с параметрами цилиарного тела. Степень сужения зрачка в фотопических условиях, отражая функциональную активность сфинктера зрачка, имеет отрицательную зависимость с толщиной цилиарного тела в проекции циркулярной порции мышцы. По результатам регрессионного анализа, вне зависимости от имеющейся рефракции глаза,

объем абсолютной аккомодации достоверно определяет размеры диаметра зрачка в фотопических условиях освещения.

Представленные результаты исследования оптических компонентов глаза и анализ изменений аккомодационного и зрачкового ответов, свидетельствуют о значительном изменении как статических оптических компонентов, так и динамических компонентов физиологической оптической системы при формировании пресбиопии.

ГЛАВА 4. ИЗМЕНЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ СЕНСОРНОЙ РЕЦЕПЦИИ ПРИ ФОРМИРОВАНИИ ПРЕСБИОПИИ

Задачей следующего этапа исследования было установить характер изменения сенсорной рецепции и перцепции при развитии пресбиопии у пациентов с эмметропией, миопией, гиперметропией.

Известно, что зрительный образ является конечным результатом деятельности функкциональной системы зрительной перцепции. Зрительный образ формируется при взаимодействии всех механизмов, участвующих в реализации зрительного процесса – сенсорной рецепции, моторной и проприоцептивной активности, а также во многом учитывает влияние всех компонентов афферентного синтеза, включая эмоции, память, свойства модели тела и экстраперсонального пространства, эфферентного синтеза, адекватность работы акцептора действия и других элементов, присущих функциональной системе.

Состояние сенсорной рецепции и перцепции находит отражение в показателях монокулярных и бинокулярных зрительных функций, электрофизиолигических параметров, результаты исследования которых у пациентов с пресбиопией ацу представлены ниже.

4.1. Изменение монокулярных зрительных функций при формировании пресбиопии

Изменение монокулярных зрительных функций при формировании пресбиопии у пациентов с эмметропией

Было выявлено, что формирование пресбиопии включает в себя и ряд неотрывно связанных нарушений сенсорной рецепции. Сравнительный анализ показателей сенсорной рецепции зрительной системы у пациентов с пресбиопией и без пресбиопии в сочетании с эмметропической рефракцией представлен в Таблице 25. Видно, что у всех пациентов с пресбиопией в сравнении с данными пациентов без пресбиопии установлены дефекты зрительного восприятия в ближней фокусной зоне: при эмметропии острота зрения вблизи снижена на 66-68% ($p<0,001$). При развитии пресбиопии происходит изменение положения ближайшей точки ясного зрения, ближнее фокусное расстояние увеличивается 6,81±1,41 см до 22,61±10,71см ($p<0,001$). Соотношение остроты зрения вдаль к остроте зрения вблизи у лиц без пресбиопии составляет в среднем 1,07±0,03, тогда как у пациентов с пресбиопией оно равно 3,34±0,11($p<0,001$).

Нами установлено, что у пациентов с эмметропией при развитии пресбиопии наблюдается достоверное снижение ПКЧ как в низкочастотных, так и высокочастотных диапазона, включая частоты 18 цикл/угл.град. У всех пациентов с пресбиопией установлено снижение критической частоты слияния мельканий (КЧСМ), являющееся, по А.М. Шамшиновой, признаком «утомления» зрительной системы [112]. Помимо этого, отмечено достоверное повышение порога электрической чувствительности и снижение порога светочувствительности (по данным статической периметрии).

Таблица 25- Показатели сенсорной рецепции зрительной системы у пациентов с эмметропической рефракцией при развитии пресбиопии

Показатели	Без пресбиопии (M±σ)	Пресбиопия (M±σ)	Критерий Манна-Уитни, p
	1	2	
Монокулярная острота зрения с 5 м, без кор., ед.	1,11±0,03	1,01±0,06	P1-2<0,01
Монокулярная острота зрения с 0,33 м, без кор., ед.	0,93±0,09	0,31±0,14	P1-2<0,001
ПКЧ, 3 цикл/угл.град., ед.	7,41±0,49	5,66±0,54	P1-2<0,001
ПКЧ, 6 цикл/угл.град., ед.	7,50±0,49	7,05±0,50	P1-2<0,01
ПКЧ, 9 цикл/угл.град., ед.	7,41±0,45	6,63±0,37	P1-2<0,01
ПКЧ, 18 цикл/угл.град., ед.	7,41±0,45	6,22±0,55	P1-2<0,001
Порог светочувствительности сетчатки, Дб	27,97±1,12	24,58±3,49	P1-2<0,01
Порог электрической чувствтельности, мкА	82,71±6,76	94,44±22,09	P1-2<0,01
КЧСМ, Гц	34,77±2,11	32,33±2,9	P1-2<0,01

Далее был проведен анализ показателей ЭРГ и ЗВП, зарегистрированных по стандартам ISCEV. Систематизация показателей ЭРГ позволила установить, что параметры максимальной ЭРГ – амплитуда a-волны, латентное время a-волны и b-волны показателей лиц молодого возраста не отличаются от данных, полученных в ряде электрофизиологических лабораторий: МНИИ глазных болезней им. Гельмгольца, Бостонского университета, Иранского медицинского университета.

. Такие показатели, как амплитуда и латентность b-волны скотопической, фотопической ЭРГ схожи с данными электрофизиологической лаборатории Иранского медицинского университета (Таблица 26).

Таблица 26– Показатели электроретинограммы и ЗВП у пациентов с эмметропической рефракцией при развитии пресбиопии

Показатели	Без пресбиопии (M±σ)	Пресбиопия (M±σ)	Критерий Манна-Уитни, p
	1	2	
Латентное время a-волны максимальн. ЭРГ, мс	15,71±7,51	21,31±11,02	P1-2< 0,001
Амплитуда a-волны максимальн. ЭРГ, мкВ	149,71±36,02	139,81±42,72	P1-2> 0,05
Латентное время b-волны максимальн. ЭРГ, мс	36,21±3,21	45,91±2,62	P1-2< 0,001
Амплитуда b-волны максимальн. ЭРГ, мкВ	311,87±57,70	287,03±63,39	P1-2< 0,05
Осциллятор. потенциалы, амплитуд. индекс, мкВ	29,11±10,51	26,71±15,42	P1-2>0,05
Амплитуда ЗВП на вспышку, мкВ	32,11±14,51	29,11±10,51	P1-2>0,05
Латентное время ЗВП на вспышку, мс	99,71±6,41	100,68±8,25	P1-2>0,05

У пациентов с пресбиопией утановлено достоверное снижение средних значений амплитуды b-волны максимальной ЭРГ, повышение латентности a-волны и b-волны максимальной ЭРГ. Эти изменения отражают появление дефицита со стороны межрецепторных взаимодействий и активности внутренних слоёв сетчатки.

Изменение монокулярных зрительных функций при формировании пресбиопии у пациентов с аметропией

Показатели сенсорной рецепции у пациентов с аметропией в молодом возрасте существенно отличаются. Это обусловлено не только различиями в оптической коррекции, но и особенностями функционирования зрительной системы в различных рефракционных условиях.

Развитие пресбиопии сопровождается снижением максимально корригированной остроты зрения вдаль у пациентов с миопией на 60-62% ($p<0,001$), при гиперметропии - на 69-71% ($p<0,001$). У пациентов с гиперметропией также выявлено снижение некорригированной остроты зрения вдаль.При анализе пространственной контрастной чувствительности (ПКЧ) получены интересные результаты. Выявлено, что у пациентов с миопией и гиперметропией при развитии пресбиопии происходит достоверное снижение ПКЧ в диапазоне 3 цикл/угл.град (аналогично изменениям ПКЧ у пациентов с соразмерной рефракцией). На высоких частотах установлены иные закономерности пространственной чувствительности. У пациентов с гиперметропией установлено высоко достоверное снижение ПКЧ в диапазоне 18 цикл/угл.град. Тогда как, у пациентов с миопией показатели ПКЧ на высоких пространственных частотах уже в молодом возрасте были существенно ниже (Таблица 27), чем у пациентов с соразмерной рефракцией ($p<0,001$), и оставались на более низком уровне при формировании пресбиопии ($p<0,05$). Сравнительный анализ ПКЧ на частоте 18 цикл/угл.град. не выявил достоверных различий у пациентов с миопией с пресбиопией и без пресбиопии, что, очевидно, связано с исходными низкими значениями данного показателя. Показатели сенсорной рецепции у пациентов с пресбиопией в сочетании с миопией представлено в Таблице 20, с гиперметропией – в Таблице 28.

Таблица 27– Показатели электроретинограммы и ЗВП у пациентов с миопической рефракцией при развитии пресбиопии

Показатели	Эмметропия		Миопия		Критерий Манна-Уитни
	Без пресбиопии (M±σ)	Пресбиопия (M±σ)	Без пресбиопии (M±σ)	Пресбиопия (M±σ)	
	1	2	3	4	
Монокул. острота зрения, 5 м, без кор., ед.	1,11±0,03	1,01±0,06	0,17±0,21	0,15±0,15	$P_{1-2}>0,05$ $P_{3-4}<0,01$ $P_{1-3}<0,001$ $P_{2-4}<0,001$
Монокулярная острота зрения с 0,33 м, без кор., ед.	0,93±0,09	0,31±0,14	0,95±0,05	0,69±0,16	$P_{1-2}<0,001$ $P_{3-4}<0,01$ $P_{1-3}>0,05$ $P_{2-4}<0,001$
ПКЧ, 3 цикл/угл.град., ед.	7,41±0,49	5,66±0,54	5,25±0,62	4,71±0,63	$P_{1-2}<0,001$ $P_{3-4}<0,001$ $P_{1-3}<0,001$ $P_{2-4}<0,001$
ПКЧ, 6 цикл/угл.град., ед.	7,50±0,49	7,05±0,50	5,75±0,68	5,61±0,79	$P_{1-2}<0,01$ $P_{3-4}<0,01$ $P_{1-3}<0,001$ $P_{2-4}<0,001$
ПКЧ, 9 цикл/угл.град., ед.	7,41±0,45	6,63±0,37	6,12±0,88	5,70±0,86	$P_{1-2}<0,01$ $P_{3-4}<0,01$ $P_{1-3}<0,001$ $P_{2-4}<0,01$
ПКЧ, 18 цикл/угл.град., ед.	7,41±0,45	6,22±0,55	6,16±0,81	5,81±1,05	$P_{1-2}<0,001$ $P_{3-4}>0,05$ $P_{1-3}<0,001$ $P_{2-4}<0,01$
Порог светочувствительности сетчатки, Дб	27,97±1,12	24,58±3,49	24,98±1,28	24,35±1,63	$P_{1-2}<0,001$ $P_{3-4}>0,05$ $P_{1-3}<0,01$ $P_{2-4}>0,05$
Порог эл. чувствтельности, мкА	82,71±6,76	94,44±22,09	85,44±21,30	92,28±19,64	$P_{1-2}<0,01$ $P_{3-4}<0,05$ $P_{1-3}>0,05$ $P_{2-4}>0,05$
КЧСМ, Гц	34,77±2,11	32,33±2,9	33,83 ±4,72	32,02±4,19	$P_{1-2}<0,01$ $P_{3-4}<0,05$ $P_{1-3}>0,05$ $P_{2-4}>0,05$

Таблица 28– Показатели электроретинограммы и ЗВП у пациентов с гиперметропической при развитии пресбиопии

Показатели	Эмметропия		Гиперметропия		Критерий Манна-Уитни
	Без пресбиопии (M±σ)	Пресбиопия (M±σ)	Без пресбиопии (M±σ)	Пресбиопия (M±σ)	
	1	2	3	4	
Монокул. острота зрения, 5 м, без кор., ед.	1,11±0,03	1,01±0,06	1,06±0,01	0,39±0,25	$P_{1-2}>0,05$ $P_{3-4}<0,001$ $P_{1-3}>0,05$ $P_{2-4}<0,001$
Монокулярная острота зрения с 0,33 м, без кор., ед.	0,93±0,09	0,31±0,14	0,98±0,04	0,29±0,24	$P_{1-2}<0,001$ $P_{3-4}<0,001$ $P_{1-3}>0,05$ $P_{2-4}>0,05$
ПКЧ, 3 цикл/угл.град., ед.	7,41±0,49	5,66±0,54	5,36 ±0,54	4,64±0,51	$P_{1-2}<0,001$ $P_{3-4}<0,001$ $P_{1-3}<0,001$ $P_{2-4}<0,001$
ПКЧ, 6 цикл/угл.град., ед.	7,50±0,49	7,05±0,50	5,56±0,86	5,23±0,61	$P_{1-2}<0,01$ $P_{3-4}<0,001$ $P_{1-3}<0,001$ $P_{2-4}<0,001$
ПКЧ, 9 цикл/угл.град., ед.	7,41±0,45	6,63±0,37	6,52 ±0,78	4,88±0,94	$P_{1-2}<0,01$ $P_{3-4}<0,001$ $P_{1-3}<0,001$ $P_{2-4}<0,01$
ПКЧ, 18 цикл/угл.град., ед.	7,41±0,45	6,22±0,55	6,22 ±0,48	4,89±0,86	$P_{1-2}<0,001$ $P_{3-4}<0,001$ $P_{1-3}<0,001$ $P_{2-4}<0,001$
Порог светочувствительности сетчатки, Дб	27,97±1,12	24,58±3,49	26,32 ±3,31	24,91±4,74	$P_{1-2}<0,001$ $P_{3-4}>0,05$ $P_{1-3}<0,01$ $P_{2-4}>0,05$
Порог эл. чувствтельности, мкА	82,71±6,76	94,44±22,09	75,04±19,60	88,98±19,60	$P_{1-2}<0,01$ $P_{3-4}<0,01$ $P_{1-3}>0,05$ $P_{2-4}>0,05$
КЧСМ, Гц	34,77±2,11	32,33±2,9	36,35±3,58	32,80±2,38	$P_{1-2}<0,01$ $P_{3-4}<0,05$ $P_{1-3}>0,05$ $P_{2-4}>0,05$

У всех пациентов аметропией при развитии пресбиопии установлено снижение КЧСМ. Помимо этого, при формировании пресбиопии у пациентов с гиперметропической рефракциями отмечено достоверное повышение порога электрической чувствительности и снижение порога светочувствительности (по данным статической периметрии).

У всех пациентов с аметропией при формировании пресбиопии установлено достоверное снижение средних значений амплитуды b-волны максимальной ЭРГ (при миопии 299,83±63,33 до 256,55±73,48 мкВ, $p<0,01$; при гиперметропии с 309,21±52,26 до 282,36±51,75 мкВ, $p<0,05$), повышение латентности а-волны (при миопии 23,69±1,89 до 25,68±6,42 мс, $p<0,05$; при гиперметропии с 17,85±6,73до 22,41±9,11 мс, $p<0,01$) мкВ, $p<0,001$),и b-волны максимальной ЭРГ (при миопии 44,96±5,33 до 49,90±3,94 мс, $p<0,001$; при гиперметропии с 44,84±3,18до 46,35±4,12 мс, $p<0,05$), аналогично изменениям у пациентов с эмметропией. Помимо этого, у пациентов с миопией при развитии пресбиопии установлено повышение латентности ЗВП с 101,24±9,21 мс до 104,51±8,42 мс ($p<0,05$). Хотя полученные данные находятся в пределах физиологической нормы, выявленное различие говорит о замедлении ответа нейронов коры головного мозга на афферентное раздражение у пациентов с миопией и пресбиопией.

Согласованность изменения пространственной контрастной чувствительности с изменением аккомодации

Выбор пространственной контрастной чувствительности (ПКЧ) для анализа согласованности изменения сенсорной рецепции при развитии пресбиопии был обусловлен тем, что данная функция отражает целый комплекс сложных нейрофизиологических процессов зрительной системы. В основе порогового восприятия с дифференциацией по пространственным

частотам и контрастности, лежит структура сетчатки с ее различными по размерам рецептивными полями в центре и на периферии, со структурой самого рецептивного поля, с конкурирующими зонами возбуждения и торможения, со структурой связей отдельно взятой ганглиозной клетки, с процессами пространственной суммации, присущими рецептивным полям.

Известно, что снижение контрастной чувствительности на частотах ниже 4 цикл/угл.град говорит об усилении внутреннего шума в деятельности зрительной системы (эффекте снижения передачи зрительной информации вследствие торможения на уровне рецептивных полей, синаптического взаимодействия), тогда как контрастная чувствительность на высоких пространственных частотах лимитируется параметрами оптической системы, имеющимися аберрациями, явлением дифракции или «шумом дискретизации» зрительного изображения - по Ю.Е. Шелепину [115].

Проведен регрессионный анализ, где в качестве зависимой переменной были взяты параметры ПКЧ в диапазоне низкой пространственной частоты (3 цикл/угл.град) и высокой пространственной частоты (18 цикл/угл.град), а в качестве регрессора (независимой переменной) был принят объем абсолютной аккомодации.

Регрессионный анализ позволил установить достоверную зависимость ПКЧ в области низкой пространственной частоты от объема аккомодации у пациентов с различными видами рефракции, что говорит об усилении внутреннего шума в деятельности зрительной системы при формировании пресбиопии. Также определена зависимость ПКЧ в области высокой пространственной частоты от объема аккомодации у пациентов с эмметропией, что свидетельствует об усилении шума дискретизации зрительного изображения. Уравнения регрессии представлены в Таблице 29.

Таблица 29 - Регрессионная зависимость ПКЧ от ОАА

Вид рефракции	Уравнение регрессии	Достоверность
ПКЧ, частота 3 цикл/угл.град		
Эмметропия	$\boldsymbol{ПКЧ^3}$= 5,399+0,326* ***ОАА***	$\boldsymbol{R^2}$ = 0,69; p=0,0001
Миопия	$\boldsymbol{ПКЧ^3}$= 4,674 + 0,060 * ***ОАА***	$\boldsymbol{R^2}$ = 0,28; p=0,002
Гиперметропия	$\boldsymbol{ПКЧ^3}$ = 4,576+0,112* ***ОАА***	$\boldsymbol{R^2}$ = 0,23; p=0,018
ПКЧ, частота 18 цикл/угл.град		
Эмметропия	$\boldsymbol{ПКЧ^{18}}$= 5,915+0,231* ***ОАА***	$\boldsymbol{R^2}$ = 0,54; p=0,0001
Миопия	$\boldsymbol{ПКЧ^{18}}$ = 5,803+ 0,055 * ***ОАА***	$\boldsymbol{R^2}$ = 0,16; p=0,085
Гиперметропия	$\boldsymbol{ПКЧ^{18}}$ = 4,473+0,244* ***ОАА***	$\boldsymbol{R^2}$ = 0,10; p=0,28
Где: $\boldsymbol{ПКЧ^3}$ – пространственная контрастная чувствительность, частота 3 цикл/угл.град; $\boldsymbol{ПКЧ^{18}}$ – пространственная контрастная чувствительность, частота 18 цикл/угл.град; ***ОАА*** – объем абсолютной аккомодации; $\boldsymbol{R^2}$ - коэффициент детерминации.		

Линии регрессионной зависимости ПКЧ на частоте 3 цикл/угл.град от объема абсолютной аккомодации отражены на Рисунке 27 , ПКЧ на частоте 18 цикл/угл.град от объема абсолютной аккомодации – на Рисунке 28.

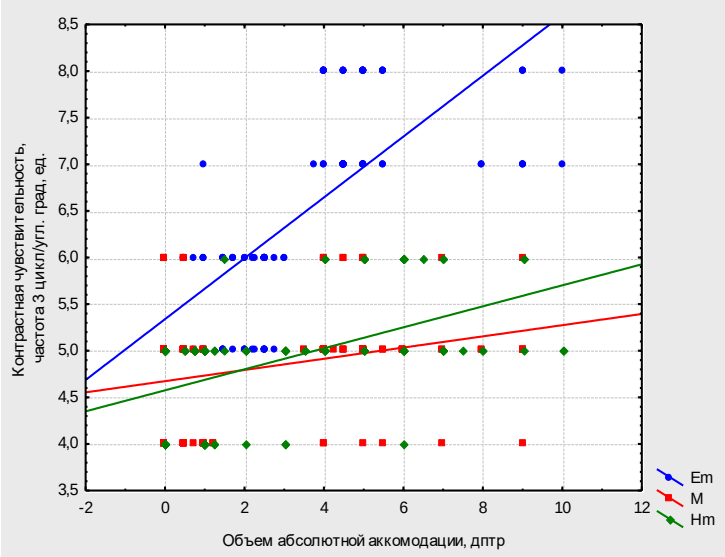

Рисунок 27 - Регрессионная зависимость ПКЧ на частоте 3 цикл/угл.град от объема абсолютной аккомодации у пациентов с различными видами рефракции

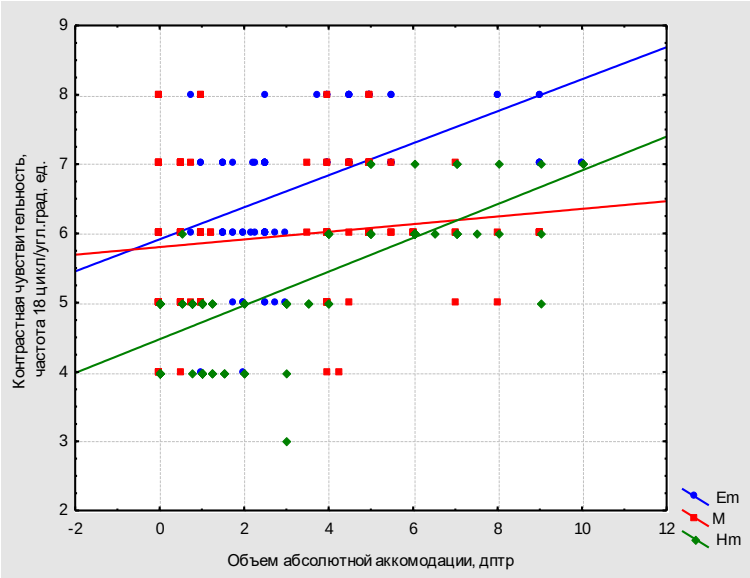

Рисунок 28 - Регрессионная зависимость ПКЧ на частоте 18 цикл/угл.град от объема абсолютной аккомодации у пациентов с различными видами рефракции

Таким образом, выявлено, что развитие пресбиопии сопровождатеся ухудшением процессов сенсорной рецепции. У пациентов с пресбиопией происходит нарушение разрешающей зрительной способности, проявляющееся снижением остроты зрения вблизи при эмметропии в среднем на 67%, снижением остроты зрения вблизи (с коррекцией для дали) при миопии в среднем на 61%, при гиперметропии – в среднем на 70%, а также достоверным снижением ПКЧ в диапазоне низких частот у пациентов с различными видами рефракции, достоверным снижением ПКЧ в диапазоне высоких частот у пациентов с эмметропией. При развитии пресбиопии, вне зависимости от вида рефракции, выявлено достоверное снижение КЧСМ, значений амплитуды в-волны, повышение временных параметров а-волны и в-волны максимальной ЭРГ.

Снижение аккомодационной способности у пациентов с пресбиопией сопровождается признаками изменения межрецепторного взаимодействия и активности внутренних слоёв сетчатки, усиления внутреннего шума зрительной системы, изменения временных характеристик процессов зрительного восприятия. Негативные изменения временных характеристик световосприятия у пациентов старшего возраста могут говорить об «утомлении зрительной системы», снижении уровня её функциональной лабильности.

Представленные результаты исследования отражают характер изменения сенсорной рецепции и перцепции при развитии пресбиопии у пациентов с эмметропией, миопией, гиперметропией.

4.2. Нарушение бинокулярного взаимодействия в патогенезе пресбиопии

Бинокулярное интегративное восприятие зрительного образа основано на процессах фузии (слияния) или конкуренции, что обеспечивается активным взаимодействием вергенции, диспаратной фузии и аккомодации. Утрата аккомодации при развитии пресбиопии ведет к изменению баланса между компонентами, обеспечивающими получение и построения единого бинокулярного образа, однако насколько глубоко изменяется бинокулярное взаимодействие у пациентов при формировании пресбиопии с различными видами рефракции до начала настоящего исследования оставалось неясным.

Для выяснения изменения бинокулярного взаимодействия при формировании пресбиопии у пациентов с различными видами рефракции на следующем этапе работы был проведен анализ деятельности зрительной системы в бинокулярных условиях.

Для этого были систематизированы данные, отражающие различные уровни бинокулярного взаимодействия:

- физиологическое двоение вблизи - важный компонент нормального бинокулярного зрения, необходимый для достижения слияния зрительных образов при вергентных движениях и для стереопсиса;

- уровень бинокулярной суммации вдаль и вблизи (соотношение бинокулярной и монокулярной остроты зрения), отражающий вклад бинокулярного синтеза в интегративные зрительные процессы;

- уровень стереовосприятия, свидетельствующий о качестве зрительного восприятия глубины пространства;

- амплитудные пределы фузионного рефлекса при приближении и отдалении зрительных объектов в пространстве, показывающие

способность слияния двух изображений в вергентно-аккомодационной нулевой позиции;

- амплитудные пределы фузионного рефлекса при выполнении задач конвергенции и дивергенции, отражающие функцию диспаратного слияния;
- ширина, длина и площадь условного фузионного поля в естественных условиях, без разделения полей.

Нарушение бинокулярного взаимодействияпри формировании пресбиопии у паиентов с эмметропией

Было выяснено, что при развитии пресбиопии возможности бинокулярного сотрудничества значительно снижены. Так, исследование способности к физиологическому двоению у пациентов с эмметропией выявило наличие феномена подавления двоения в 20±7,2% случаев (Рисунок 29).

Также установлено достоверное снижение функциональной способности зрительного анализатора к бинокулярной суммации (т.е. соотношения бинокулярной остроты зрения к монокулярной остроте зрения) вдаль и вблизи (Таблица 30).

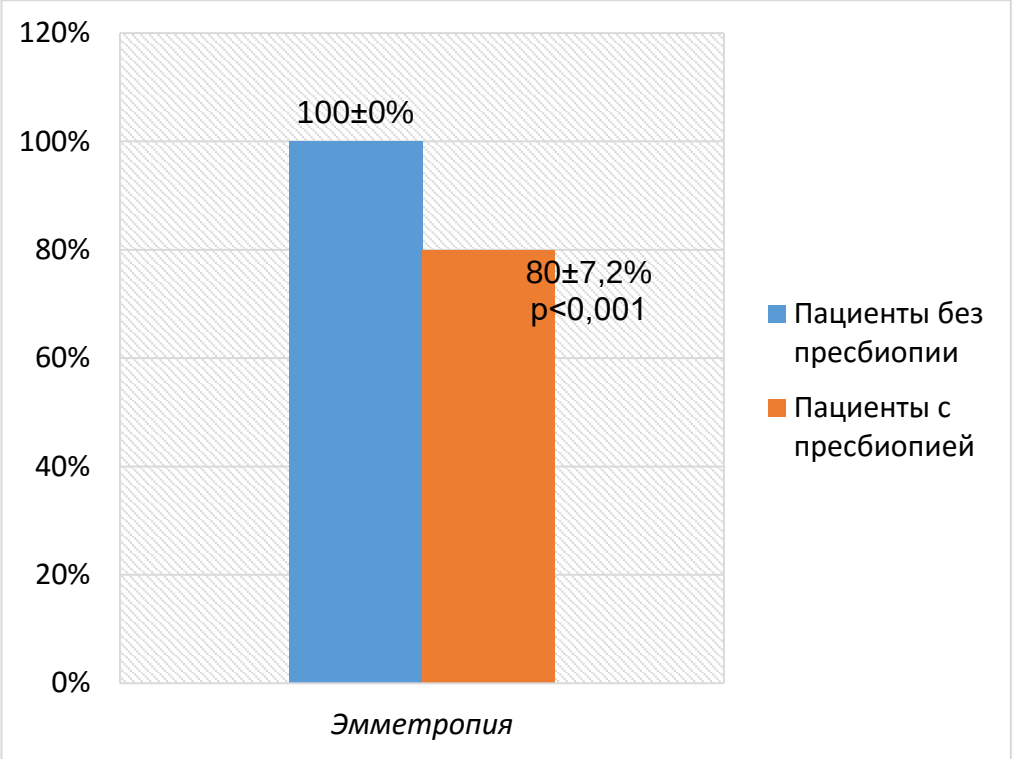

Рисунок 29 - Изменчивость восприятия физиологического двоения вблизи у пациентов с эмметропией при наличии и отстуствии пресбиопии (M±m)

Таблица 30 - Показатели бинокулярного взаимодействия у пациентов с пресбиопией и лиц молодого возраста

Показатели	Без пресбиопии (M±σ)	Пресбиопия (M±σ)	Критерий Манна-Уитни, p
	1	2	
Бинокулярная суммация вдаль	1,34±0,09	1,11±0,15	P_{1-2}< 0,001
Бинокулярная суммация вблизи	1,32±0,08	1,04±0,21	P_{1-2}< 0,001
Стереотест Ланга, угл.сек	1200±0	1200±0	P_{1-2}>0,05

При систематизации показателей фузионного рефлекса (Таблица 31) установлены уменьшение границ поля, в пределах которого возможно слияние двойных изображений в условиях свободной гаплоскопии, а также сдвиг его в пространстве. У пациентов с пресбиопией и эмметропией установлено сужение границ фузионного поля за счет достоверного изменения трех границ фузионного поля: при приближении, при отдалении, при конвергенции.

Таблица 31– Характеристика фузионной способности в условиях свободной гаплоскопии у пациентов с эмметропией

Показатели	Без пресбиопии (M±σ)	Пресбиопия (M±σ)	Критерий Манна-Уитни, p
	1	2	
Ближний амплитудный предел ФР, см	5,23±1,58	18,90±6,85	P1-2<0,001
Дальний амплитудный предел ФР, см	90,05±7,35	69,20±12,21	P1-2<0,001
Амплитудный предел ФР при конвергенции, 10^{-1} см	24,83±6,14	30,31±6,91	P1-2<0,001
Амплитудный предел ФР при дивергенции, 10^{-1} см	63,38±3,55	58,21±5,61	P1-2> 0,05
Длина фузионного поля, см	84,78±7,75	50,82±16,05	P1-2<0,001
Ширина фузионного поля, 10^{-1} см	41,88±3,35	30,39±6,34	P1-2<0,001
Площадь фузионного поля, $см^2$	365,6±45,1	174,4±87,70	P1-2<0,001

На Рисунке 30 представлена реконструкция фузионного поля, границ фузионного рефлекса при предъявлении двойных изображений в свободном пространстве у пациента с пресбиопией в сравнении с пациентом без пресбиопии.

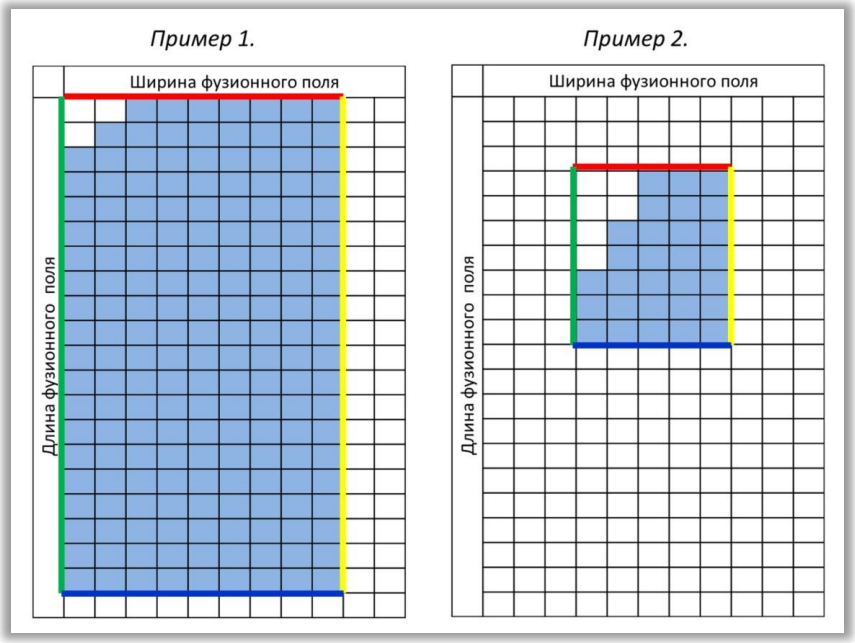

Рисунок 30 - Реконструкция границ и зоны фузионного рефлекса при предъявлении двойных изображений в свободном пространстве. Красным цветом выделен ближний амплитудный предел фузионного рефлекса (ФР), синим цветом - дальний амплитудный предел ФР, зеленым цветом - медиальный амплитудный предел ФР, желтым цветом - латеральный амплитудный предел ФР. Пример 1: Пациент Б., возраст 32 года, эмметропия, ЗОА = 9 Дптр. Пример 2: Пациент М., возраста 58 лет, Эмметропия, пресбиопия, ЗОА =1 дптр

Нарушение бинокулярного взаимодействия при формировании пресбиопии у пациентов с аметропией

У пациентов с аметропией при развитии пресбиопии также происходит изменение бинокулярного сотрудничества. Так, подавление физиологического двоения вблизи у пациентов с пресбиопией в сочетании с миопией выявлено в 13±6,1% случаев, в сочетании с гиперметропией - в 36±8,7 % случаев.

Также установлено, что формирование пресбиопии у пациентов с аметропией сопровождается снижением бинокулярной суммации, а у пациентов с гиперметропической рефракцией при развитии пресбиопии выявлено достоверное снижение стереовосприятия.

Со стороны границ фузионного поля у пациентов с миопией и гиперметропией при развитии пресбиопии установлено достоверное изменение всех его четырех границ: при приближении, при отдалении, при конвергенции, при дивергенции.

Результаты сравнительного анализа показателей бинокулярной суммации, стереовосприятия, пространственных границ фузионной способности у пациентов с миопической рефракцией при развитии пресбиопии представлены в Таблице 32, у пациентов с гиперметропической рефракцией при развитии пресбиопии – в Таблице 33.

Таблица 32 - Показатели бинокулярного взаимодействия у пациентов с миопией при пресбиопии

Показатели	Эмметропия		Миопия		Критерий Манна-Уитни
	Без пресбиопии (M±σ)	Пресбиопия (M±σ)	Без пресбиопии (M±σ)	Пресбиопия (M±σ)	
	1	2	3	4	
Бинокулярная суммация вдаль	1,34±0,09	1,11±0,15	1,31±0,31	1,15±0,19	$P_{1-2}<0,001$ $P_{3-4}<0,001$ $P_{1-3}>0,05$ $P_{2-4}>0,05$
Бинокулярная суммация вблизи	1,32±0,08	1,04±0,21	1,15±0,24	1,11±0,16	$P_{1-2}<0,001$ $P_{3-4}<0,001$ $P_{1-3}>0,05$ $P_{2-4}<0,01$
Стереотест Ланга, угл.сек	1200±0	1200±0	1136±185	1073±246	$P_{1-2}>0,05$ $P_{3-4}>0,05$ $P_{1-3}>0,05$ $P_{2-4}>0,05$
Ближний амплитуд. предел ФР, см	5,23±1,58	18,90±6,85	11,63±5,52	21,13±8,67	$P_{1-2}<0,001$ $P_{3-4}<0,001$ $P_{1-3}<0,001$ $P_{2-4}>0,05$
Дальний амплитуд. предел ФР, см	90,05±7,35	69,20±12,21	73,71±18,01	40,95±6,89	$P_{1-2}<0,001$ $P_{3-4}<0,001$ $P_{1-3}<0,001$ $P_{2-4}<0,01$
Амплитудный предел ФР при конвергенции, 10^{-1} см	24,83±6,14	30,31±6,91	29,13±11,02	34,87±6,34	$P_{1-2}<0,001$ $P_{3-4}<0,001$ $P_{1-3}<0,05$ $P_{2-4}<0,05$
Амплитудный предел ФР при дивергенции, 10^{-1} см	63,38±3,55	58,21±5,61	63,25±14,08	55,80±10,36	$P_{1-2}>0,05$ $P_{3-4}<0,001$ $P_{1-3}>0,05$ $P_{2-4}<0,05$
Длина фузионного поля, см	84,78±7,75	50,82±16,05	65,35±16,06	19,88±7,06	$P_{1-2}<0,001$ $P_{3-4}<0,001$ $P_{1-3}<0,001$ $P_{2-4}<0,001$
Ширина фузионного поля, 10^{-1} см	41,88±3,35	30,39±6,34	30,76±11,67	15,95±8,26	$P_{1-2}<0,001$ $P_{3-4}<0,001$ $P_{1-3}<0,001$ $P_{2-4}<0,001$
Площадь фузионного поля, $см^2$	365,6±45,1	174,4±87,70	207,4±96,72	98,8±21,3	$P_{1-2}<0,001$ $P_{3-4}<0,001$ $P_{1-3}<0,001$ $P_{2-4}<0,001$

Таблица 33 - Показатели бинокулярного взаимодействия у пациентов с миопией при пресбиопии

Показатели	Эмметропия		Гиперметропия		Критерий Манна-Уитни
	Без пресбиопии (M±σ)	Пресбиопия (M±σ)	Без пресбиопии (M±σ)	Пресбиопия (M±σ)	
	1	2	3	4	
Бинокулярная суммация вдаль	1,34±0,09	1,11±0,15	1,22±0,18	1,05±0,22	$P_{1-2}<0,001$ $P_{3-4}<0,001$ $P_{1-3}>0,05$ $P_{2-4}>0,05$
Бинокулярная суммация вблизи	1,32±0,08	1,04±0,21	1,36±0,34	1,02±0,08	$P_{1-2}<0,001$ $P_{3-4}<0,001$ $P_{1-3}>0,05$ $P_{2-4}<0,01$
Стереотест Ланга, угл.сек	1200±0	1200±0	1080±246	868±339	$P_{1-2}>0,05$ $P_{3-4}<0,001$ $P_{1-3}<0,05$ $P_{2-4}<0,001$
Ближний амплитуд. предел ФР, см	5,23±1,58	18,90±6,85	13,40±9,99	23,45±12,43	$P_{1-2}<0,001$ $P_{3-4}<0,001$ $P_{1-3}<0,001$ $P_{2-4}<0,01$
Дальний амплитуд. предел ФР, см	90,05±7,35	69,20±12,21	74,32±19,01	39,75±12,89	$P_{1-2}<0,001$ $P_{3-4}<0,001$ $P_{1-3}<0,001$ $P_{2-4}<0,001$
Амплитудный предел ФР при конвергенции, 10^{-1} см	24,83±6,14	30,31±6,91	30,14±9,34	35,14±9,98	$P_{1-2}<0,001$ $P_{3-4}<0,001$ $P_{1-3}<0,001$ $P_{2-4}<0,001$
Амплитудный предел ФР при дивергенции, 10^{-1} см	63,38±3,55	58,21±5,61	63,75±10,24	51,38±13,21	$P_{1-2}>0,05$ $P_{3-4}<0,01$ $P_{1-3}>0,05$ $P_{2-4}<0,05$
Длина фузионного поля, см	84,78±7,75	50,82±16,05	60,60±22,89	20,84±15,36	$P_{1-2}<0,001$ $P_{3-4}<0,001$ $P_{1-3}<0,001$ $P_{2-4}<0,001$
Ширина фузионного поля, 10^{-1} см	41,88±3,35	30,39±6,34	34,65±9,80	19,61±13,37	$P_{1-2}<0,001$ $P_{3-4}<0,001$ $P_{1-3}<0,001$ $P_{2-4}<0,001$
Площадь фузионного поля, $см^2$	365,6±45,1	174,4±87,70	214,4±142,6	102,3±98,4	$P_{1-2}<0,001$ $P_{3-4}<0,001$ $P_{1-3}<0,001$ $P_{2-4}<0,001$

Взаимосвязь изменения площади фузионного поля с изменением величины аккомодации

Далее был произведен расчет регрессионной зависимости площади фузионного поля от запаса относительной аккомодации для каждой рефракционной группы. Выявлена прямая зависимость площади фузионного поля от величины аккомодации. Видно, что у пациентов с эмметропией взаимосвязь между площадью фузионного поля и аккомодацией является наиболее тесной, с коэффициентом корреляции r= 0,80 (p=0,0001).

Уравнение регрессионной зависимости и уровень достоверности представлены в Таблице 34.

Таблица 34- Результаты регрессионной зависимости площади фузионного поля от величины аккомодации

Вид рефракции	Уравнение регрессии	Достоверность
Эмметропия	***ПФП*** =1114,86+268,98 * ***ОАА***	$\boldsymbol{R^2}$= 0,80; p=0,001
Миопия	***ПФП*** =-184,948+388,57 * ***ОАА***	$\boldsymbol{R^2}$ =0,74; p=0,001
Гиперметропия	***ПФП*** =719,34+175,85 * ***ОАА***	$\boldsymbol{R^2}$ = 0,46; p=0,001
Где: ***ПФП*** – площадь фузионного поля; ***ОАА*** – объем абсолютной аккомодации; $\boldsymbol{R^2}$ - коэффициент детерминации.		

Тренды регрессионой зависимости площади фузионного поля от величины аккомодации представлены на Рисунке 31.

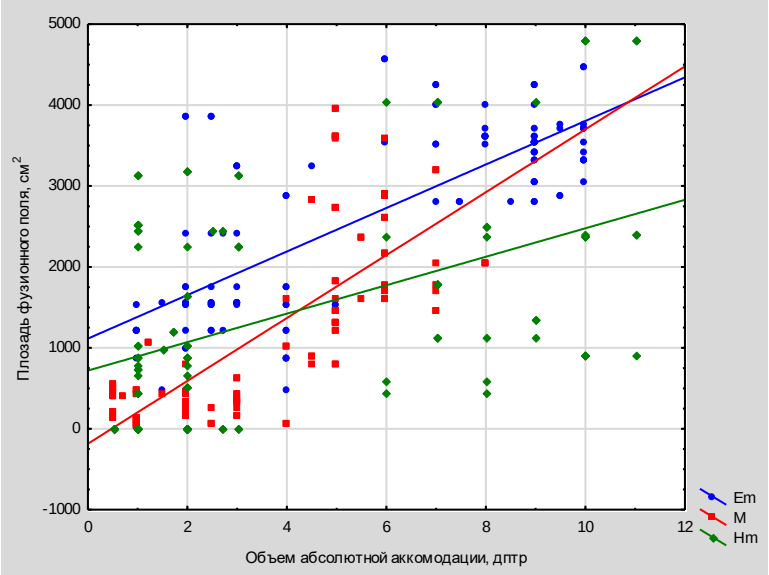

Рисунок 31 - Зависимость площади фузионного поля (ПФП) с величиной аккомодации у пациентов с различными видами рефракции

Таким образом, выявлено, что у пациентов с пресбиопией, вне зависимости от вида рефракции, имеется нарушение бинокулярного взаимодействия в виде сдвига амплитудного предела фузионного рефлекса при приближении, снижения фузионной способности при конвергенции, уменьшения площади фузионного поля, снижения уровня бинокулярной суммации. Также установлено, что нарушение бинокулярного взаимодействия у пациентов с миопией и гиперметропией при формировании пресбиопии сопряжено со снижением фузионной способности при дивергенции. Развитие пресбиопии у пациентов с гиперметропической рефракцией сопровождается снижением стереозрения. Выявлена прямая зависимость площади фузионного поля от величины аккомодации, что подтверждает тесное взаимоотношение между состоянием аккомодационного ответа, вергентной адаптацией и возможностью сингулярного видения в зоне Панума. На наш взгляд, подавление фузионного диспаратного рефлекса и снижение фузионной вергентной адаптации у пациентов с пресбиопией можно

рассматривать как результат торможения неоднозначной зрительной информации, возникающей при недостаточном аккомодационном ответе.

Представленные результаты исследования позволили выяснить изменения бинокулярного взаимодействия при формировании пресбиопии у пациентов с различными видами рефракции.

ГЛАВА 5. ИЗМЕНЕНИЕ ВНУТРИСИСТЕМНЫХ ВЗАИМООТНОШЕНИЙ В ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ЗРИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ПРИ ФОРМИРОВАНИИ ПРЕСБИОПИИ

Для раскрытия характера трансформации деятельности зрительной системы при формировании пресбиопии и определения изменения внутрисистемных взаимоотношений были проведены многофакторные методы анализа, позволяющие установить относительность одновременно происходящих процессов. Были проанализированы 90 показателей зрительной системы 170 пациентов (всего 30600 переменных) методами нейросетевого и дискриминантного анализов.

В данной работе был применен метод построения искусственной нейронной сети с использованием метода понижения размерности в генетическом алгоритме.

Нейросетевой анализ позволил выделить последовательность включения информативных отличительных признаков структурно-функционального состояния зрительной системы у пациентов с наличием и отсутствием пресбиопии в различных рефракционных условиях. Фрагмент построения искусственной нейросети представлен в Таблице 27. Каждая строка в данной таблице представляет собой отдельный тест (комбинацию входов). Метка строки обозначает стадию. Последующие столбцы показывают, какие входы были выбраны для соответствующей комбинации.

Таблица 35- Фрагмент построения искусственной нейронной сети

Тест	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10
1.8	-	Да	-	-	-	-	-	-	-	-
2.45	-	Да	-	-	-	-	-	-	-	-
3.9	-	Да	Да	-	-	-	-	-	-	-
4.46	-	Да	Да	-	-	-	-	-	-	-
5.60	-	Да	Да	-	-	-	-	-	-	-
6.62	-	Да	Да	-	-	-	-	-	-	-
7.1	-	Да	Да	-	-	-	-	-	-	-
8.19	-	Да	Да	-	-	-	-	-	Да	-
9.57	-	Да	Да	-	-	-	-	-	Да	-
10.23	-	Да	Да	-	-	-	-	-	Да	-
11.10	-	Да	Да	Да	-	-	-	-	Да	-
12.41	-	Да	Да	Да	-	-	-	-	Да	-
13.61	-	Да	Да	Да	-	-	-	-	Да	-
14.5	-	Да	Да	Да	-	-	-	-	Да	-
15.22	-	Да	Да	Да	-	-	-	-	Да	-
16.33	-	Да	Да	Да	-	-	-	-	Да	-
17.24	-	Да	Да	Да	-	-	-	-	Да	-
27.7	Да	Да	Да	Да	-	-	-	-	Да	-
28.20	Да	Да	Да	Да	-	-	-	-	Да	Да
29.17	Да	Да	Да	Да	-	-	Да	-	Да	Да
30.15	Да	Да	Да	Да	Да	-	Да	-	Да	Да
31.38	Да	Да	Да	Да	Да	-	Да	-	Да	Да

Последовательность отличительных признаков вне зависимости от рефракции выглядит следующим образом:

1. Острота зрения вблизи с коррекцией для дали,
2. Острота зрения вдаль без коррекции,
3. Предел фузионного рефлекса при конвергенции,
4. Длина фузионного поля,
5. Диаметр зрачка в фотопических условиях,
6. Уровень бинокулярной суммации,
7. ПКЧ на частоте 3 цикл/град,
8. Толщина передней порции ЦТ,
9. Латентность в-волны максимальной ЭРГ,
10. Диапазон зрачковой экскурсии,
11. Дистанция «трабекула - цилиарные отростки»,
12. Длина передней порции цинновой связки,
13. Толщина хрусталика,
14. Порог светочувствительности.

Полученная математическая модель была подтверждена результатами многофакторного дискриминантного анализа, позволяющего выяснить, действительно ли состояние зрительной системы у пациентов исследуемых групп различаются между собой, и если да, то определить совокупность наиболее информативных признаков для дискриминации. Был проведен пошаговый дискриминантный анализ, при котором переменные вводятся последовательно, исходя из их способности различать группы.

Проведение дискриминантного анализа осуществлялось в следующем алгоритме:

1. Анализ дискриминантных функций для установления статистической значимости и корректности математической модели проводился с вычислением основных характеристик качества проведенного анализа.
2. Оценка матрицы предложенных классификаций и определение вклада каждого признака в процентном соотношении.
3. Расчет уравнения канонической величины (К), выражающего совокупность наиболее информативных признаков для разделения исследуемых групп. Определение распределения значений канонической величины для исследуемых групп пациентов. Проведена оценка уровня значимости расстояния между между центрами (корнями) сравниваемых групп по квадрату расстояния Махаланобиса (D2).

Итоги анализа дискриминантных функций: Лямбда Уилкса: 0,00022; F (90,1163) = 60,774; p=0,0001. Совокупность наиболее информативных показателей в дискриминации групп и итоги анализа дискриминантных функций представлены в Таблице 36.

Правильность распределения пациентов с эмметропической и гиперметропической рефракциями составила 100%, с миопической рефракцией – 98,24%.

Таблица 36 - Матрица наиболее информативных показателей в дискриминации пациентов исследуемых групп

Параметры	Лямбда Уилкса	F-критерий Фишера	p-уровень	Толерантность
Острота зрения вблизи	0,000420	45,29855	0,0001	0,853333
Предел ФР при конвергенции	0,000251	7,87405	0,0001	0,604162
Длина ФП	0,000269	11,88954	0,0001	0,591319
Диаметр зрачка, фотопич.	0,000255	8,78645	0,0001	0,196352
Бинокулярная суммация	0,000268	11,71849	0,0001	0,190494
ПКЧ, 3 цикл/угл. град	0,000243	6,04431	0,0001	0,640421
Толщина ЦТ в проекции вн. вершины	0,000248	7,32724	0,0001	0,842458
Амплитуда b-волны макс. ЭРГ	0,000289	16,20884	0,0001	0,809462
Диапазон зрачковой экскурсии	0,000251	7,83493	0,0001	0,588921
Длина передней части ЦТ	0,000269	11,78603	0,0001	0,836285
Длина передней порции цинновой связки	0,000238	4,97820	0,0002	0,907744
Толщина хрусталика	0,000237	4,73765	0,0003	0,816655
Порог светочувствительности	0,000251	7,78638	0,0001	0,770339

Достоверность дискриминантного анализа подтверждена расчетом квадрата расстояния Махаланобиса (Таблица 37) и критериями достоверности между всеми группами (Таблица 38)

Таблица 37 -Результаты различия исследуемых групп по квадрату расстояния Махаланобиса D2 при проведении дискриминантного анализа

	Группы					
	1.1.	2.1.	1.2.	2.2.	1.3.	2.3.
Группа 1.1.	0,0000	47,144	56,181	76,342	45,172	103,092
Группа 2.1.	47,144	0,0000	94,420	55,976	68,148	70,360
Группа 1.2.	56,181	94,420	0,0000	29,397	78,169	127,281
Группа 2.2.	76,342	55,976	29,397	0,0000	92,418	94,329
Группа 1.3.	45,172	68,148	78,169	92,418	0,0000	74,903
Группа 2.3.	103,092	70,360	127,281	94,329	74,903	0,0000

Таблица 38 - Уровень достоверности различия групп при проведении дискриминантного анализа

	Группы					
	1.1.	2.1.	1.2.	2.2.	1.3.	2.3.
Группа 1.1.		0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
Группа 2.1.	0,001		0,001	0,001	0,001	0,001
Группа 1.2.	0,001	0,001		0,001	0,001	0,001
Группа 2.2.	0,001	0,001	0,001		0,001	0,001
Группа 1.3.	0,001	0,001	0,001	0,001		0, 001
Группа 2.3.	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	

Графическое отображение дискриминации групп в многомерном пространстве по средним значениям канонических величин у пациентов с пресбиопией и без пресбиопии представлено на Рисунке 32.

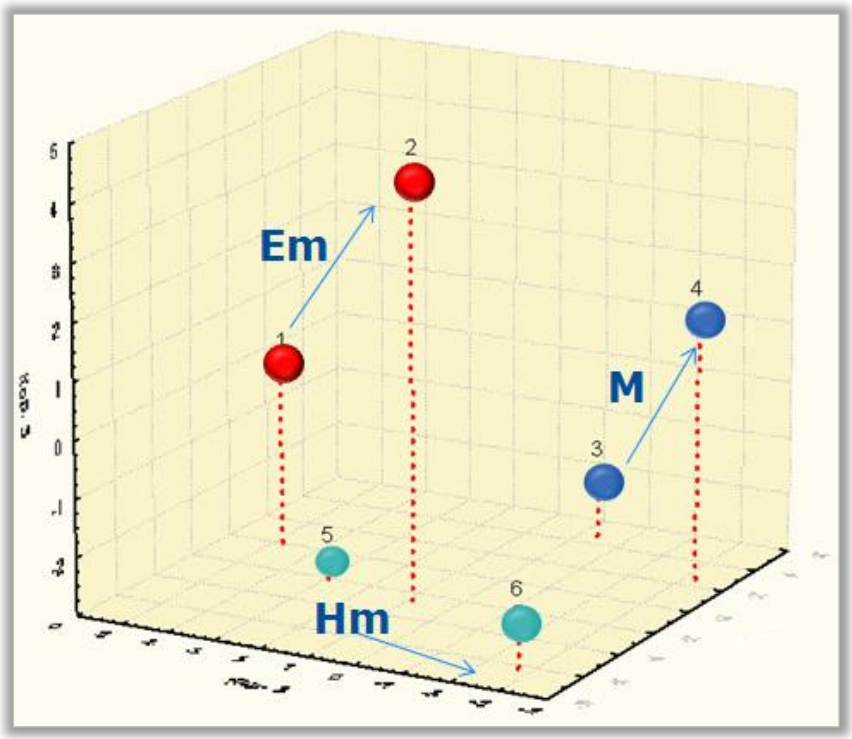

Рисунок 32 - Графическое отображение классификации пациентов с пресбиопией и молодых лиц без пресбиопии в многомерном пространстве по результатам многофакторного дискриминантного анализа. 1- пациенты с эмметропией без пресбиопии, 2- пациенты с эмметропией и пресбиопией, 3 – пациенты с миопией без пресбиопии, 4 – пациенты с миопией и пресбиопией, 5 – пациенты с гиперметропией без пресбиопии, 6 – пациенты с гиперметропией и пресбиопией

Анализ процентного вклада каждого показателя в дискриминацию групп пациентов с пресбиопией и без пресбиопии позволил отразить роль основных механизмов формирования пресбиопии в виде диаграммы (Рисунок 33).

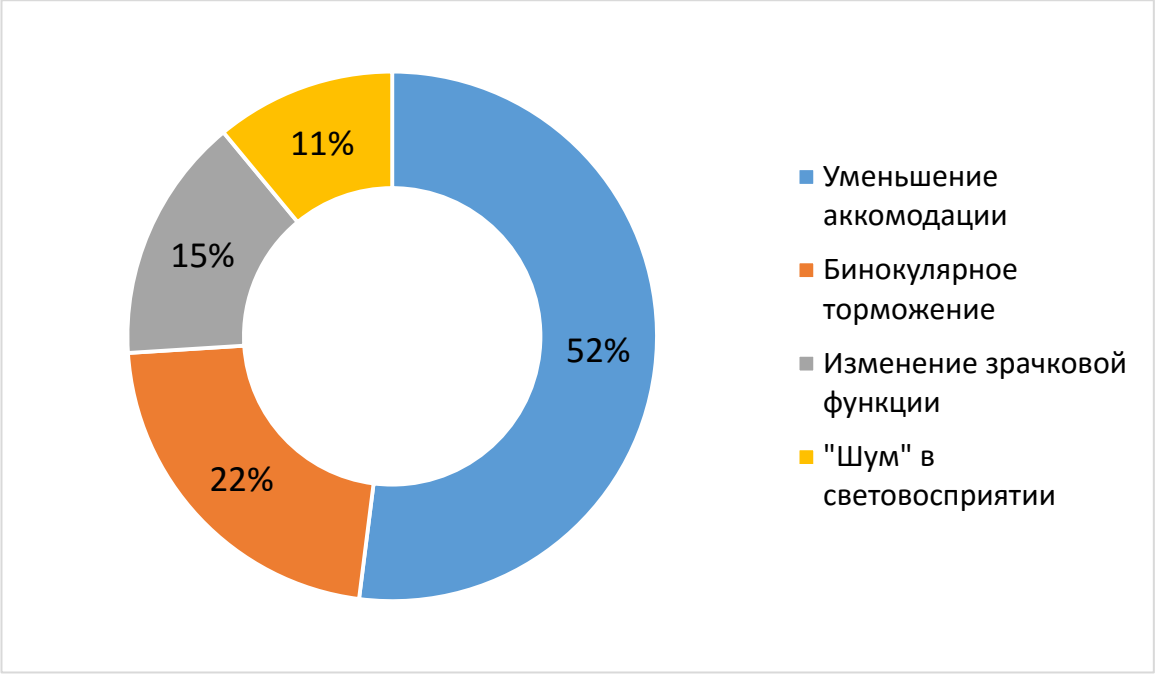

Рисунок 33 - Вклад ключевых механизмов, включённых в уравнение линейной дискриминантной функции для групп пациентов с пресбиопией и без пресбиопии

Результаты исследования показывают, что уменьшение аккомодационной способности является значимым, манифестным (с общим вкладом 52 %), но не единственным звеном в развитии пресбиопии. На втором месте (с вкладом 22 %) находится снижение уровня бинокулярного взаимодействия, которое проявляется в виде уменьшения пределов фузионного рефлекса. Значимую роль при развитии пресбиопии играет функция зрачковой диафрагмы (вклад 15 %). Значительно меньший вклад в разделение пациентов с пресбиопией и без пресбиопии вносят показатели электрической активности сетчатки и показатели пространственной контрастной чувствительности, что может указывать на проявление “шума» в световосприятии (с суммарным вкладом 11%).

Таким образом, представленные результаты многофакторных видов анализа убедительно показывают, что снижение аккомодационной способности взаимосвязано с изменением зрачковой диафрагмальной функции, изменением сенсорной рецепции и снижением фузионной

способности. Нарушение бинокулярного сотрудничества, проявляющееся торможением фузионного рефлекса при конвергенции, уменьшением площади фузионного поля, снижением уровня бинокулярной суммации, является одним из ключевых механизмов развития пресбиопии.

В целом, представленные результаты исследования позволили существенно расширить представления о механизмах пресбиопии и на этой основе разработать концептуальную схему формирования пресбиопии в различных рефракционных условиях и обосновать пути патогенетически ориентированной коррекции зрения. На схеме (Рисунок 34) разделены «общие» механизмы пресбиопии, характерные для всех видов рефракции, и «частные», присущие для эмметропии и аметропий.

Единый механизм нарушения аккомодационного аппарата, обусловленный увеличением плотности и толщины хрусталика, снижением лентикулярной способности к трансформации сопровождается нарушением пространственных взаимоотношений перилентикулярных структур глазного яблока, формированием глазной ретенции, усилением явлений светорассеивания. При развитии пресбиопии, вне зависимости от рефракционных условий, помимо снижения аккомодационного ответа наблюдается увеличение среднеквадратичного отклонения волнового фронта оптической системы, уменьшение диаметра зрачка в мезопических условиях освещения.

Формирование пресбиопии сопровождается депрессией сенсорного восприятия, общими признаками которого для всех рефракционных ситуаций являются: снижение остроты зрения вблизи, ухудшение пространственной контрастной чувствительности на низких частотах.

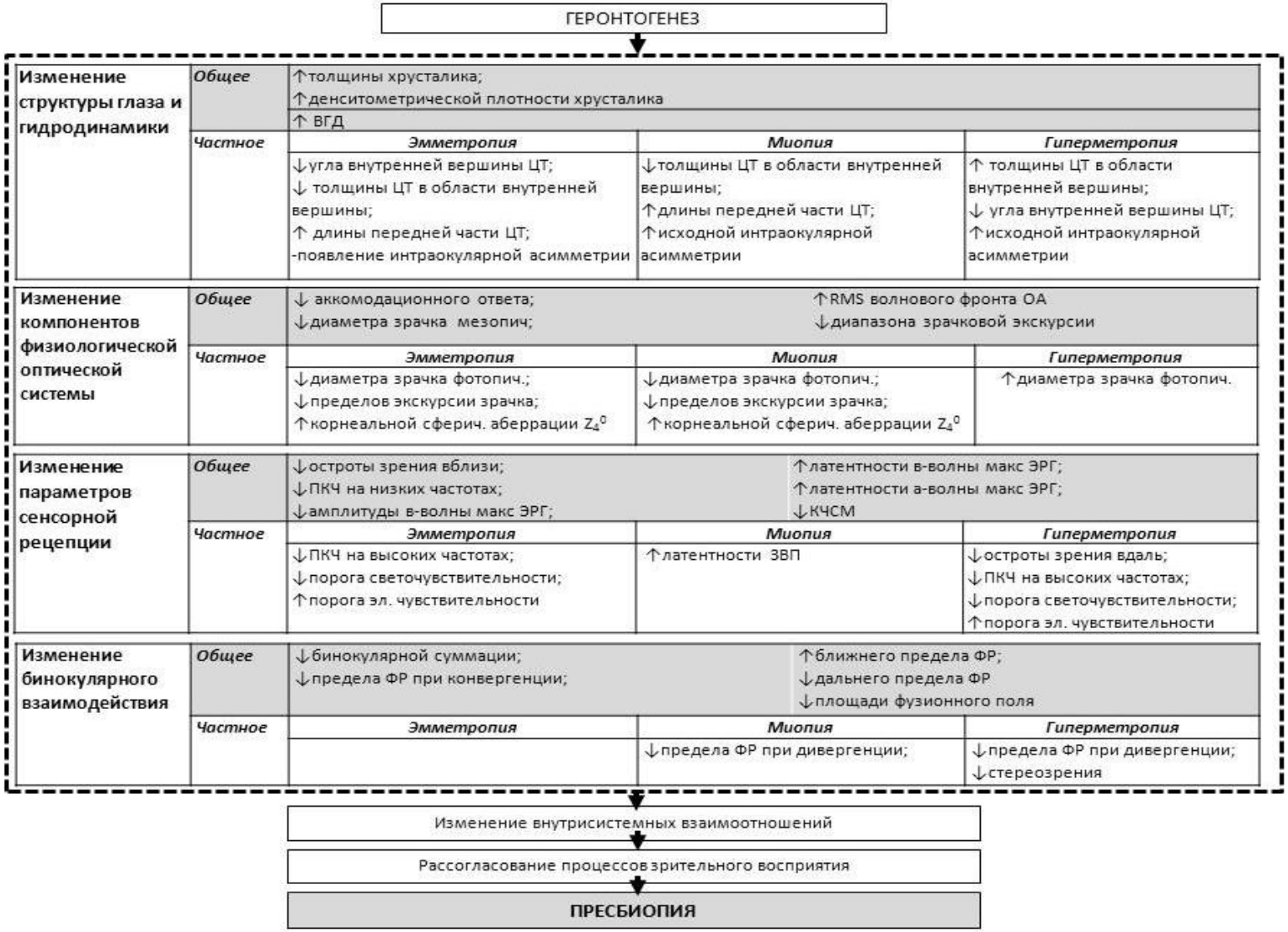

Рисунок 34 - Концептуальная схема формирования пресбиопии

Помимо этого у пациентов с пресбиопией происходят достоверное (но в пределах физиологических значений) снижение амплитуды а-волны максимальной ЭРГ, повышение латентности а-волны и в-волны максимальной ЭРГ, снижение критической частоты слияния мельканий, что может быть следствием увеличения процессов светорассеивания, начальных явлений нейросенсорной дисфункции и снижения функциональной лабильности зрительной системы.

Ключевым механизмом развития пресбиопии является устойчивое нарушение бинокулярного взаимодействия, проявляющееся дефицитом диспаратной фузии, снижением фузионной вергентной способности (преимущественно в зоне конвергенции), уменьшением площади фузионного поля и уровня бинокулярной суммации. Иначе говоря, развитие пресбиопии сопровождается динамической совокупностью устойчивых реакций зрительной системы и частичной нейтрализацией избыточной информации за счет образования относительной функциональной скотомы подавления вблизи. При этом наблюдается перестраивание внутрисистемных взаимоотношений, с усугублением рассогласования процессов зрительного восприятия.

Таким образом, формирование пресбиопии является отражением совокупности как первичных инволюционных физиологических изменений зрительного анализатора, так и вторичных изменений, взаимосвязанных со снижением аккомодационной способности. Инволюционная трансформация зрительного восприятия при формировании пресбиопии характеризуется процессами приспособления к сдвигу фокусной зоны, нейтрализацией фузионного рефлекса.

Представленные результаты исследования раскрывают характер трансформации деятельности зрительной системы при формировании пресбиопии и определяют, что принципы лечебных мероприятий при

коррекции зрительных нарушений при пресбиопии должны быть основаны на не только изолированной оптической компенсации утраченной аккомодации, но и на улучшении бинокулярного взаимодействия и восстановлении согласованной деятельности зрительной системы.

ГЛАВА 6. РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ИНТРАОКУЛЯРНОЙ ОПТИЧЕСКОЙ КОРРЕКЦИИ ПРЕСБИОПИИ

6.1. Хирургическая интраокулярная оптическая коррекция пресбиопии

На следующем этапе проведено проспективное клиническое исследование, направленное на оценку эффективности восстановления монокулярных и бинокулярных зрительных функций у пациентов с пресбиопией после имплантации псевдофакичных монофокальных ИОЛ по принципу моновидения, псевдофакичных мультифокальных рефракционных ИОЛ, псевдофакичных мультифокальных комбинированных ИОЛ - наиболее широко используемых в клинической практике.

Показанием к выполнению интраокулярной оптической коррекции послужило наличие пресбиопии в сочетании с лентикулярными помутнениями. Методом факоэмульсификации с имплантацией псевдофакичной интраокулярной ИОЛ было прооперировано 184 пациента. В зависимости от принципа коррекции пресбиопии пациенты были использованы следующие виды ИОЛ:

- монофокальная асферическая ИОЛ;
- рефракционнамультифокальная я ИОЛ;
- диффракционно-рефракционная мультифокальная ИОЛ.

Критерии включения и исключения пациентов в группы исследования представлены в главе 2.

6.1.1. Интраокулярная коррекция пресбиопии по принципу моновидения

Создание дозированной искусственной анизометропии является одной из наиболее часто используемых хирургических стратегий интраокулярной оптической коррекции зрительных нарушений у пациентов с пресбиопией. Ведущий глаз у пациента с пресбиопией всегда корригируется для зрения вдаль, ведомый глаз - для зрения вблизи. При интраокулярной коррекции пресбиопии по принципу моновидения оптимальной величиной анизометропии считается 1-1,5 дптр.

Для оценки стратегии интраокулярной коррекции пресбиопии по принципу моновидения были проанализированы результаты хирургического лечения 64 пациентов, которым была проведена факоэмульсификация с билатеральной имплантацией монофокальной асферической ИОЛ (*AcrySof IQ*) асимметрично по целевой рефракции.

По данным предоперационного обследования у всех пациентов установлено наличие пресбиопии и в сочетании с лентикулярными помутнениями. Величина сферического эквивалента рефракции глаза на дооперационном этапе составила в среднем +1,42±1,21 дптр. Передне-задний размер глазного яблока был 23,17±0,42 мм.

Расчет оптической силы ИОЛ был произведен с целью достижения рефракции на ведущий глаз (-) 0,25 дптр, на ведомый – (-) 1,25-1,5 дптр, что соответствует анизометропии в 1-1,25 дптр. Для определения ведущего и ведомого глаза всем пациентам на дооперационном этапе было проведено определение доминантности с использованием четырехточечного цветотеста Уорса в модификации Фридмана-Белостоцкого. В 75±5,4% случаев пациентов исследуемой группы установлено доминирование правого глаза.

В результате хирургического лечения были достигнуты целевые рефракционные показатели (Таблица 39), величина анизометропии составила 1,08±0,08 дптр.

Таблица 39 – Объективная рефракция глаза (сферический эквивалент) у пациентов до и после факоэмульсификации с асимметричной билатеральной имплантацией монофокальной асферической ИОЛ (M±σ)

Период наблюдения	Рефракция ведущего глаза, дптр (n=64)	Рефракция ведомого глаза, дптр (n=64)
До операции	+1,42±1,21	+1,39±1,19
Через 3 месяца после операции	-0,34±0,21	-1,42±0,21
Через 6 месяца после операции	-0,36±0,21	-1,43±0,21

Хирургическое изменение оптической системы глаза сопровождалось уменьшением среднеквадратичного отклонения волнового фронта глаза на 20-34%, что в первую очередь было обусловлено удалением восстановлением прозрачности оптических сред (Таблица 40). Через 3 месяца после операции среднеквадратичное отклонение волнового фронта глаза (при диаметре зрачка 3 мм) составило 0,89±0,21 мкм, что было достоверно меньше, чем до операции ($p<0,001$). Достоверных изменений зрачковой экскурсии не было выявлено.

Таблица 40– Параметры оптической системы глаза у пациентов с пресбиопией до и после факоэмульсификации с асимметричной билатеральной имплантацией монофокальной асферической ИОЛ (M±σ, **критерий Вилкоксона)**

Параметры	До операции (n=64)	Через 3 мес. после опер. (n=64)	Через 6 мес. после опер. (n=64)
	1	2	3
RMS total глаза, (диаметр зрачка 3 мм), мкм	1,23±0,51	0,89±0,21 $P_{1-2}<0,001$	0,90±0,33 $P_{1-3}<0,001$
Диаметр зрачка фотопич., мм	3,37±0,67	3,38±0,56 $P_{1-2}>0,05$	3,40±0,56 $P_{1-3}>0,05$
Диаметр зрачка мезопич., мм	5,99±0,62	5,92±0,52 $P_{1-2}>0,05$	5,97±0,58 $P_{1-3}>0,05$
Диаметр зрачка при приближении, мм	2,59±0,30	2,62±0,45 $P_{1-2}>0,05$	2,60±0,52 $P_{1-3}>0,05$

Далее был проведен сравнительный анализ показателей деятельности зрительной системы у пациентов до и после асимметричной имплантации монофокальной ИОЛ по принципу моновидения (Таблица 41). В качестве группы контроля выступили пациенты с пресбиопией с нативным прозрачным хрусталиком, с эмметропической рефракцией.

Таблица 41 - Показатели деятельности зрительной системы у пациентов с пресбиопией после формирования асимметричной оптической системы ИОЛ (M±σ)

Параметры	Пациенты с пресбиопией				Достоверность*
	Нативный прозрачн. хрусталик (n=30)	Нативный хрусталик с начальными помутнениями (n=64)	Артифакия по принципу моновидения		
			через 3 мес. после опер. (n=64)	через 6 мес. после опер. (n=64)	
	1	2	3	4	
Монокуляр. острота зрения вдаль без кор., ведущий глаз, ед.	1,01±0,06	0,64±0,14	0,86±0,10	0,87±0,09	$P_{1-3}<0,001$ $P_{2-3}<0,001$ $P_{1-4}<0,001$ $P_{2-4}<0,001$ $P_{3-4}>0,05$
Монокуляр. острота зрения вдаль без кор., ведомый глаз, ед.	1,01±0,05	0,63±0,11	0,69±0,12	0,70±0,11	$P_{1-3}<0,001$ $P_{2-3}<0,001$ $P_{1-4}<0,001$ $P_{2-4}<0,001$ $P_{3-4}>0,05$
Бинокулярная острота зрения вдаль без кор., ед.	1,04±0,09	0,65±0,11	0,88±0,10	0,88±0,10	$P_{1-3}<0,001$ $P_{2-3}<0,001$ $P_{1-4}<0,001$ $P_{2-4}<0,001$ $P_{3-4}>0,05$

Продолжение Таблицы 41

Параметры	Пациенты с пресбиопией				Достоверность*
	Нативный прозрачн. хрусталик (n=30)	Нативный хрусталик с начальными помутнениями (n=64)	Артифакия по принципу моновидения		
			через 3 мес. после опер. (n=64)	через 6 мес. после опер. (n=64)	
	1	2	3	4	
Монокуляр. острота зрения вблизи без кор., ведущий глаз, ед.	0,32±0,14	0,33±0,08	0,41±0,11	0,42±0,12	$P_{1-3}<0,05$ $P_{2-3}<0,05$ $P_{1-4}<0,05$ $P_{2-4}<0,05$ $P_{3-4}>0,05$
Монокуляр. острота зрения вблизи без кор., ведомый глаз, ед	0,31±0,14	0,31±0,05	0,60±0,11	0,60±0,12	$P_{1-3}<0,001$ $P_{2-3}<0,01$ $P_{1-4}<0,001$ $P_{2-4}<0,01$ $P_{3-4}>0,05$
Бинокулярная острота зрения вблизи без кор., ед.	0,001)	0,44±0,12	0,60±0,11	0,60±0,12	$P_{1-3}<0,001$ $P_{2-3}<0,01$ $P_{1-4}<0,001$ $P_{2-4}<0,01$ $P_{3-4}>0,05$
ПКЧ, 3 цикл/ угл.град., ед.	6,31±0,39	4,79±0,58	5,96±0,78	5,97±0,77	$P_{1-3}<0,05$ $P_{2-3}<0,001$ $P_{1-4}<0,05$ $P_{2-4}<0,001$ $P_{3-4}>0,05$

Продолжение Таблицы 41

Параметры	Пациенты с пресбиопией				Достоверность*
	Нативный прозрачн. хрусталик (n=30)	Нативный хрусталик с начальными помутнениями (n=64)	Артифакия по принципу моновидения		
			через 3 мес. после опер. (n=64)	через 6 мес. после опер. (n=64)	
	1	2	3	4	
ПКЧ, 18 цикл/угл.град., ед.	6,22±0,55	4,99±0,46	5,59±0,91	5,60±0,90	$P_{1-3}<0,001$ $P_{2-3}<0,001$ $P_{1-4}<0,001$ $P_{2-4}<0,001$ $P_{3-4}>0,05$
КЧСМ, Гц	32,33±2,91	32,02±4,27	32,14±4,20	32,12±3,98	$P_{1-3}>0,05$ $P_{2-3}>0,05$ $P_{1-4}>0,05$ $P_{2-4}>0,05$ $P_{3-4}>0,05$
Амплитуда в-волны макс. ЭРГ, мкВ	287,0±63,4	290,0±66,5	291,4±84,6	292,1±85,1	$P_{1-3}>0,05$ $P_{2-3}>0,05$ $P_{1-4}>0,05$ $P_{2-4}>0,05$ $P_{3-4}>0,05$
Латентное время в-волны макс.ЭРГ, мс	45,9±2,6	46,0±13,8	46,3±13,9	46,0±10,2	$P_{1-3}>0,05$ $P_{2-3}>0,05$ $P_{1-4}>0,05$ $P_{2-4}>0,05$ $P_{3-4}>0,05$

Продолжение Таблицы 41

Параметры	Пациенты с пресбиопией				Достоверность*
	Нативный прозрачн. хрусталик (n=30)	Нативный хрусталик с начальными помутнениями (n=64)	Артифакия по принципу моновидения		
			через 3 мес. после опер. (n=64)	через 6 мес. после опер. (n=64)	
	1	2	3	4	
Ближний амплитуд. предел ФР, см	18,90±6,82	20,67±4,84	28,11±6,09	29,05±6,00	$P_{1-3}<0,001$ $P_{2-3}<0,001$ $P_{1-4}<0,001$ $P_{2-4}<0,001$ $P_{3-4}>0,05$
Дальний амплитуд. предел ФР, см	69,20±12,20	63,82±7,39	45,55±2,61	46,15±3,48	$P_{1-3}<0,001$ $P_{2-3}<0,001$ $P_{1-4}<0,001$ $P_{2-4}<0,001$ $P_{3-4}>0,05$
Амплитуд. предел ФР при конвергенции, 10^{-1} см	30,30±6,92	46,82±4,42	52,82±4,42	52,44±4,67	$P_{1-3}<0,001$ $P_{2-3}<0,001$ $P_{1-4}<0,001$ $P_{2-4}<0,001$ $P_{3-4}>0,05$
Амплитуд. предел ФР при дивергенции, 10^{-1} см	58,22±5,62	57,88±6,00	57,32±4,12	57,64±4,98	$P_{1-3}>0,05$ $P_{2-3}>0,05$ $P_{1-4}>0,05$ $P_{2-4}>0,05$ $P_{3-4}>0,05$

Продолжение Таблицы 41

Параметры	Пациенты с пресбиопией				Достоверность*
	Нативный прозрачн. хрусталик (n=30)	Нативный хрусталик с начальными помутнениями (n=64)	Артифакия по принципу моновидения		
			через 3 мес. после опер. (n=64)	через 6 мес. после опер. (n=64)	
	1	2	3	4	
Ближний амплитуд. предел ФР, см	18,90±6,82	20,67±4,84	28,11±6,09	29,05±6,00	$P_{1-3}<0,001$ $P_{2-3}<0,001$ $P_{1-4}<0,001$ $P_{2-4}<0,001$ $P_{3-4}>0,05$
Дальний амплитуд. предел ФР, см	69,20±12,20	63,82±7,39	45,55±2,61	46,15±3,48	$P_{1-3}<0,001$ $P_{2-3}<0,001$ $P_{1-4}<0,001$ $P_{2-4}<0,001$ $P_{3-4}>0,05$
Амплитуд. предел ФР при конвергенции, 10^{-1} см	30,30±6,92	46,82±4,42	52,82±4,42	52,44±4,67	$P_{1-3}<0,001$ $P_{2-3}<0,001$ $P_{1-4}<0,001$ $P_{2-4}<0,001$ $P_{3-4}>0,05$
Амплитуд. предел ФР при дивергенции, 10^{-1} см	58,22±5,62	57,88±6,00	57,32±4,12	57,64±4,98	$P_{1-3}>0,05$ $P_{2-3}>0,05$ $P_{1-4}>0,05$ $P_{2-4}>0,05$ $P_{3-4}>0,05$

Продолжение Таблицы 41

Параметры	Пациенты с пресбиопией				Достоверность*
	Нативный прозрачн. хрусталик (n=30)	Нативный хрусталик с начальными помутнениями (n=64)	Артифакия по принципу моновидения		
			через 3 мес. после опер. (n=64)	через 6 мес. после опер. (n=64)	
	1	2	3	4	
Площадь фузионного поля, см ^{2}	144,4±87,70	38,6±19,1	15,7±14,4	17,0±16,5	$P_{1-3}<0,001$ $P_{2-3}<0,001$ $P_{1-4}<0,001$ $P_{2-4}<0,001$ $P_{3-4}>0,05$
Стереотест Ланга, угл. сек	1200,0±50,0	840,7±240,7	850,8±251,0	854,8±260,2	$P_{1-3}<0,001$ $P_{2-3}>0,05$ $P_{1-4}<0,001$ $P_{2-4}>0,05$ $P_{3-4}>0,05$

**Примечание:* P_{1-3} и P_{1-4}- по критерию Манна-Уитни; P_{2-3}; P_{2-4}; P_{3-4} – по критерию Вилкоксона.

Видно, что проведение интраокулярной оптической коррекции пресбиопии по принципу моновидения с применением псевдофакичных монофокальных ИОЛ позволяет достигнуть достаточно высоких показателей разрешающей способности глаза в бинокулярных условиях вблизи: значения

бинокулярной остроты зрения вблизи без коррекции достоверно были выше, чем у пациентов с пресбиопией. Однако показатели бинокулярной остроты зрения вдаль без коррекции и ПКЧ были достоверно ниже, чем у пациентов контрольной группы. Также определено, что временные характеристики деятельности зрительной системой – КЧСМ, латентное время в-волны максимальной ЭРГ, а также амплитуда в-волны максимальной ЭРГ оставались на прежнем уровне.

Также на прежнем уровне остались показатели стереозрения, амплитудного предела фузионного рефлекса при дивергенции. Вместе с этим, выявлено увеличение амплитудных пределов при конвергенции и при приближении тестов, уменьшение дальнего амплитудного предела, что говорит об ухудшении фузионной способности. В целом произошло значительное уменьшение площади бинокулярного взаимодействия - площадь фузионного поля уменьшилась в 2,5 раза.

Непосредственно после хирургического лечения 11 человек (17,7±4,2%) предъявляли жалобы на разницу в зрении двух глаз. При опросе пациентов через 3 месяца после операции 5 пациентов (8,0±3,4%) ответили, что им было трудно привыкнуть к новым условиям, ощущая разницу между глазами. Через 3 месяца пациенты отмечали недостаток зрения при необходимости чтения мелкого текста, участия в настольных играх, вождения автомобиля ночью (Рисунок 35).

Тем не менее, суммарная оценка качества зрения через 3 месяца после операции составила 8,23±0,82, и была достоверно больше, чем до операции - 5,3±0,46 ($p<0,001$), и больше, чем у пациентов контрольной группы (7,6±0,52; $p<0,01$).

Рисунок 35 - Субъективная оценка качества зрения пациентов через 3 мес. после имплантации псевдофакичной монофокальной ИОЛ по принципу моновидения (по 10-балльной шкале)

Для определения детерминирующих факторов на характер зрительного восприятия вблизи был проведен корреляционный анализ по Пирсону и установлена плеяда значимых корреляций между бинокулярной остротой зрения вблизи и другими структурно-функциональными параметрами (Рисунок 36).

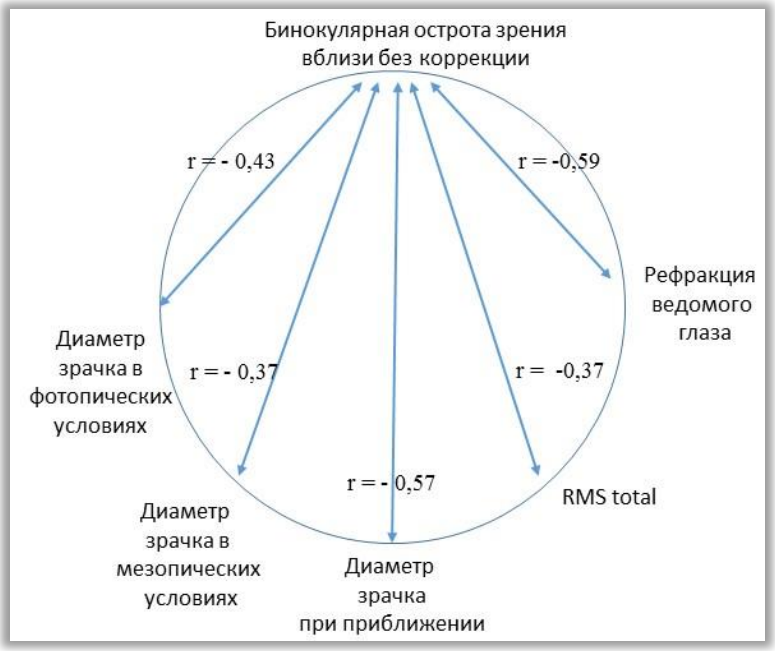

Рисунок 36 - Значимые корреляционные взаимосвязи бинокулярной остроты зрения вблизи со структурно-функциональными параметрами у пациентов с псевдофакичной монофокальной ИОЛ по принципу моновидения. Стрелками синего цвета указаны отрицательные взаимосвязи, красными – положительные

Было установлено, что бинокулярная острота зрения вблизи (без коррекции) имеет согласованные изменения со следующими параметрами: рефракцией ведомого глаза (r= 0,59; p= 0,0001), диаметром зрачка в фотопических условиях освещения (r= - 0,43; p= 0,0001); с диаметром зрачка в мезопических условиях (r= - 0,37; p= 0,0001), с величиной среднеквадратичного отклонения волнового фронта глаза (r= 0,37; p= 0,002), диаметром зрачка при приближении (r= -0,57; p= 0,0001).

Результаты исследования состояния зрительного восприятия у пациентов после имплантации псевдофакичной монофокальной ИОЛ по принципу моновидения показывают, что характер зрительного восприятия вблизи определяется соотношением оптических компонентов – величиной

рефракции, величиной суммарного числа оптических аберраций, величиной апертурной диафрагмы. Со стороны сенсорной рецепции положительных изменений не установлено, более того, со стороны диспаратной фузии установлено значимое снижение.

6.1.2. Интраокулярная коррекция пресбиопии с помощью псевдофакичных рефракционных мультифокальных иол

Далее были проанализированы возможности интраокулярной коррекции пресбиопии с помощью рефракционных мультифокальных ИОЛ, которые формируют изображение в двух фокальных плоскостях за счет зон с разными радиусами кривизны на передней поверхности своей оптической части. При этом создается 2 фокусных поля – для дали и для близи и эффективность зрительного восприятия зависит от подавления одного из сформированных зрительных образов при сохранении четкой визуализации другого.

Были систематизированы показатели зрительных функций у 60 пациентов после факоэмульсификации с имплантацией рефракционной мультифокальной асферической ИОЛ *M-Flex 630 F* с аддидацией для близи +3,0 дптр.

По данным предоперационного обследования у всех пациентов установлено наличие пресбиопии и в сочетании с лентикулярными помутнениями. Величина сферического эквивалента рефракции глаза на дооперационном этапе составила в среднем +0,99±1,31 дптр. Передне-задний размер глазного яблока был 23,16±0,86 мм.

При обследовании через 3 месяца поле операции величина субъективной рефракции составила 0,04±0,11 дптр. Среднеквадратичное отклонение волнового фронта глаза (при диаметре зрачка 3 мм) составило 1,09±0,31 мкм,

что было достоверно выше, чем у пациентов с пресбиопией и прозрачным хрусталиком (p<0,001), но меньше, чем до операции (p<0,01). Показатели основных оптических характеристик глаза представлены в Таблице 42.

Таблица 42– Параметры оптической системы глаза у пациентов с пресбиопией до и после факоэмульсификации с имплантацией рефракционной мультифокальной ИОЛ (M±σ)

Параметры	До операции (n=60)	Через 3 мес. после опер. (n=60)	Через 6 мес. после опер. (n=60)
	1	2	3
Среднеквадратичное отклонение волнового фронта глаза, (диаметр зрачка 3 мм), мкм	1,27±0,73	1,10±0,31 $P_{1-2}<0,01$	1,12±0,34 $P_{1-3}<0,01$
Диаметр зрачка фотопич., мм	3,32±0,74	3,35±0,81 $P_{1-2}>0,05$	3,35±0,48 $P_{1-3}>0,05$
Диаметр зрачка мезопич., мм	6,02±0,48	5,95±0,54 $P_{1-2}>0,05$	5,94±0,63 $P_{1-3}>0,05$
Диаметр зрачка при приближении, мм	2,63±0,32	2,65±0,44 $P_{1-2}>0,05$	2,65±0,52 $P_{1-2}>0,05$

Далее был проведен сравнительный анализ показателей деятельности зрительной системы у пациентов до и после имплантации рефракционной мультифокальной ИОЛ (Таблица 43). В качестве группы контроля выступили пациенты с пресбиопией с нативным прозрачным хрусталиком, с эмметропической рефракцией.

Было выявлено, что зрительные функции после имплантации мультифокальной ИОЛ через 3 месяца после операции составили: бинокулярная острота зрения вдаль без коррекции 0,86±0,09, вблизи - 0,68±0,12, что было достоверно выше, чем до операции ($p<0,001$), но ниже, чем у пациентов контрольной группы ($p<0,001$). Вместе с этим, отмечено, что пространственная контрастная чувствительность у пациентов с мультифокальными ИОЛ на 35-40% ниже, чем у пациентов контрольной группы, а временные характеристики деятельности зрительной системой – КЧСМ, латентное время а-волны и в-волны максимальной ЭРГ - оставались на прежнем уровне.

Таблица 43 - Показатели деятельности зрительной системы у пациентов с пресбиопией после имплантации псевдофакичных рефракционных мультифокальных ИОЛ (M±σ)

Параметры	Пациенты с пресбиопией			Достоверность*
	Нативный прозрачный хрусталик (n=30)	Нативный хрусталик с начальными помутнениями (n=60)	Артифакия с ИОЛ *M-Flex*, через 3 мес. после опер. (n=60)	
	1	2	3	
Бинокулярная острота зрения вдаль без кор., ед.	1,04±0,09	0,69±0,09	0,86±0,10	$P_{1-3}<0,001$ $P_{2-3}<0,001$
Бинокулярная острота зрения вблизи без кор., ед.	0,32±0,14	0,34±0,11	0,68±0,12	$P_{1-3}<0,001$ $P_{2-3}<0,001$

Продолжение Таблицы 43

Параметры	Пациенты с пресбиопией			Достоверность*
	Нативный прозрачный хрусталик (n=30)	Нативный хрусталик с начальными помутнениями (n=60)	Артифакия с ИОЛ *M-Flex*, через 3 мес. после опер. (n=60)	
	1	2	3	
ПКЧ, 3 цикл/ угл.град., ед.	6,31±0,39	4,75±0,51	3,56±1,02	P_{1-3}<0,001 P_{2-3}<0,001
ПКЧ, 18 цикл/ угл.град., ед.	6,22±0,55	4,94±0,56	3,89±0,78	P_{1-3}<0,001 P_{2-3}<0,001
КЧСМ, Гц	32,33±2,9	32,13±4,27	32,24±2,15	P_{1-3}>0,05 P_{2-3}>0,05
Амплитуда в-волны макс. ЭРГ, мкВ	287,03±63,39	283,0±65,5	297,7±60,5	P_{1-3}>0,05 P_{2-3}>0,05
Латентное время в-волны макс.ЭРГ, мс	45,9±2,6	47,0±14,9	47,2±23,5	P_{1-3}>0,05 P_{2-3}>0,05
Ближний амплитудный предел ФР, см	18,90±6,82	20,45±4,50	22,82±5,64	P_{1-3}<0,05 P_{2-3}>0,05
Дальний амплитудный предел ФР, см	69,20±12,20	60,82±6,42	60,80±14,26	P_{1-3}<0,05 P_{2-3}>0,05
Амплитудный предел ФР при конвергенции, 10^{-1} см	30,30±6,92	38,80±5,45	38,87±8,30	P_{1-3}<0,001 P_{2-3}>0,05

Продолжение Таблицы 43

Параметры	Пациенты с пресбиопией			Достоверность*
	Нативный прозрачный хрусталик (n=30)	Нативный хрусталик с начальными помутнениями (n=60)	Артифакия с ИОЛ *M-Flex*, через 3 мес. после опер. (n=60)	
	1	2	3	
Амплитудный предел ФР при дивергенции, 10^{-1} см	58,22±5,62	56,56±6,12	56,02±6,07	$P_{1-3}>0,05$ $P_{2-3}>0,05$
Площадь фузионного поля, $см^2$	144,4±28,60	70,6±39,0	69,2±35,4	$P_{1-3}<0,001$ $P_{2-3}>0,05$
Стереотест Ланга, угл. сек	1200,0±50,0	856,3±245,5	880,5±319,0	$P_{1-3}<0,01$ $P_{2-3}>0,05$

**Примечание:* P_{1-3}- по критерию Манна-Уитни; P_{2-3} – по критерию Вилкоксона.

У пациентов с рефракционной мультифокальной ИОЛ отмечено сохранение низких значений со стороны показателей, характеризующих бинокулярное взаимодействие.

Суммарная оценка качества зрения через 3 месяца после операции составила 8,25±0,81. Результаты тестирования пациентов через 3 месяца после операции представлены на диаграмме (Рисунок 37). Видно, что наибольший дефицит зрения пациенты испытывают при необходимости участия в настольных играх и вождении автомобиля ночью.

Рисунок 37 - Субъективная оценка качества зрения пациентов через 3 мес. после имплантации псевдофакичной рефракционной мультифокальной ИОЛ (по 10-балльной шкале)

Все пациенты отмечали, что потребовался определенный период времени для адаптации к явлению мультифокальности. Если в раннем послеоперационном периоде пациенты испытывали затруднения при чтении книг, мелкого текста (аннотации к лекарственным препаратам), работе вблизи, то с увеличением времени, прошедшем с момента операции, привыканием и приобретением навыка работы с мультифокальной оптической системой, показатели качества зрения улучшились. Через 3 месяца после операции 4 пациента (6,0±3,1%) отмечали имеющиеся трудности при выполнении зрительных задач вблизи.

При фиксировании внимания на восприятии оптических феноменов в 23,3±5,4% случаев (14 пациентов) с мультифокальными рефракционными ИОЛ отмечали проявление феномена «глэр» в сумеречное время, хотя в обычной жизни на эти явления внимания не обращали.

При проведении корреляционного анализа по Пирсону было установлено, что бинокулярная острота зрения вблизи (без коррекции) имеет согласованные изменения со следующими параметрами: бинокулярной остротой зрения вдаль (r= 0,39; p= 0,002), диаметром зрачка в фотопических условиях освещения (r= - 0,37; p= 0,0001); с диаметром зрачка в мезопических условиях (r= - 0,31; p= 0,0001), латентностью ЗВП (r= -0,65; p= 0,0001), ближним амплитудным пределом ФР (r= -0,35; p= 0,007), амплитудным пределом ФР при конвергенции (r= -0,34; p= 0,01), площадью фузионного поля (r= 0,89; p= 0,0001). Корреляционная плеяда представлена на Рисунке 38.

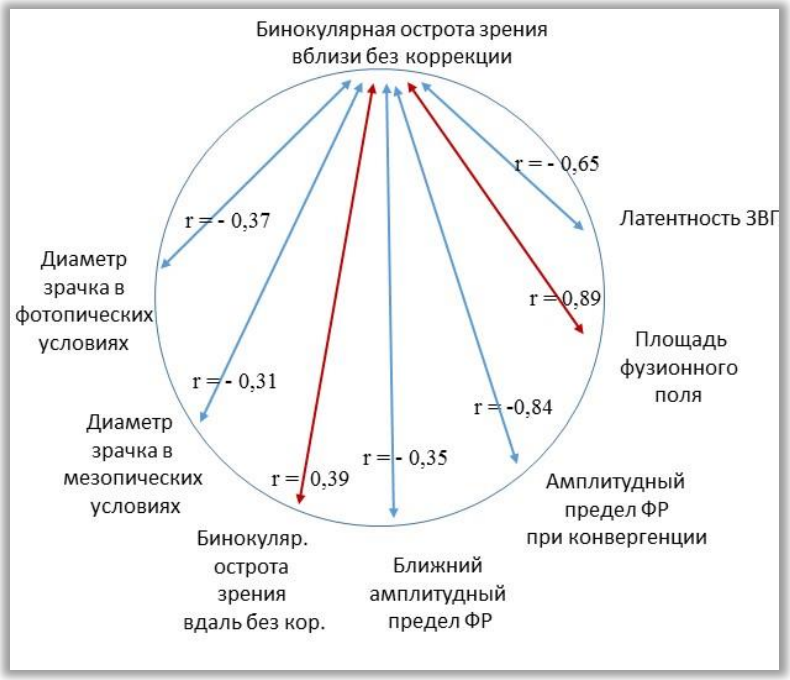

Рисунок 38 - Значимые корреляционные взаимосвязи бинокулярной остроты зрения вблизи со структурно-функциональными параметрами у пациентов с рефракционной мультифокальной ИОЛ. Стрелками синего цвета указаны отрицательные взаимосвязи, красными – положительные

Результаты исследования показывают, что у пациентов с пресбиопией после имплантации псевдофакичной рефракционной мультифокальной ИОЛ созданы новые оптические условия для деятельности зрительной системы, достигнуты высокие показатели разрешающей способности глаза вдаль и

вблизи. Однако, несмотря на прошедший трехмесячный послеоперационный период, у всех пациентов сохранялись низкий уровень бинокулярного взаимодействия и признаки сенсорной дисфункции, а качество зрительного восприятия вблизи имеет взаимозависимости с временными параметрами нейропроводимости и диспаратной фузии.

6.1.3. Интраокулярная коррекция пресбиопии при имплантации псевдофакичных дифракционно-рефракционных мультифокальных ИОЛ

На следующем этапе работы были проанализированы результаты хирургического лечения 60 пациентов, которым была имплантирована псевдофакичная дифракционно-рефракционная мультифокальная аподизированная асферическая ИОЛ *AcrySof ReSTOR SN6AD1* с аддидацией для близи +3,0 дптр.

По данным предоперационного обследования у всех пациентов установлено наличие пресбиопии в сочетании с начальными лентикулярными помутнениями. Величина сферического эквивалента рефракции глаза на дооперационном этапе составила в среднем +0,11±1,13 дптр. Передне-задний размер глазного яблока был 23,25±0,75 мм.

При обследовании через 3 месяца величина субъективной рефракции составила 0,03±0,09 дптр. Среднеквадратичное отклонение волнового фронта глаза (при диаметре зрачка 3 мм) составило 1,09±0,31 мкм, что было достоверно выше, чем у пациентов с пресбиопией и прозрачным хрусталиком ($p<0,001$), но меньше, чем до операции ($p<0,01$). Показатели основных оптических характеристик глаза представлены в Таблице 44.

Таблица 44 – Параметры оптической системы глаза у пациентов с пресбиопией до и после факоэмульсификации с имплантацией дифракционно-рефракционных мультифокальных ИОЛ (критерий Вилкоксона)

Параметры	До операции (M±σ)	Через 3 мес. после опер. (M±σ)	Через 6 мес. после опер. (M±σ)
	1	2	3
Среднеквадратичное отклонение волнового фронта глаза, (диаметр зрачка 3 мм), мкм	1,26±0,71	0,82±0,11 $P_{1-2}<0,01$	0,93±0,21 $P_{1-3}<0,01$
Диаметр зрачка фотопич., мм	3,32±0,74	3,35±0,81 $P_{1-2}>0,05$	3,35±0,48 $P_{1-3}>0,05$
Диаметр зрачка мезопич., мм	6,02±0,48	5,95±0,54 $P_{1-2}>0,05$	5,94±0,63 $P_{1-3}>0,05$
Диаметр зрачка при приближении, мм	2,63±0,32	2,65±0,44 $P_{1-2}>0,05$	2,65±0,52 $P_{1-2}>0,05$

При проведении сравнительного анализа показателей деятельности зрительной системы у пациентов до и после имплантации дифракционно-рефракционной мультифокальной ИОЛ, где в качестве группы контроля выступили пациенты с пресбиопией с нативным прозрачным хрусталиком, с эмметропической рефракцией, выявлено следующее.

Зрительные функции после имплантации данной мультифокальной ИОЛ улучшались постепенно и через 3 месяца после операции составили: бинокулярная острота зрения вдаль без коррекции 0,86±0,11, вблизи - 0,78±0,14, что было достоверно выше, чем до операции ($p<0,001$), но ниже, чем у пациентов с нативным хрусталиком ($p<0,001$). Также отмечено (Таблица 45),

что пространственная контрастная чувствительность у пациентов с мультифокальными ИОЛ была на 30-34% ниже, чем у пациентов с нативным хрусталиком, а временные характеристики деятельности зрительной системой – КЧСМ, латентное время волны максимальной ЭРГ - оставались без изменений.

Таблица 45 - Показатели деятельности зрительной системы у пациентов с пресбиопией после имплантации псевдофакичных дифракционно-рефракционных мультифокальных ИОЛ (M±σ)

Параметры	Пациенты с пресбиопией			Достоверность*
	Нативный прозрачный хрусталик (n=30)	Нативный хрусталик с начальными помутнениями (n=60)	Артифакия с ИОЛ *AcrySof ReSTOR* через 3 мес. после опер. (n=60)	
	1	2	3	
Бинокулярная острота зрения вдаль без кор., ед.	1,04±0,09	0,69±0,09	0,86±0,11	P_{1-3}<0,001 P_{2-3}<0,001
Бинокулярная острота зрения вблизи без кор., ед.	0,32±0,14	0,37±0,21	0,78±0,14	P_{1-3}<0,001 P_{2-3}<0,001
ПКЧ, 3 цикл/ угл.град., ед.	6,31±0,39	4,93±0,76	3,97±1,10	P_{1-3}<0,001 P_{2-3}<0,001

Продолжение Таблицы 45

Параметры	Пациенты с пресбиопией			Достоверность*
	Нативный прозрачный хрусталик (n=30)	Нативный хрусталик с начальными помутнениями (n=60)	Артифакия с ИОЛ *AcrySof ReSTOR* через 3 мес. после опер. (n=60)	
	1	2	3	
ПКЧ, 18 цикл/ угл.град., ед.	6,22±0,55	4,91±0,65	3,99±0,78	P_{1-3}<0,001 P_{2-3}<0,001
КЧСМ, Гц	32,33±2,9	32,11±3,65	32,45±1,98	P_{1-3}>0,05 P_{2-3}>0,05
Амплитуда в-волны макс. ЭРГ, мкВ	287,03±63,39	284,0±60,6	292,7±61,1	P_{1-3}>0,05 P_{2-3}>0,05
Латентное время в-волны макс.ЭРГ, мс	45,9±2,6	47,0±12,6	50,4±15,0	P_{1-3}>0,05 P_{2-3}>0,05
Ближний амплитудный предел ФР, см	18,90±6,82	22,74±5,71	24,65±7,21	P_{1-3}<0,05 P_{2-3}>0,05
Дальний амплитудный предел ФР, см	69,20±12,20	58,80±8,50	58,20±10,16	P_{1-3}<0,001 P_{2-3}>0,05

Продолжение Таблицы 45

Параметры	Пациенты с пресбиопией			Достоверность*
	Нативный прозрачный хрусталик (n=30)	Нативный хрусталик с начальными помутнениями (n=60)	Артифакия с ИОЛ *AcrySof ReSTOR* через 3 мес. после опер. (n=60)	
	1	2	3	
Амплитудный предел ФР при конвергенции, 10^{-1} см	30,30±6,92	39,80±5,45	39,17±8,30	$P_{1-3}<0,001$ $P_{2-3}>0,05$
Амплитудный предел ФР при дивергенции, 10^{-1} см	58,22±5,62	58,20±7,05	58,24±6,08	$P_{1-3}>0,05$ $P_{2-3}>0,05$
Площадь фузионного поля, $см^2$	144,4±28,60	68,4±37,8	67,2±35,4	$P_{1-3}<0,001$ $P_{2-3}>0,05$
Стереотест Ланга, угл. сек	1200,0±50,0	850,0±260,0	846,3±356,0	$P_{1-3}<0,01$ $P_{2-3}>0,05$

**Примечание:* P_{1-3}- по критерию Манна-Уитни; P_{2-3} – по критерию Вилкоксона.

Также из представленных данных видно, что показатели, характеризующие бинокулярное взаимодействие, после операции сохраняются на исходно низким уровне.

Пациенты с мультифокальными ИОЛ отметили хорошие зрительные возможности как вдаль, так и вблизи, но отмечали необходимость периода приспособления к новым условиям зрительного восприятия. Результаты тестирования пациентов для оценки качества зрения представлены на Рисунке 39.

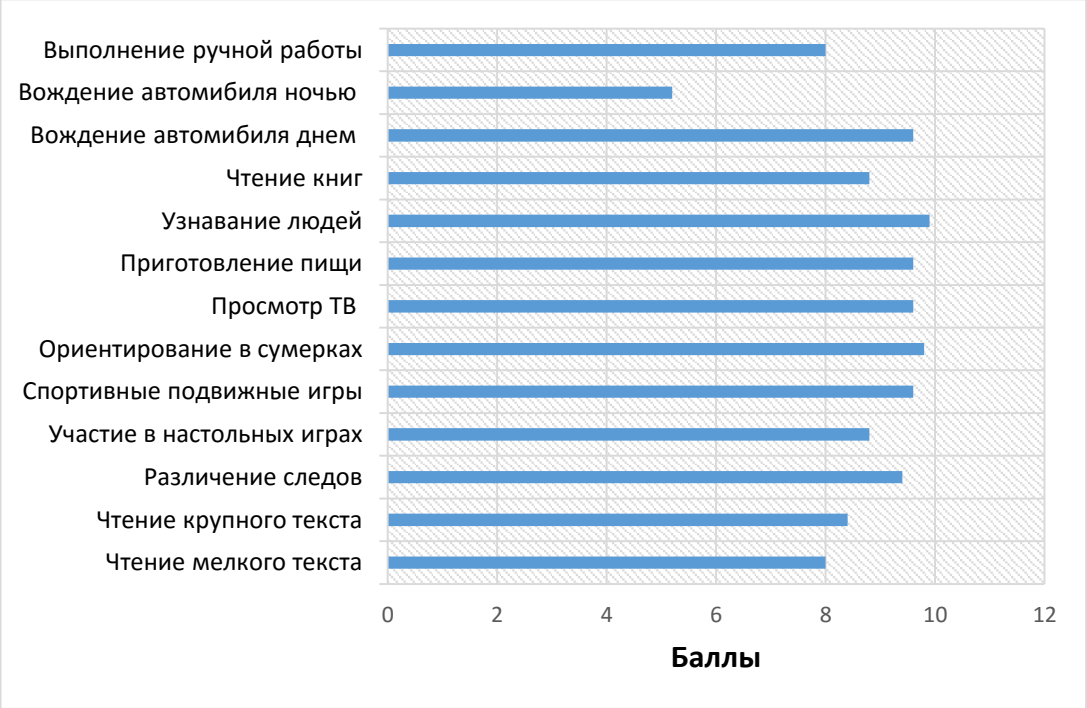

Рисунок 39 - Субъективная оценка качества зрения пациентов через 3 мес. после имплантации псевдофакичнойых дифракционно-рефракционных мультифокальных ИОЛ (по 10-балльной шкале)

Видно, что пациенты отмечали недостаток зрения в сумеречное время, при выполнении ручной работы, при чтении мелкого текста. В целом через 3 месяца после операции суммарная субъективная оценка качества зрения составила 8,48±1,31, что достоверно выше значений у пациентов с пресбиопией ($p<0,001$).

Однако 5 пациентов (8,0±3,5%) отмечали существенные трудности адаптации к новым оптическим условиям, 8 пациентов с мультифокальными комбинированными ИОЛ (13,3±4,3%) отмечали проявление феномена «глэр» в сумеречное время.

При проведении корреляционного анализа по Пирсону было установлено, что бинокулярная острота зрения вблизи (без коррекции) имеет согласованные изменения со следующими параметрами: бинокулярной остротой зрения вдаль (r= 0,63; p= 0,0001), ближним амплитудным пределом ФР (r= -0,32; p= 0,01), амплитудным пределом ФР при конвергенции (r= -0,30; p= 0,02), шириной фузионного поля (r= 0,29; p= 0,03), площадью фузионного поля (r= 0,35; p= 0,01). Корреляционная плеяда представлена на Рисунке 40.

Результаты исследования показывают, что у пациентов с пресбиопией после имплантации псевдофакичной рефракционно-диффракционной мультифокальной аподизированной асферической ИОЛ созданы новые оптические условия для деятельности зрительной системы, достигнуты высокие показатели разрешающей способности глаз вдаль и вблизи. Однако, несмотря на прошедший трехмесячный период нейроадаптации, у всех пациентов сохранялись низкий уровень бинокулярного взаимодействия и признаки сенсорной дисфункции, а качество зрительного восприятия вблизи имеет взаимозависимости с параметрами диспаратной фузии.

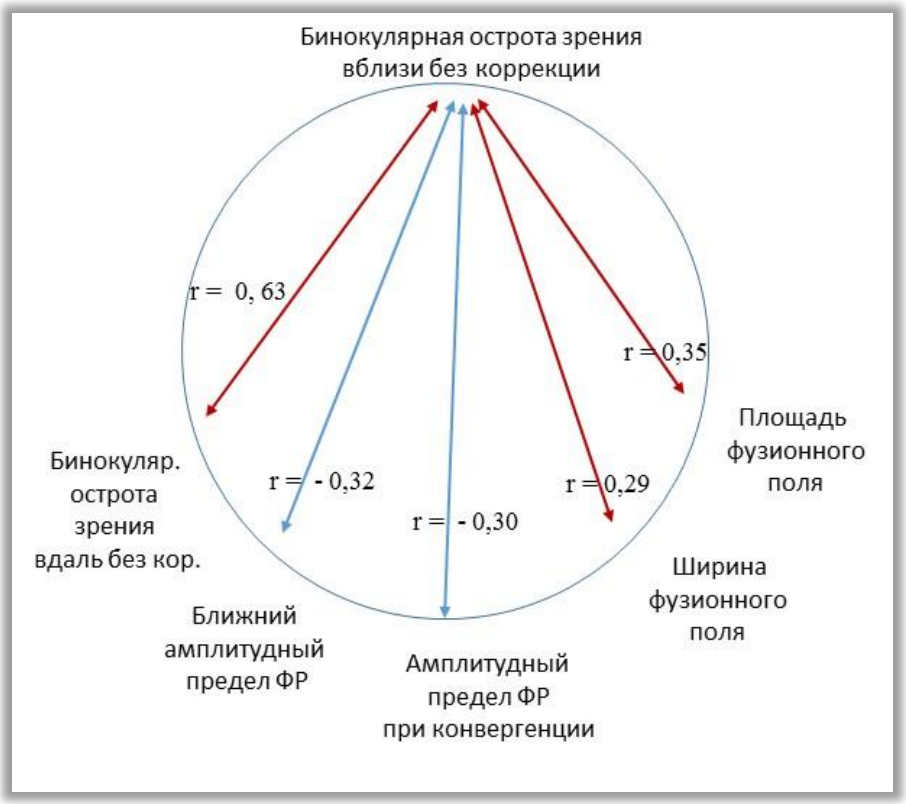

Рисунок 40 - Значимые корреляционные взаимосвязи бинокулярной остроты зрения вблизи со структурно-функциональными параметрами у пациентов с дифракционно-рефракционными мультифокальными ИОЛ

Таким образом, выявлено, что в результате выполнения факоэмульсификации с имплантацией ИОЛ у пациентов с пресбиопией и начальными лентикулярными помутнениями достигнуты достаточно высокие значения остроты зрения вдаль и вблизи. Установлено, что при стратегии моновидения характер зрительного восприятия вблизи определяется соотношением оптических компонентов – величиной рефракции, величиной суммарного числа оптических аберраций, величиной апертурной диафрагмы. Также установлено, что в результате интраокулярной оптической коррекции пресбиопии по принципу моновидения происходит уменьшение границ фузионного поля. Вместе с тем, также вне зависимости выбранной стратегии интраокулярной коррекции пресбиопии, несмотря на созданные новые

оптические условия для деятельности зрительной системы и прошедший период нейроадаптации, у всех пациентов сохранялись низкий уровень бинокулярного взаимодействия и признаки сенсорной дисфункции. У пациентов с интраокулярной мультифокальной оптической коррекцией качество зрительного восприятия вблизи имеет тесную взаимосвязь с параметрами диспаратной фузии.

Представленные результаты исследования показывают эффективность восстановления монокулярных и бинокулярных зрительных функций у пациентов с пресбиопией после имплантации псевдофакичных монофокальных ИОЛ по принципу моновидения, псевдофакичных рефракционных мультифокальных ИОЛ, псевдофакичных дифракционно-рефракционных мультифокальных ИОЛ. Вместе с тем следует подчеркнуть что, несмотря на достижение достаточно высоких значений остроты зрения вдаль и вблизи, рассогласованные взаимоотношения в системе бинокулярного зрительного восприятия у пациентов с пресбиопией сохраняются, что и послужило основанием для разработки и осуществления дополнительных лечебных мероприятий.

6.2. Восстановление бинокулярного взаимодействия у пациентов с пресбиопией после интраокулярной оптической коррекции

В этом подразделе представлены результаты по разработке и внедрению патогенетически ориентированных принципов коррекции пресбиопии, направленных на восстановление патологических изменений в системе бинокулярного зрительного восприятия.

Исходя из характера выявленных изменений бинокулярного взаимодействия, было проведено диплоптическое лечение с помощью бинариметра «АВИЗ 01» (Красногвардеец, Россия), позволяющего предъявлять тестовые изображения для слияния в условиях свободной гаплоскопии, без разделения полей и дополнительных оптических элементов.

Известно, что для пациентов старшей возрастной группы характерны ослабление координированности процессов в центральной нервной системе, изменение поведенческих реакций, снижение способности к восприятию получаемой информации и иные изменения когнитивных функций, связанные с инволюционными физиологическими процессами [6,23,56]. Именно поэтому диплоптическое лечение у пациентов старшей возрастной группы потребовало разработки нового способа восстановления зрительных функций при пресбиопии (*положительное решение по заявке на патент РФ № 2013130337 (045268) приоритет от 04.07.2013*) с применением оригинальных тестов. Были разработаны различные пары цветных тестов для слияния, с учетом соответствия цветовых каналов. Сохраняя принцип соответствия цветовых каналов зрительного восприятия для правого и левого глаза, предложено применение различных тестов в виде кружков и квадратов зеленого цвета для одного глаза и красного - для другого глаза.

Курс лечения составил 15 занятий.

Последовательность лечебных мероприятий в ходе проведения курса диплоптического лечения была следующая:

1. *Подготовительный этап*

Для активизации физиологического двоения были применены линейки с призматическими линзами (20-30 призм дптр). При необходимости этап требует 1-2 дня.

2. *Этап освоения*

В течение первых двух дней с целью обучения и понимания правильного характера слияния пациенту предъявляются тесты, более простые для восприятия – в виде кружков диаметром 14 мм. Правильность получения мнимого бинокулярного образа проверяется при воспроизведении пациентами графически на бумаге воспринимаемых зрительных образов. Проводится проверка соответствия образов по расположению объектов (, по их цвету и объемности.

На следующем этапе проводятся постепенное приближение и постепенное удаление предъявляемых объектов, при этом необходимым условием является сохранение мнимого бинокулярного образа с правильными характеристиками.

3. *Основной этап*

В этот период для бинокулярного слияния предъявляются красно-черный и зелено-черный кружки. Задачей пациента является достижение бинокулярного слияния и восприятие виртуального объемного образа серого цвета при последующем изменении расстояния между тестами и фронтальной дистанции до тестовых объектов. Тренировочные занятия по расширению амплитудных пределов условного фузионного поля проводились с последовательным усложнением предъявляемых зрительных объектов для бинокулярного слияния (Рисунок 41).

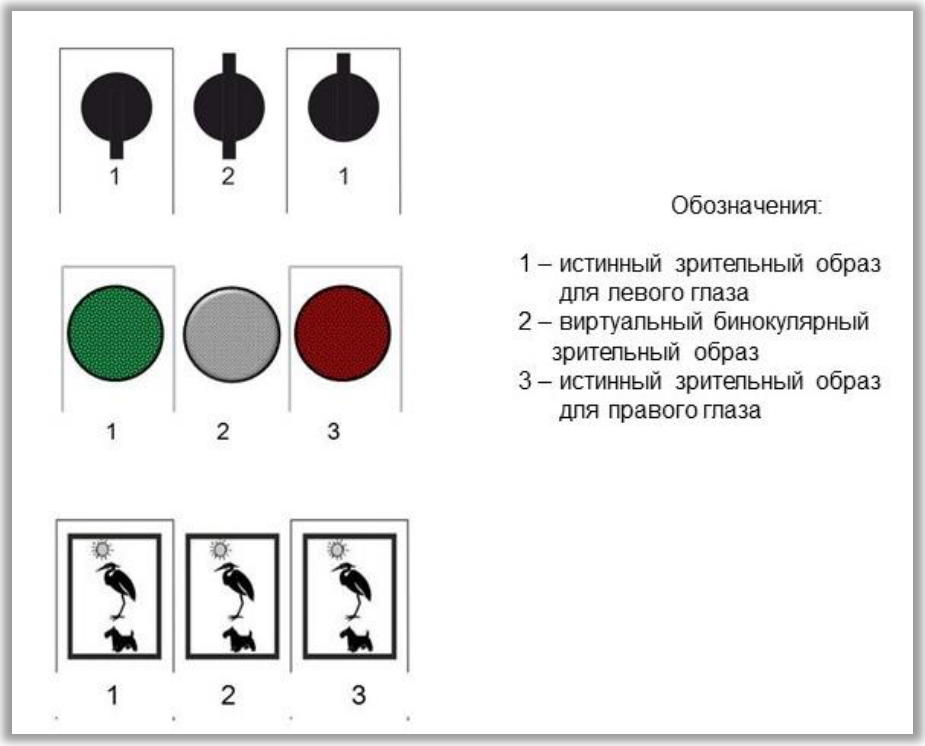

Рисунок 41 - Разновидности зрительных бинокулярных образов в ходе проведения диплоптического лечения

4. Этап закрепления результата

Для закрепления функционального результата пациент проводит домашние занятия с портативным устройством для слияния двойных изображений (*Патент РФ № RU 00097625 U1; приоритет 15.07.2009)*

По разработанной методике было проведено курсовое диплоптическое лечение пациентов двух групп:

Группу 4.1 составили 35 пациентов с пресбиопией через 3 месяца после факоэмульсификации с имплантацией псевдофакичных рефракционных мультифокальных ИОЛ.

Группу 4.2 составили 26 пациентов с пресбиопией через 3 месяца после факоэмульсификации с имплантацией псевдофакичных дифракционно-рефракционных мультифокальных ИОЛ.

Для выявления характера изменения в деятельности зрительной системы в результате диплоптического лечения и оценки клинической эффективности выполненного лечения были проведены:

- сравнительный анализ сенсорных зрительных параметров у пациентов с мультифокальными ИОЛ до и после диплоптического лечения;
- дискриминатный анализ, позволивший установить совокупность наиболее информативных признаков изменения сенсорной рецепции у пациентов в результате лечения на бинариметре;
- анализ основных зрительных функций у пациентов с мультифокальной ИОЛ через 6 месяцев после операции и через 3 месяца после последующего диплоптического лечения. В качестве группы сравнения обследованы пациенты с мультифокальной ИОЛ через 6 месяцев после операции (без последующей бинариметрии).

Результаты проведенного исследования представлены ниже.

6.2.1 Результаты диплоптического лечения пациентов с рефракционноыми мультифокальными ИОЛ

Установлено, что в результате бинариметрии у пациентов с рефракционными мультифокальными ИОЛ произошло достоверное повышение остроты зрения вдаль - как монокулярно, так и бинокулярно (Таблица 46).

Таблица 46– Показатели деятельности зрительной системы у пациентов с псевдофакичными рефракционными мультифокальными ИОЛ до и после бинариметрии (M±σ)

Параметры	Артифакия с ИОЛ *M-Flex*		Критерий Вилкоксона, p
	До лечения (n=35)	После лечения (n=35)	
	1	2	
Монокулярная острота зрения вдаль без кор., ед.	0,83±0,13	0,88±0,11	$P_{1-2}<0,05$
Монокулярная острота зрения вблизи без кор., ед.	0,62±0,15	0,64±0,15	$P_{1-2}>0,05$
Бинокулярная острота зрения вдаль без кор., ед.	0,86±0,11	0,91±0,08	$P_{1-2}<0,05$
Бинокулярная острота зрения вблизи без кор., ед.	0,68±0,13	0,69±0,14	$P_{1-2}>0,05$
ПКЧ, 3 цикл/ угл.град., ед.	3,57±1,10	3,93±1,11	$P_{1-2}>0,05$
ПКЧ, 6 цикл/ угл.град., ед.	3,64±1,10	4,07±1,08	$P_{1-2}<0,05$

Продолжение Таблицы 46

Параметры	Артифакия с ИОЛ *M-Flex*		Критерий Вилкоксона, p
	До лечения (n=35)	После лечения (n=35)	
	1	2	
ПКЧ,9 цикл/ угл.град., ед.	3,71±1,02	4,44±1,10	$P_{1-2}<0,05$
ПКЧ, 18 цикл/ угл.град., ед.	3,86±0,77	4,44±1,11	$P_{1-2}<0,01$
КЧСМ, Гц	32,8±2,1	34,2±2,1	$P_{1-2}<0,05$
Амплитуда ЗВП, мкВ	33,21±12,49	34,05±11,53	$P_{1-2}>0,05$
Латентность ЗВП, мс	111,72±10,23	100,68±8,29	$P_{1-2}<0,01$
Амплитуда а-волны макс. ЭРГ, мкВ	134,3±35,7	136,3±25,7	$P_{1-2}>0,05$
Латентное время а-волны макс. ЭРГ, мс	17,43±5,3	14,5±3,7	$P_{1-2}<0,01$
Амплитуда в-волны макс. ЭРГ, мкВ	282,4±64,8	282,4±64,8	$P_{1-2}>0,05$
Латентное время в-волны макс.ЭРГ, мс	49,7±23,5	49,4±22,7	$P_{1-2}>0,05$
Ближний амплитуд. передел ФР, см	28,83±4,29	15,76±3,61	$P_{1-2}<0,001$
Дальний амплитуд. предел ФР, см	52,83±14,18	89,66±10,40	$P_{1-2}<0,001$
Длина фузионного поля, см	24,00±11,78	67,90±12,10	$P_{1-2}<0,001$
Амплитуд. предел ФР при конвергенции, 10^{-1} см	39,87±8,30	34,33±8,49	$P_{1-2}<0,05$
Амплитуд. предел ФР при дивергенции, 10^{-1} см	45,97±10,07	58,50±9,88	$P_{1-2}<0,01$

Продолжение Таблицы 46

Параметры	Артифакия с ИОЛ *M-Flex*		Критерий Вилкоксона, p
	До лечения (n=35)	После лечения (n=35)	
	1	2	
Ширина фузионного поля, 10^{-1} см	6,4±2,3	18,3±4,3	$P_{1-2}<0,001$
Площадь условного фузионного поля, $см^2$	35,2±5,4	162,5±11,4	$P_{1-2}<0,001$
Стереотест Ланга, угл. сек	650,6±216,4	875,3±233,3	$P_{1-2}<0,05$
Субъективная оценка качества зрения, суммарно, баллы	8,2±0,8	8,6±0,4	$P_{1-2}<0,05$

Также выявлено повышение пространственной контрастной чувствительности в диапазоне 6 цикл/угл.град ($p<0,05$), в диапазоне 9 цикл/угл.град ($p<0,05$), в диапазоне 18 цикл/угл.град ($p<0,01$), уменьшение латентности а- волны максимальной ЭРГ ($p<0,01$) и латентности ЗВП на вспышку ($p<0,01$).

Определено расширение пространственных границ фузионного поля за счет уменьшения ближнего предела фузионного рефлекса и предела фузии при конвергенции, увеличения дальнего предела фузионного рефлекса и предела при дивергенции, в результате чего площадь фузионного поля увеличилась более чем в четыре раза ($p<0,001$). У пациентов после бинариметрии определено повышение уровня восприятия стереоизображений ($p<0,05$).

При тестировании все пациенты субъективно отмечали улучшение качества зрения.

При проведении дискриминантного анализа была установлена модель дискриминации групп пациентов до и после диплоптического лечения с

высоким уровнем толерантности. Совокупности выявленных наиболее информативных признаков с высоким уровнем значимости по F-критерию представлены в Таблице 47.

На основании вычисления канонической величины проанализирован характер изменения параметров деятельности зрительной системы и их вклад в дискриминацию пациентов с мультифокальными рефракционными ИОЛ до и после диплоптического лечения. Уровень значимости дискриминации групп по мере Махалонобиса составил менее 0,001.

Таблица 47– Итоги многофакторного дискриминантного анализа состояния зрительных функций у пациентов с рефракционными мультифокальными ИОЛ до и после диплоптического лечения

Показатели, включенные в дискриминантные функции	F-критерий Фишера	p-уровень	Толерантность
Длина фузионного поля	150,80	0,001	0,9406
КЧСМ	7,09	0,01	0,9302
Латентность ЗВП	6,26	0,01	0,8903
Амплитудный предел ФР при дивергенции	4,58	0,05	0,7511
ПКЧ, частота 18 цикл/угл.град	4,43	0,05	0,7990
Мера Махалонобиса $\mathbf{D^2}$=12,075, p=0,001			

Уравнение канонической величины для характеристики состояния зрительной системы у пациентов группы 4.1. до и после диплоптического лечения выглядит следующим образом:

$$К_{1\text{-}2} = 0{,}1081 + 1{,}7492*X_1 - 0{,}4935*X_2 - 0{,}8933*X_3 - 0{,}6226*X_4 - 0{,}3771*X_5$$

Где:

X_1 – длина фузионного поля,

X_2 - КЧСМ

X_3 – латентность ЗВП

X_4 - амплитудный предел фузионного рефлекса при дивергенции,

X_5 - ПКЧ в диапазоне 18 цикл/град.

Видно, что совокупность нааиболее информативных признаков, характеризующая изменение зрительной системы в результате лечения, представлена характеристиками фузионного рефлекса, временных параметров деятельности зрительной системы, и контрастной чувствительностью на высоких частотах, свидетельствующей о «шуме дискретизации» зрительного изображения - по Шелепину Ю.Е.

Анализ процентного вклада каждого показателя в дискриминацию групп пациентов до и после диплоптического лечения позволил отразить в виде диаграммы роль физиологических процессов (Рисунок 42).

Таким образом, доказано, что в результате диплоптического лечения достигнуто достоверно иное состояние зрительной системы. Диплоптическое лечение оказало положительное воздействие на разрешающую способность глаза и уровень бинокулярного взаимодействия, а также улучшило показатели нейропроводимости и функциональной лабильности зрительной системы.

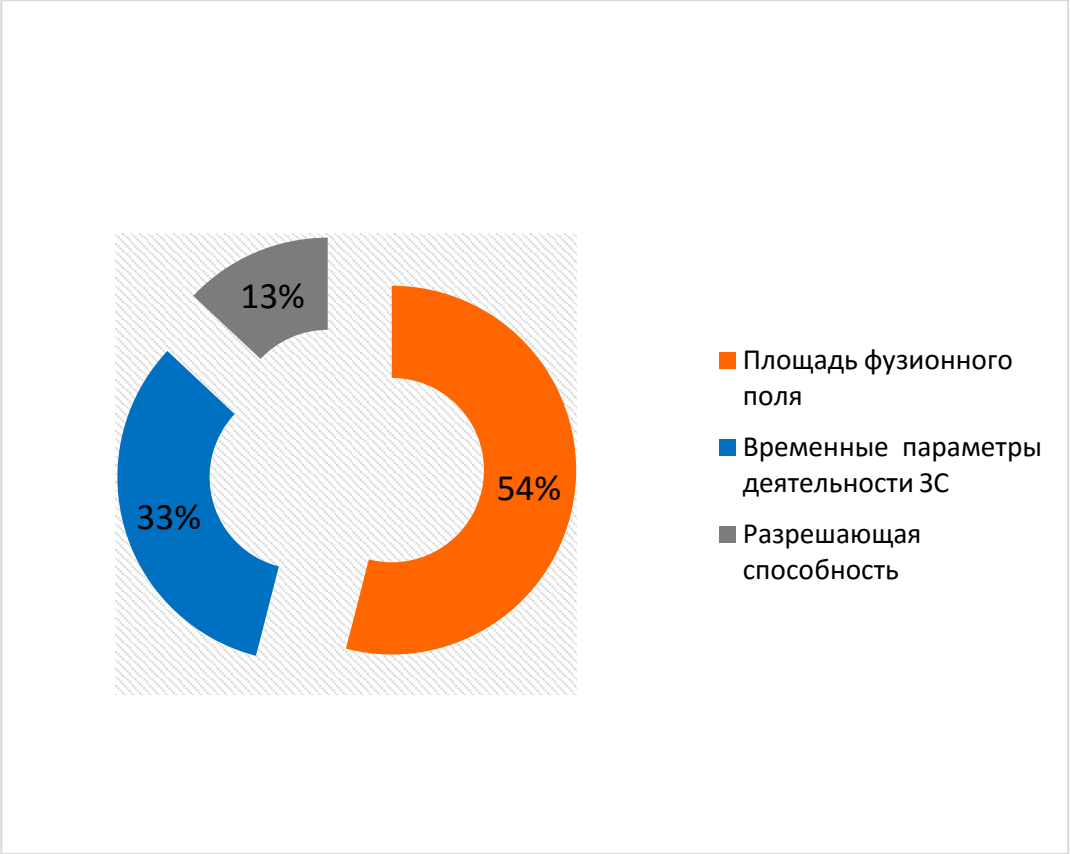

Рисунок 42 - Вклад физиологических характеристик в дискриминацию групп пациентов до и после диплоптического лечения

Из данных, представленных в Таблице 48 видно, что у пациентов пролеченных с помощью бинариметрии показатели бинокулярной остроты зрения, пространственной контрастной чувсвтительности в диапазоне частоты 18 цикл/угл.град, КЧСМ, пределов фузионного рефлекса, стереовосприятия являются достоверно выше, чем у пациентов без бинариметрии в послеоперационном периоде.

Таблица 48 – Зрительные функции у пациентов с пресбиопией через 6 месяцев после факоэмульсификации с имплантацией псевдофакичных рефракционных мультифокальных ИОЛ (M±σ)

Параметры	Без бинариметрии (n=25)	После бинариметрии (n=35)	Критерий Манна-Уитни, p
	1	2	
Бинокулярная острота зрения вдаль без кор., ед.	0,86±0,09	0,90±0,08	$P_{1-2}<0,05$
Бинокулярная острота зрения вблизи без кор., ед.	0,68±0,12	0,70±0,08	$P_{1-2}>0,05$
ПКЧ, 3 цикл/угл.град, ед.	3,58±1,04	3,95±1,41	$P_{1-2}>0,05$
ПКЧ, 6 цикл/угл.град, ед.	3,86±1,10	4,06±0,91	$P_{1-2}>0,05$
ПКЧ, 9 цикл/угл.град, ед.	3,99±1,02	4,34±0,92	$P_{1-2}>0,05$
ПКЧ, 18 цикл/угл.град, ед.	3,92±0,67	4,43±0,92	$P_{1-2}<0,01$
КЧСМ, Гц	32,15±2,06	34,06±1,92	$P_{1-2}<0,001$
Ближний амплитуд. передел ФР, см	22,5±4,3	16,5±4,1	$P_{1-2}<0,001$
Дальний амплитуд. предел ФР, см	57,8±11,2	92,7±9,7	$P_{1-2}<0,001$
Амплитуд. предел ФР при конвергенции, 10^{-1} см	39,0±15,8	34,0±7,5	$P_{1-2}<0,05$
Амплитуд. предел ФР при дивергенции, 10^{-1} см	55,2±8,3	58,0±9,2	$P_{1-2}<0,05$
Площадь условного фузионного поля, $см^2$	70,9±10,1	160,5±75,2	$P_{1-2}<0,001$
Стереотест Ланга, угл. сек	645,5±202,1	875,3,3±233,3	$P_{1-2}<0,05$

Для иллюстрации результатов лечения приводим следующий клинический пример.

Клинический пример

Пациент Е., 58 лет. Работает автослесарем. Обратился с жалобами на низкое зрение обоих глаз и трудности при профессиональной деятельности. При биомикроскопии установлено, что в заднекортикальных слоях хрусталика имеются начальные помутнения. Патологии глазного дна не выявлено.

Биометрия: ПЗО OD/ OS: 22, 31 мм; 22,22 мм.

ЭФИ (ПЭЧ/лабильность/КЧСМ):

OD: 100/38/36; OS: 90/40/40.

Данные визометрии:

Острота зрения вдаль:

OD= 0,3 с Sph +3,0D = 0,7.

OS= 0,3 с Sph +3,0D = 0,7.

OU без коррекции =0,4

Острота зрения вблизи:

OD= 0,2 с Sph +5,75D = 0,7.

OS= 0,2 с Sph +5,75D = 0,7.

OU без коррекции =0,3

ВГД OD / OS: 18/18 мм рт.ст.

Пространственная контрастная чувствительность:

OD – частоты 3/6/9/18 цикл/угл.град: 4/5/4/3 отн.ед.;

OS – частоты 3/6/9/18 цикл/угл.град: 4/5/4/3 отн.ед.

При оценке фузионного рефлекса в условиях свободной гаплоскопии установлено заплоскостное слияние двойных изображений. Амплитудные пределы фузионного поля составили: при приближении – 28 см, при отдалении -35 см, при конвергенции – 50 мм, при дивергенции – 54 мм. Площадь фузионного поля = 2,8 $см^2$. Стереотест Ланга – 1200 сек.

Пациенту была выполнена факоэмульсификация с имплантацией рефракционной мультифокальной ИОЛ (M-flex 630 F 20,5 Дптр с прибавкой для близи +3 Дптр) на оба глаза.

В раннем послеоперационном периоде отмечено улучшение остроты зрения вдаль до 0,9 на каждый глаз.

Острота зрения OU вдаль = 0,9, вблизи = 0,7.

Контрастная чувствительность:

OD частоты 3/6/9/18 цикл/угл.град: 3/4/4/3 ед.

OS частоты 3/6/9/18 цикл/угл.град: 3/4/4/3 ед.

Но, несмотря на высокие зрительные функции, пациент испытывал определенный дискомфорт при работе вблизи, так как ему было необходимо определенное время для выбора оптимального рабочего расстояния и «настройки зрения». Также пациент обращал внимание на наличие «гало» (светящихся кругов) в вечернее время вокруг источников света.

Через 3 месяца после операции зрительные функции оставались на высоком уровне: дискомфорт при работе вблизи уменьшился, но пациенту все также требовалось время для настройки на резкость близко расположенных предметов.

Острота зрения вдаль:

OD = 0,9 не кор., OS= 0,9 не кор., OU = 1,0,

Острота зрения вблизи:

OD= 0,7 не кор., OS = 0,6 не кор., OU = 0,7 не кор.

ВГД OD / OS: 18/18 мм рт.ст.

Пространственная контрастная чувствительность:

OD частоты 3/6/9/18 цикл/угл.град: 3/4/4/4 ед.

OS частоты 3/6/9/18 цикл/угл.град: 4/4/4/4 ед.

Однако пациент предъявлял жалобы на дискомфорт при работе вблизи и на необходимость определенного времени для настройки на резкость близко расположенных предметов.

Был проведен курс диплоптического лечения по предложенной методике. На первом занятии проводилась активизация физиологического двоения с призматическими линейками. Далее проводились ежедневные занятия с тестами. По мере улучшения фузионной способности паттерны предъявляемых тестов усложнялись. По окончании курса лечения пределы фузионного рефлекса были следующими: при приближении – 22 см, при отдалении - 60 см, при конвергенции – 46 мм, при дивергенции – 54 мм. Площадь фузионного поля составила 53 $см^2$. Стереотест Ланга 1200 сек.

По окончании лечения острота зрения вдаль составила :

OD = 1,0; OS = 1,0; OU = 1,0.

Острота зрения вблизи:

OD= 0,7; OS=0,7; OU=0,8.

ВГД OD / OS: 18/18 мм рт.ст.

Пространственная контрастная чувствительность:

OD частоты 3/6/9/18 цикл/угл.град: 4/4/4/4 ед.

OS частоты 3/6/9/18 цикл/угл.град: 4/5/4/5 ед.

Субъективно пациент отметил значительное улучшение качества зрения, ему стало легче работать на различных расстояниях и выполнять профессиональные обязанности, уменьшилось значимость феномена «гало».

Через 6 месяцев у пациента зрительные функции сохранялись на достигнутом уровне.

6.2.2 Результаты диплоптического лечения пациентов с дифракционно-рефракционными мультифокальными ИОЛ

Далее были проанализированы результаты проведение диплоптического лечения у пациентов с дифракционно-рефракционными мультифокальными аподизированными ИОЛ. Результаты сравнительного анализа показателей зрительного восприятия до и после бинариметрии представлены в Таблице 49.

Таблица 49 – Показатели деятельности зрительной системы у пациентов дифракционно-рефракционными мультифокальными ИОЛ до и после бинариметрии (M±σ)

Параметры	Артифакия с ИОЛ *AcrySof ReSTOR*		Критерий Вилкоксона, p
	До лечения (n=26)	После лечения (n=26)	
	1	2	
Монокулярная острота зрения вдаль без кор.,ед.	0,84±0,11	0,86±0,09	$P_{1-2}>0,05$
Монокулярная острота зрения вблизи без кор.,ед.	0,68±0,12	0,71±0,12	$P_{1-2}>0,05$
Бинокулярная острота зрения вдаль без кор., ед.	0,86±0,11	0,90±0,10	$P_{1-2}<0,05$
Бинокулярная острота зрения вблизи без кор., ед.	0,75±0,09	0,79±0,09	$P_{1-2}<0,05$
ПКЧ, 3 цикл/ угл.град., ед.	3,96±1,10	4,00±0,53	$P_{1-2}>0,05$
ПКЧ, 6 цикл/ угл.град., ед.	4,30±1,10	4,46±0,57	$P_{1-2}>0,05$

Продолжение Таблицы 49

Параметры	Артифакия с ИОЛ *AcrySof ReSTOR*		Критерий Вилкоксона, p
	До лечения (n=26)	После лечения (n=26)	
	1	2	
ПКЧ,9 цикл/ угл.град., ед.	4,46±1,10	4,47±0,51	$P_{1-2}>0,05$
ПКЧ, 18 цикл/ угл.град., ед.	3,90±0,66	4,17±0,53	$P_{1-2}<0,05$
КЧСМ, Гц	32,2±1,6	33,8±1,5	$P_{1-2}<0,001$
Амплитуда а-волны макс. ЭРГ, мкВ	127,3±25,7	139,3±24,6	$P_{1-2}>0,05$
Латентное время а-волны макс. ЭРГ, мс	21, 2±5,7	23,2±8,4	$P_{1-2}>0,05$
Амплитуда в-волны макс. ЭРГ, мкВ	298,4±56,7	295,3±64,8	$P_{1-2}>0,05$
Латентное время в-волны макс.ЭРГ, мс	57,8±22,6	49,7±27,4	$P_{1-2}<0,05$
Ближний амплитуд. предел ФР, см	32,16±8,31	28,36±5,65	$P_{1-2}<0,01$
Дальний амплитуд. предел ФР, см	52,73±9,84	68,40±8,11	$P_{1-2}<0,001$
Длина фузионного поля, см	20,6±2,2	43,6±5,1	$P_{1-2}<0,001$
Амплитуд. предел ФР при конвергенции, 10^{-1} см	41,47±4,72	36,87±4,09	$P_{1-2}<0,01$

Продолжение Таблицы 49

Параметры	Артифакия с ИОЛ *AcrySof ReSTOR*		Критерий Вилкоксона, p
	До лечения (n=26)	После лечения (n=26)	
	1	2	
Амплитуд. предел ФР при дивергенции, 10^{-1} см	59,27±5,05	62,73±4,48	$P_{1-2}<0,05$
Ширина фузионного поля, 10^{-1} см	18,3±5,2	26,6±2,2	$P_{1-2}<0,001$
Площадь условного фузионного поля, $см^2$	48,5±4,3	105,4±10,2	$P_{1-2}<0,001$
Стереотест Ланга, угл. сек	725,0±216,0	850,5±202,1	$P_{1-2}<0,01$
Субъективная оценка качества зрения, баллы	8,4±1,3	8,9±1,3	$P_{1-2}<0,05$

Видно, что в результате лечения достигнуто повышение бинокулярной остроты зрения вдаль ($p<0,05$) и вблизи ($p<0,05$), улучшение контрастной чувствительности в диапазоне пространственной частоты 18 цикл/угл.град ($p<0,05$), повышение КЧСМ ($p<0,001$), уменьшение латентного времени в-волны максимальной ЭРГ ($p<0,05$).

Со стороны бинокулярного взаимодействия выявлено увеличение пространственных границ поля, в пределах которого возможно слияние двойных изображений. При этом достоверно уменьшились ближний предел фузионного рефлекса и предел фузии при конвергенции, увеличился дальний предел фузионного рефлекса. Количественная оценка площади фузионного

поля показала ее увеличение более чем в четыре раза ($p<0,001$). В результате лечения достоверно повысились уровень стереовосприятия ($p<0,01$) и субъективная оценка качества зрения ($p<0,05$).

При проведении дискриминатного анализа установлена совокупность наиболее информативных показателей, отражающих изменение состояния зрительной системы у пациентов данной группы по окончании диплоптического лечения. К ним относятся: ширина фузионного поля. КЧСМ и латентное время в-волны максимальной ЭРГ. Показатели качества выполненного дискриминантного анализа представлены в Таблице 50.

Уравнение канонической величины для характеристики состояния зрительной системы у пациентов группы 4.2. выглядит следующим образом:

$$\mathbf{K_{1\text{-}2} = -0,1595 + 1,6929*X_1 - 0,5619*X_2 + 0,3338*X_3}$$

Где:

X_1 – ширина фузионного поля,

X_2 - КЧСМ,

X_3 – латентность в-волны максимальной ЭРГ.

Установлено, что в совокупность наиболее информативных признаков, отражающую изменение зрительной системы, входят ширина фузионного поля, КЧСМ и латентность в-волны максимальной ЭРГ. Процентный вклад физиологических показателей в дискриминацию групп пациентов до и после диплоптического лечения отражен в виде диаграммы (Рисунок 43).

Таблица 50 – Итоги многофакторного дискриминантного анализа состояния зрительных функций у пациентов с дифракционно-рефракционными мультифокальными ИОЛ до и после диплоптического лечения

Показатели, включенные в дискриминантные функции	F-критерий Фишера	p-уровень	Толерантность
Длина условного фузионного поля	67,78	0,0001	0,61897
КЧСМ	5,70	0,02	0,9343
Латентное время В-волны максимальной ЭРГ	4,69	0,03	0,9187
Мера Махаланобиса $\mathbf{D^2}$=39,65, p=0,0001			

.

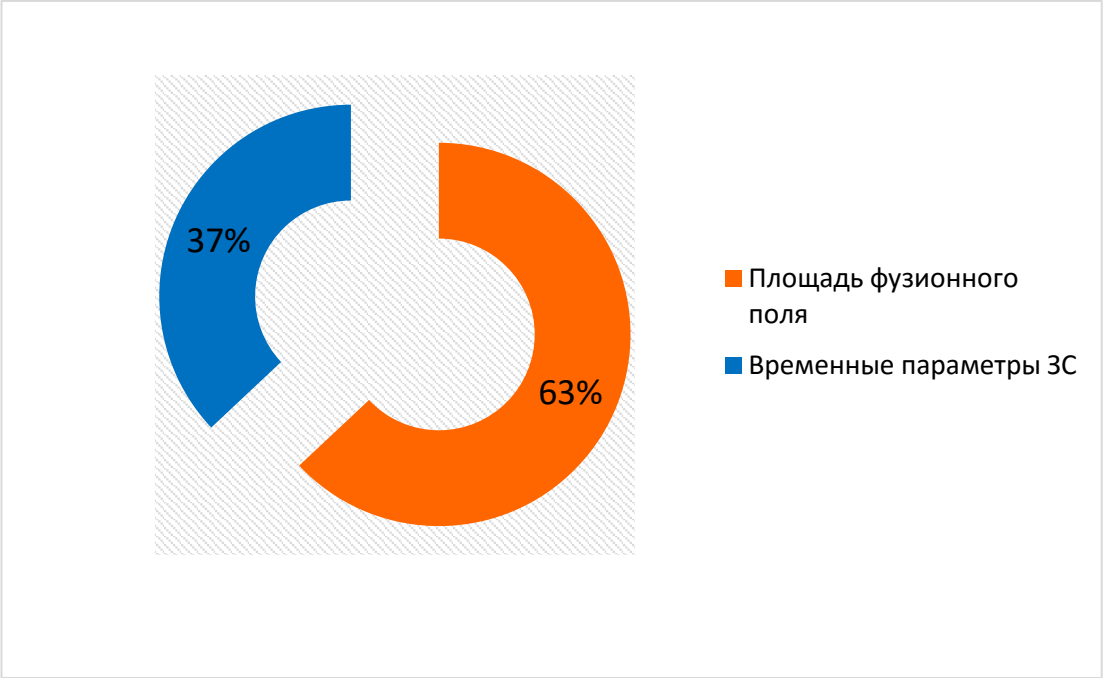

Рисунок 43 - Вклад физиологических характеристик в дискриминацию групп пациентов до и после диплоптического лечения

На основании результатов сравнительного и дискриминантного анализов, выявлено, что итогом диплоптического лечения у пациентов с дифракционно-рефракционными мультифокальными ИОЛ стало повышение разрешающей способности глаза, снижение проявлений признаков «утомления» зрительной системы, улучшение бинокулярного взаимодействия.

При анализе основных зрительных функций у пациентов через 6 месяцев имплантации дифракционно-рефракционных мультифокальных ИОЛ и через 3 месяца после диплоптического лечения, в сравнении с показателями сенсорной рецепции у пациентов с мультифокальными ИОЛ, находившихся под наблюдением, но не проходивших дополнительного диплоптического лечения, установлено следующее.

При комбинации хирургического лечения с последующим лечением на бинариметре достигнуто значимое повышение остроты зрения вдаль, показатели контрастной чувствительности в диапазоне пространственных частот 6 и 18 цикл/град, КЧСМ, показателей фузионной способности, стереозрения в сравнении с аналогичеными показателями у пациентов без дополнительных лечебных мероприятий (Таблица 51).

Таблица 51 – Зрительные функции у пациентов с пресбиопией через 6 месяцев после факоэмульсификации с имплантацией псевдофакичных мультифокальных ИОЛ (M±σ)

Параметры	Без бинариметрии (n=34)	После бинариметрии (n=26)	Критерий Манна-Уитни, p
	1	2	
Бинокулярная острота зрения вблизи без кор., ед.	0,75±0,12	0,78±0,11	$P_{1-2}>0,05$
Бинокулярная острота зрения вдаль без кор. ед.	0,86±0,08	0,90±0,09	$P_{1-2}<0,05$
ПКЧ, 3 цикл/град, ед.	3,93±0,95	4,05±0,99	$P_{1-2}>0,05$
ПКЧ, 6 цикл/град, ед.	3,89±1,03	4,50±1,01	$P_{1-2}<0,01$
ПКЧ, 9 цикл/град, ед.	4,02±0,95	4,44±1,05	$P_{1-2}>0,05$
ПКЧ, 18 цикл/град, ед.	3,99±0,83	4,61±0,54	$P_{1-2}<0,01$
КЧСМ, Гц	31,05±1,89	33,76±1,52	$P_{1-2}<0,001$
Ближний амплитуд. предел ФР, см	33,2±7,3	26,4±5,6	$P_{1-2}<0,001$
Дальний амплитуд. предел ФР, см	54,7±7,2	72,4±8,1	$P_{1-2}<0,001$
Амплитуд. предел ФР при конвергенции, 10^{-1} см	40,2±5,6	36,8±4,1	$P_{1-2}<0,01$
Амплитуд. предел ФР при дивергенции, 10^{-1} см	59,6±5,1	63,2±4,5	$P_{1-2}<0,01$

Продолжение Таблицы 51

Параметры	Без бинариметрии (n=34)	После бинариметрии (n=26)	Критерий Манна-Уитни, p
	1	2	
Площадь условного фузионного поля, $см^2$	44,3±12,7	112,4±20,2	$P_{1-2}<0,001$
Стереотест Ланга, угл. сек	750,6±206,1	850,2±205,1	$P_{1-2}<0,05$

Клинический пример

Пациентка Б., 52 лет., работник химического предприятия, предъявляет жалобы на низкое зрение вблизи. По роду своей профессиональной деятельности пациентка работает с компьютером и периодически в противогазе (в это время не имеет возможности пользоваться дополнительной оптической коррекций для близи). При биомикроскопии установлены начальные лентикулярные помутнения, патологии глазного дна не выявлено.

Биометрия: ПЗО OD/ OS: 23, 52 мм; 23,51 мм.

ЭФИ (ПЭЧ/лабильность/КЧСМ):

OD: 90/40/33; OS: 90/40/32.

Данные визометрии:

Острота зрения вдаль:

OD= 0,7 н/к.

OS= 0,7 н/к.

OU без коррекции =0,75 н/к.

Острота зрения вблизи:

OD= 0,3 с Sph +2,0 D = 0,7.

OS= 0,3 с Sph +2,0 D = 0,7.

OU без коррекции =0,4.

ВГД OD / OS: 20/20 мм рт.ст.

Пространственная контрастная чувствительность:

OD – частоты 3/6/9/18 цикл/град: 3/4/4/3 отн.ед.;

OS – частоты 3/6/9/18 цикл/град: 3/4/5/4 отн.ед.

При оценке фузионного рефлекса в условиях свободной гаплоскопии установлено заплоскостное слияние двойных изображений. Амплитудные пределы фузионного поля составили: при приближении – 40 см, при отдалении -45 см, при конвергенции – 56 мм, при дивергенции – 60 мм. Площадь фузионного поля = 2,0 $см^2$. Стереотест Ланга – 650 уг.сек.

Пациентка была прооперирована на оба глаза - была выполнена факоэмульсификация катаракты с имплантацией ИОЛ *AcrySof ReSTOR SN6AD1* (с прибавкой для близи +3 Дптр). Сначала был прооперирован правый глаз, через неделю была выполнена операция на левом глазу.

Через 1 день после операции острота зрения OD без коррекции была 0,9, OS - 0,9. Бинокулярная острота зрение вдаль 0,95. Зрение вблизи монокулярно на оба глаза было 0,55, бинокулярно 0,75.

Через 3 месяца после операции при контрольном осмотре функции зрительной системы оставались на высоком уровне:

Острота зрения вдаль: OD = 0,9; OS =1,0; OU = 1,0.

Острота зрения вблизи OD=OS= 0,7; OU = 0,85.

Пространственная контрастная чувствительность:

OD – частоты 3/6/9/18 цикл/град: 3/5/5/3 отн.ед.;

OS – частоты 3/6/9/18 цикл/град: 3/5/5/4 отн.ед.

ВГД OD / OS: 20/20 мм рт.ст.

Однако пациентка предъявляла жалобы на неустойчивое зрение вблизи, отмечала быструю зрительную утомляемость при работе в противогазе с инструментами и текстовыми материалами. Периодически пациентка отмечала невозможность слияния близко расположенных и мелко детализированных объектов, хотя субъективно наблюдаемые объекты находились в одном месте.

При исследовании бинокулярного взаимодействия амплитудные пределы фузионного поля сохранялись на прежнем уровне: при приближении – 40 см, при отдалении - 45 см, при конвергенции – 56 мм, при дивергенции – 60 мм. Площадь фузионного поля = 2,0 $см^2$. Стереотест Ланга – 650 сек.

Пациентке был проведен курс лечения по предложенной методике. По окончании курса лечения амплитудные пределы фузионного поля увеличились: при приближении – 26 см, при отдалении - 70 см, при конвергенции – 50 мм, при дивергенции – 62 мм. Площадь фузионного поля = 35,2 $см^2$. Стереотест Ланга – 1200 уг.сек.

Острота зрения вдаль: OD = 0,9; OS =1,0; OU = 1,0.

Острота зрения вблизи OD=OS= 0,7; OU = 0,85.

Пространственная контрастная чувствительность:

OD – частоты 3/6/9/18 цикл/град: 3/5/5/4 отн.ед.;

OS – частоты 3/6/9/18 цикл/град: 4/5/5/5 отн.ед.

ВГД OD / OS: 20/20 мм рт.ст.

Субъективно, уже на второй день после начала лечения пациентка отметила значительное улучшение зрения вблизи, особенно при работе с компьютером (4 часа сидела в интернете и печатала в текстовом редакторе). После окончания курса лечения пациентка отмечала значительное улучшение при работе вблизи.

Через 6 месяцев у пациентки сохранялись высокие зрительные функции, пациентка была полностью удовлетворена полученным зрением.

Таким образом, в результате диплоптического лечения пациентов с пресбиопией после интраокулярной оптической коррекции с помощью имплантации псевдофакичных мультифокальными ИОЛ достигнуто принципиально иное состояние зрительной системы, что выражается более высокой разрешающей способностью глаза, снижением проявлений признаков «утомления» зрительной системы, улучшениме бинокулярного взаимодействия. Это служит дополнительным аргументом в пользу имеющейся дизрегуляции процессов зрительного восприятия у пациентов с пресбиопией, выявленной ранее. Принимая во внимание, что бинокулярное взаимодействие является высшей зрительной функцией, то совершенно очевидно, что побуждение зрительного анализатора к выполнению более высоких задач ведет к активации всех механизмов деятельности зрительной системы и достижению согласованной деятельности зрительной системы на более высоком оптимальном уровне.

Результаты исследования доказывают клиническую эффективность предложенного подхода к лечению, и определяют необходимость включения в комплекс лечебных мероприятий при пресбиопии методов, направленных на восстановление бинокулярных функций. Именно при последовательном подходе к коррекции аккомодационных, бинокулярных нарушений у пациентов с пресбиопией возможно достижение гармоничного взаимодействия всех факторов, отвечающих за получение качественного зрительного образа.

Разработанные принципы лечения пресбиопии, включающие замену нативного хрусталика на мультифокальную ИОЛ и последующий курс диплоптического лечения, являются патогенетически обоснованным, эффективным подходом к коррекции зрительных нарушений и позволяют достичь высокого качества зрения.

6.3. Критерии отбора пациентов на мультифокальную оптическую коррекцию с учетом состояния бинокулярного взаимодействия (практические рекомендации)

Выявленная ранее взаимосвязь между состоянием диспаратной фузии и остротой зрения вблизи может отражать уровень приспособления центрального анализатора к вновь созданной бифокальной оптической системе, не имеющей физиологических аналогов. Взаимосвязь между бинокулярной остротой зрения вблизи с показателями диспаратной фузии может отражать процессы соперничества между монокулярными и бинокулярными образами, являющимся генеральным механизмом разрешения зрительной информационной неоднозначности.

Именно поэтому для повышения качества зрения и исключения неудовлетворенности пациентов полученным зрением при имплантации мультифокальных ИОЛ важно более четко проводить отбор пациентов с учетом индивидуальных параметров бинокулярного взаимодействия.

Исходя из результатов обследования и результатов лечения пациентов, а также данных корреляционного анализа (Таблица 52) основными параметрами для прогнозирования получения высокого качества зрения являются:

- ближний предел фузионного рефлекса,
- длина фузионного поля,
- площадь фузионного поля.

Таблица 52- Результаты корреляционного анализа по Пирсону параметров фузионного рефлекса с бинокулярной остротой зрения вблизи и качеством зрения у пациентов с мультифокальными ИОЛ

Признак	Артифакия с ИОЛ *M-Flex*		Артифакия с ИОЛ *AcrySof ReSTOR*	
	Коэффициент корреляции	Достоверность	Коэффициент корреляции	Достоверность
С бинокулярной остротой зрения вблизи				
Ближний амплитудный предел ФР, см	r= -0,35;	p= 0,007	r= -0,32;	p= 0,01
Площадь фузионного поля, $см^2$	r= 0,89;	p= 0,0001	r= 0,35;	p= 0,01
С субъективной оценкой качества зрения				
Длина фузионного поля, см	r= 0,76;	p= 0,0001	r= 0,65;	p= 0,0001
Площадь фузионного поля, $см^2$	r= 0,81;	p= 0,0001	r= 0,67;	p= 0,0001

Наиболее предпочтительным для применения в клинической практике является оценка способности к слиянию двойных изображений в условиях физиологического двоения. Критическими для прогнозирования удовлетворительного функционального результата при мультифокальной интраокулярной коррекции является отсутствие физиологического двоения и

слияния двойных изображений вблизи (на расстоянии до 40 см от глаз пациента), площадь фузионного поля менее 30 $см^2$.

Таким образом, разработаны практические рекомендации по отбору пациентов на мультифокальную оптическую коррекцию с учетом состояния бинокулярного взаимодействия.

Представленные в этой главе данные раскрывают последовательность и результаты разработки и внедрения патогенетически ориентированных принципов коррекции пресбиопии с помощью интраокулярной оптической коррекции и диплоптического лечения с учетом выявленных изменений в системе бинокулярного зрительного восприятия.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Согласно Международной классификации болезней (МКБ-10), пресбиопия относится к классу нарушений рефракции и аккомодации (Н 52.4) и представляет собой постепенное, естественное, обусловленное возрастом, необратимое снижение аккомодационной способности глаза, которое выражается в медленно прогрессирующем ухудшении остроты зрения при работе на близком расстоянии. Решение проблемы адекватной коррекции пресбиопии может стать значимым вкладом в сохранение активности и полноценной жизни лиц пожилого возраста.

Анализ отечественной и зарубежной литературы продемонстрировал отсутствие системного подхода к изучению механизмов формирования пресбиопии и ее коррекции.

Современные методы оптической коррекции пресбиопии основаны на принципах моновидения, мультифокальности и увеличения глубины резкости, однако следует отметить, что ни одна из этих моделей не является универсальной и до конца разработанной.

Модель моновидения сопряжена с ухудшением стереозрения, нарушением восприятия в зоне Панума, а также риском неполного формирования функциональной скотомы подавления и развития (в 20% случаев) синдрома монофиксации. Эффективность мультифокальной коррекции пресбиопии зависит от феномена подавления одного из сформированных зрительных образов при четкой визуализации другого (монокулярного соперничества) и требует определенного периода нейроадаптации для получения качественного зрительного изображения в условиях новой оптической системы, не имеющей физиологических аналогов.

При этом, вне зависимости от модели мультифокальной ИОЛ всегда есть доля пациентов, предъявляющих после их имплантации жалобы на

зрительную дисфотопсию и неудовлетворенность полученным зрением, что требует эксплантации ИОЛ. По данным различных авторов эксплантация мультифокальных ИОЛ составляет от 3 до 10%. Именно поэтому ключевым методом в коррекции пресбиопии остается метод проб и ошибок.

Вместе с тем высказана визиодинамическая теория формирования пресбиопии, согласно которой пресбиопия является «старческой болезнью», затрагивающей все уровни зрительного анализатора. Исходя из теории функциональных систем, выпадение какого-либо функционального компонента в деятельности организма сопровождается мерами по его компенсации или адаптации к дефициту. Снижение аккомодационного ответа, лежащего в основе развития пресбиопии, неизбежно должно сопровождаться нарушением баланса между компонентами, синкинетически решающими задачи ретинального дефокуса, приближения зрительного объекта, освещенности сетчатки, ретинальной диспаратности, вергентной адаптации. Именно поэтому рассматривать пресбиопию как результат лишь интраокулярных изменений является неправомочным.

Отсутствие системного подхода к изучению пресбиопии, неизученность многих ключевых механизмов патогенеза пресбиопии в различных рефракционных условиях, отсутствие понимания адаптационных механизмов поддержания стабильности зрительного образа в условиях снижения аккомодации явились потенциальными причинами и послужили основанием для постановки цели данного исследовнаия - раскрыть механизмы формирования пресбиопии и на этой основе обосновать патогенетически ориентированную систему интраокулярной оптической коррекции при пресбиопии.

Работа состояла из нескольких этапов, выполнение которых было направлено на решение поставленных задач.

На первом этапе было 80 человек без пресбиопии в возрасте от 18 до 27 лет, разделенных в зависимости от вида рефракции. На следующем этапе было обследовано 90 человек с пресбиопией в возрасте от 45 до 55 лет с аналогичными критериями отбора, разделенных в зависимости от вида рефракции.

На третьем этапе было обследовано 184 пациента с пресбиопией и начальными лентикулярными помутнениями до и после хирургического лечения. Всем пациентам проведена двухсторонняя факоэмульсификация с имплантацией ИОЛ. В зависимости от принципа коррекции пресбиопии пациенты были разделены на следующие группы: с асимметричной билатеральной имплантацией монофокальных асферических ИОЛ (AcrySof IQ SN60WF) по принципу моновидения, с разницей в целевой рефракции на ведущем и ведомом глазу в 1 дптр; с симметричной имплантацией рефракционных мультифокальных асферических ИОЛ (Rayner M-flex 630 F); с симметричной имплантацией дифракционно-рефракционных мультифокальных аподизированных асферических ИОЛ (AcrySof ReSTOR SN6AD3).

На четвертом этапе 61 пациентам (35 пациентам с рефракционными мультифокальными ИОЛ и 26 пациентам с дифракционно-рефракционными мультифокальными ИОЛ) было проведено диплоптическое лечение с помощью прибора «АВИЗ-01» (бинариметра) по разработанному методу.

Обследование пациентов проводилось стандартизированно, с применением высокотехнологичных методов, направленных на оценку анатомических и оптических параметров глаза, как в покое, так и при аккомодационной нагрузке, а также показателей сенсорной деятельности зрительной системы.

На первом этапе работы было проанализировано изменение структурного состояния глаза, при этом особое внимание было уделено

состоянию структур, непосредственно участвующих в аккомодационном ответе, а также тех структурно-функциональных параметров глаза, что с ним взаимосвязаны. Было выявлено, что при формировании пресбиопии происходит увеличение размеров хрусталика сопровождается сдвигом иридо-хрусталиковой диафрагмы кпереди, изменением перилентикулярных структур. При этом характер изменений иридо-хрусталиковых взаимоотношений, так же, как изменений компонентов оптической системы при развитии пресбиопии у пациентов с различными видами рефракции различается.

Формирование пресбиопии у пациентов с эмметропической рефракцией характеризуется не только увеличением передне-заднего размера хрусталика (с 3,73±0,23 до 4,41±0,21 мм, $p<0,001$), повышением коэффициента световой трансмиссии (в нуклеарной зоне с 15,5±1,2 до 26,6±3,4 %, $p<0,001$, в кортикальной зоне с 9,1±0,9 до 10,8±1,3 %, $p<0,001$), но и уменьшением толщины цилиарного тела (с 0,82±0,10 до 0,63±0,11 мм, $p<0,001$)с уплощением угла внутренней вершины (с 105,2±2,3 до 100,1±2,6 град, $p<0,05$), увеличением расстояния между трабекулой и короной цилиарного тела (с 0,79±0,10 до 1,02±0,11 мм, $p<0,001$). При формировании пресбиопии у пациентов с эмметропией появляется асимметрия со стороны толщины цилиарного тела и длины передней порции цинновой связки в различных квадрантах.

Для пациентов с миопией формирование пресбиопии характеризуется увеличением передне-заднего размера хрусталика (с 3,61±0,19 до 4,23±0,29 мм, $p<0,001$), повышением коэффициента световой трансмиссии (в нуклеарной зоне с 14,7±1,1 до 25,5±3,7 %, $p<0,001$, в кортикальной зоне с 9,2±0,7 до 10,8±1,3 %, $p<0,001$), уменьшением толщины цилиарного тела (с 0,87±0,38 до 11,1±1,4 мм, $p<0,001$), сдвигом вершины цилиарного тела кзади, увеличением расстояния между трабекулой и короной цилиарного тела (с

1,14±0,38 до 1,34±0,16 мм, p<0,001), усилением исходной интраокулярной асимметрии.

Развитие пресбиопии на глазах с гиперметропией характеризуется увеличением передне-заднего размера хрусталика (с 3,72±0,30 до 4,30±0,34 мм, p<0,001), повышением коэффициента световой трансмиссии (в нуклеарной зоне с 16,5±1,1 до 27,2±3,6 %, p<0,001, в кортикальной зоне с 9,6±0,7 до 10,7±1,4 %, p<0,001), гипертрофией передней порции цилиарной мышцы, о чем говорит увеличение толщины цилиарного тела в области внутренней вершины (с 1,21±0,30 до 1,32±0,20 мм, p<0,05), в сочетании с уменьшением угла внутренней вершины цилиарного тела (96,4±5,2 до 89,2±4,3 град, p<0,001). У пациентов с пресбиопией и гиперметропией установлено увеличение исходной интраокулярной асимметрии со стороны толщины цилиарного тела и длины передней порции цинновой связки в различных квадрантах.

Было установлено, что величина аккомодациии при развитии пресбиопии обратно пропорциональна величине передне-заднего размера хрусталика. При том выявлено, что у пациентов с эмметропической рефракцией теснота взааимозависимости между толщиной хрусталика и величиной аккомодации является более высокой (коэффициент детерминации $\boldsymbol{R^2}$= 0,84; p=0,001), чем у пациентов с миопией и гиперметропией.

При анализе характера изменения цилиарной мышцы в ходе развития пресбиопии установлена достоверная зависимость толщины цилиарной мышцы в проекции внутренней вершины цилиарного тела от объема абсолютной аккомодации у пациентов с эмметропией (коэффициент детерминации $\boldsymbol{R^2}$= 0,30; p=0,001), а также у пациентов с миопической рефракцией (коэффициент детерминации $\boldsymbol{R^2}$= 0,26; p=0,004).

При формировании пресбиопии было установлено статистически достоверное увеличение офтальмотонуса: у пациентов с эмметропией с

17,32±1,08 мм рт.ст. до 18,65±0,96 мм рт.ст. ($p< 0,01$), у пациентов с миопией - с 17,12±0,82 мм рт.ст. до 18,63±0,87 мм рт.ст. ($p<0,01$), у пациентов с гиперметропией - с 17,10±0,97 мм рт.ст. до 19,17±1,02 $p<0,01$). Во всех случаях показатели ВГД были в пределах физиологической нормы. Выявлена достоверная зависимость между величиной аккомодации и уровнем истинного ВГД, наиболее прочная у пациентов с эмметропией. Полученные результаты подтверждают наличие взаимоотношений между аккомодационной способностью, и гидродинамикой глаза.

При анализе оптических аберраций установлено, что формирование пресбиопии характеризуется увеличением суммарного числа интраокулярных (при диаметре зрачка 3 мм с 0,13± 0,01 до 0,17± 0,02 мкм, $p<0,001$), суммарного числа корнеальных оптических аберраций (в центральной зоне 6 мм с 0,37±0,17 до 0,48±0,14 мкм, $p<0,001$), увеличением коэффициента Цернике корнеальной сферической аберрации четвертого порядка Z_4^0 (с 0,17±0,05 до 0,23±0,06 мкм, $p<0,001$), а также снижением способности хрусталика компенсировать корнеальные аберрации.

При анализе оптических аберраций при формировании пресбиопии у пациентов с миопией также установлена тенденция к увеличению среднеквадратичного отклонения волнового фронта глаза (при диаметре зрачка 3 мм с 0,13± 0,01 до 0,19±0,01 мкм, $p<0,001$). У пациентов с миопической рефракцией при формировании пресбиопии, также как у пациентов с эмметропией, отмечается значимый прирост суммарного числа корнеальных оптических аберраций. При этом выявлено увеличение коэффициента Цернике не только сферической аберрации Z_4^0 (с 0,16±0,05 до 0,21±0,06 мкм, $p<0,001$), но и уменьшение горизонтальной комы Z_3^1 (с 0,03±0,01 до -0,03±0,01мкм, $p<0,001$),

При формировании пресбиопии у пациентов с гиперметропией выявлено высоко достоверное увеличение среднеквадратичного отклонения волнового

фронта глаза (при диаметре зрачка 3 мм с 0,15± 0,01 до 0,23±0,01 мкм, p<0,001), тогда как достоверного прироста со стороны оптических аберраций роговицы не отмечено.

При проведении регрессионного анализа установлена достоверная зависимость между показателями RMS total и объемом абсолютной аккомодации. Объем абсолютной аккомодации достоверно выступает в качестве детерминирующей величины для суммарного значения числа оптических аберраций (как интраокулярных, так и избирательно корнеальных) в ходе развития пресбиопии у пациентов всех рефракционных групп. У пациентов с гиперметропией теснота взаимосвязи между RMS total роговицы и объемом абсолютной аккомодации является невысокой, но достоверной (коэффициент детерминации $\boldsymbol{R^2}$= 0,19; p=0,046). У пациентов с эмметропией и миопией, в отличие от пациентов с гиперметропией, установлена достоверная взаимосвязь между величиной аккомодации и коэффициентом Цернике корнеальной сферической аберрации.

На следующем этапе было проанализировано состояние физиологической оптической системы в покое и при напряжении аккомодации. С целью выявления закономерностей формирования аккомодационного ответа в норме и при развитии пресбиопии нами было проведено исследование переднего отрезка глаз с помощью ротационной Шеймпфлюг-камеры и ультразвуковой биомикроскопии в покое и в момент предъявления зрительного стимула, соответствующего напряжению аккомодации в 3 дптр.

При интерактивной регистрации аккомодационного ответа (при рефракционной нагрузке в 3 дптр) выявлено одновременное совместное преобразование оптической системы глаза и анатомических структур, обеспечивающих адекватный биомеханический ответ. Установлено, что

лентикулярный компонент аккомодации является доминирующим, при этом происходит увеличение передне-заднего размера хрусталика (с 3,78±0,32 до 4,08±0,11 мм, p<0,001, усиление плотности кортикальных слоев хрусталика (с 8,52±0,58 до 8,81±0,52 %, p<0,05). Помимо этого, в момент максимального напряжения аккомодации у пациентов с эмметропической рефракцией происходит сужение зрачка с изменением профиля радужной оболочки, изменение периферической части роговицы, изменением волнового фронта роговицы с уменьшением значений сферической аберрации 4 порядка (с 0,17±0,01 до 0,12±0,02, p<0,01). На основании данных корнеотопографии установлено, что в момент максимального напряжения аккомодации тангенциальная кривизна периферической части роговицы в верхнем и нижнем уменьшается. Одновременно с этим в этих зонах отмечено формирование лимбального углубления в виде канавки, что может быть следствием функционального сокращения цилиарной мышцы.

У пациентов с пресбиопией аккомодационный ответ имеет совершенно иной характер. При развитии пресбиопии лентикулярная способность к трансформации утрачивается, но экстралентикулярные составляющие аккомодационного ответа сохраняются. У пациентов с пресбиопией и эмметропией в момент аккомодационного ответа зафиксированы уменьшение толщины цилиарной мышцы с 0,64±0,12 мм до 0,56±0,13 мм (p<0,05), уменьшение диаметра зрачка с 3,25±0,26 мм до 2,32±0,24 мм (p<0,001), увеличение асферичности периферической части роговицы с 0,49±0,11 до 0,56±0,12, до (p<0,001). Уменьшения сферической аберрации 4 порядка роговицы, что характерно для нормального аккомодационного ответа, у пациентов с пресбиопией не выявлено.

При анализе аккомодационного ответа у молодых лиц с аметропией во лентикулярный компонент аккомодации также является доминирующим.

Вместе с тем, характер аккомодационного ответа у пациентов с миопией и гиперметропией несколько отличается от характера ответа у пациентов с эмметропией, что указывает на существующие различия в функциональном состоянии аккомодационного аппарата. При развитии пресбиопии у пациентов с гиперметропией, в сравнении с данными в покое, степень изменения оптических параметров в момент аккомодации была менее выраженной, а с миопией – незначимой.

Результаты исследования доказывают, что аккомодационный ответ в норме является многокомпонентным процессом, в котором задействованы все структуры переднего отрезка глаза. Инволюционные физиологические изменения глаза при формировании пресбиопии выражаются не только в виде снижения трансформационных свойств хрусталика, но и в виде сопутствующих преобразований перилентикулярных структур, роговицы, апертурной диафрагмы, направленных на компенсацию явлений светорассеивания, вместе с тем, не позволяющих в полной мере решить аккомодационные задачи.

При исследовании зрачковой функции у пациентов с различными видами рефракции с помощью инфракрасного светового пучка, установлено, что, несмотря на общую тенденцию к сужению диаметра зрачка с возрастом, у пациентов с различной рефракцией изменения зрачковой экскурсии имеют свои закономерности. Было выявлено, что у молодых пациентов с эмметропической рефракцией диаметр зрачка в фотопических условиях составляет 3,81±0,76 мм, в мезопических условиях -6,47±0,56 мм. Между этими параметрами существует прочная корреляционная взаимосвязь ($r= 0,70$; $p=0,0001$). При развитии развитии пресбиопии у пациентов с эмметропией диаметр зрачка как в фотопических (3,81±0,76 до 3,35±0,78 мм, $p<0,001$), так и в мезопических условиях освещения уменьшается (6,47±0,56 до 5,50±0,94 мм, $p<0,001$). Диапазон зрачковой экскурсии у пациентов с пресбиопией уменьшен на 20-22% в сравнении с молодыми лицами без пресбиопии.

При развитии пресбиопии у пациентов с миопией происходит уменьшение диаметра зрачка в фотопических условиях освещения (с 4,24±0,79 до 3,96±0,86 мм, $p<0,001$), диаметра зрачка в мезопических условиях освещения (с 6,75±0,77 до 5,22±0,87 мм, $p<0,001$), диапазона зрачковой на 16-18%. При развитии пресбиопии установлено достоверное увеличение диаметра зрачка в фотопических условиях освещения (с 3,00±0,22 до 3,26±0,48 мм, $p<0,01$), в сочетании с уменьшением диаметра зрачка в мезопических условиях освещения (с 5,69±0,68 до 5,15±0,62 мм, $p<0,01$).

Выявленные отличия в характере изменения зрачковой экскурсии у пациентов с пресбиопией с различными видами рефракции можно расценивать как следствие различного напряжения аккомодации и физиологических взаимоотношений m. sphincter pupillae и m. dilatator pupillae при аметропии. Полученные данные демонстрируют взаимосвязь между структурами с преобладающей парасимпатической или симпатической иннервацией.

Установлена согласованность зрачкового ответа с величиной тонической аккомодации у пациентов с миопией и гиперметропией. Величина апертурной диафрагмы имеет корреляционные взаимосвязи с параметрами цилиарного тела. Степень сужения зрачка в фотопических условиях, отражая функциональную активность сфинктера зрачка, имеет отрицательную зависимость с толщиной цилиарного тела в проекции циркулярной порции мышцы. По результатам регрессионного анализа, вне зависимости от имеющейся рефракции глаза, объем абсолютной аккомодации достоверно определяет размеры диаметра зрачка в фотопических условиях освещения.

Задачей следующего этапа исследования было установить характер изменения сенсорной рецепции и перцепции при развитии пресбиопии у пациентов с эмметропией, миопией, гиперметропией.

Было выявлено, что формирование пресбиопии включает в себя и ряд неотрывно связанных нарушений сенсорной рецепции. Сравнительный анализ показателей сенсорной рецепции зрительной системы у пациентов с пресбиопией и без пресбиопии в сочетании с эмметропической рефракцией выявил дефекты зрительного восприятия в ближней фокусной зоне: при эмметропии острота зрения вблизи снижена на 66-68% ($p<0,001$). Установлено, что у пациентов с эмметропией при развитии пресбиопии наблюдается достоверное снижение ПКЧ как в низкочастотных, так и высокочастотных диапазона, включая частоты 18 цикл/угл.град. У всех пациентов с пресбиопией установлено снижение критической частоты слияния мельканий (КЧСМ), являющееся, по А.М. Шамшиновой, признаком «утомления» зрительной системы. Помимо этого, отмечено достоверное повышение порога электрической чувствительности и снижение порога светочувствительности (по данным статической периметрии).

У пациентов с миопией развитие пресбиопии сопровождается снижением максимально корригированной остроты зрения вдаль на 60-62% ($p<0,001$), а при гиперметропии - на 69-71% ($p<0,001$). У пациентов с гиперметропией также выявлено снижение некорригированной остроты зрения вдаль.

При анализе пространственной контрастной чувствительности выявлено, что у пациентов с миопией и гиперметропией при развитии пресбиопии происходит достоверное снижение ПКЧ в диапазоне 3 цикл/угл.град (аналогично изменениям ПКЧ у пациентов с соразмерной рефракцией). На высоких частотах установлены иные закономерности пространственной чувствительности. У пациентов с гиперметропией установлено высоко достоверное снижение ПКЧ в диапазоне 18 цикл/угл.град. Тогда как, у пациентов с миопией показатели ПКЧ на высоких пространственных частотах уже в молодом возрасте были существенно ниже ($6,16\pm0,81$), чем у пациентов с соразмерной рефракцией ($7,41\pm0,45$, $p<0,001$), и оставались на более низком

уровне при формировании пресбиопии (5,81±1,05, p<0,05). Сравнительный анализ ПКЧ на частоте 18 цикл/угл.град. не выявил достоверных различий у пациентов с миопией с пресбиопией и без пресбиопии, что, очевидно, связано с исходными низкими значениями данного показателя.

Регрессионный анализ позволил установить достоверную зависимость ПКЧ в области низкой пространственной частоты от объема аккомодации у пациентов с различными видами рефракции, что говорит об усилении внутреннего шума в деятельности зрительной системы при формировании пресбиопии. Также определена зависимость ПКЧ в области высокой пространственной частоты от объема аккомодации у пациентов с эмметропией, что свидетельствует об усилении шума дискретизации зрительного изображения.

У всех пациентов аметропией при развитии пресбиопии установлено снижение КЧСМ. Помимо этого, при формировании пресбиопии у пациентов с гиперметропической рефракциями отмечено достоверное повышение порога электрической чувствительности и снижение порога светочувствительности (по данным статической периметрии).

У всех пациентов с аметропией при формировании пресбиопии установлено достоверное снижение средних значений амплитуды b-волны максимальной ЭРГ (при миопии 299,83±63,33 до 256,55±73,48 мкВ, p<0,01; при гиперметропии с 309,21±52,26 до 282,36±51,75 мкВ, p<0,05), повышение латентности а-волны (при миопии 23,69±1,89 до 25,68±6,42 мс, p<0,05; при гиперметропии с 17,85±6,73до 22,41±9,11 мс, p<0,01) мкВ, p<0,001),и b-волны максимальной ЭРГ (при миопии 44,96±5,33 до 49,90±3,94 мс, p<0,001; при гиперметропии с 44,84±3,18до 46,35±4,12 мс, p<0,05), аналогично изменениям у пациентов с эмметропией. Помимо этого, у пациентов с миопией при развитии пресбиопии установлено повышение латентности ЗВП (с 101,24±9,21 до 104,51±8,42 мс, p<0,05). Хотя полученные данные находятся в

пределах физиологической нормы, выявленное различие говорит о замедлении ответа нейронов коры головного мозга на афферентное раздражение у пациентов с миопией и пресбиопией.

Также было выяснено, что при развитии пресбиопии возможности бинокулярного сотрудничества значительно снижены. Исследование способности к физиологическому двоению выявило феномен подавления двоения у значительной части пациентов с пресбиопией: в 20±7,2% случаев при эмметропии, в 13±6,1% - при миопии, в 36±8,7 % - при гиперметропии. Достоверное снижение стереовосприятия установлено у пациентов с гиперметропией (с 1080±246 до 868±339 угл.сек, по стереотесту Ланга, $p<0,001$). То есть, формирование пресбиопии сопровождается снижением бинокулярной суммации и ухудшением стереовосприятия, при этом у пациентов с гиперметропией отмечена более глубокая утрата данных бинокулярных функций.

При систематизации показателей фузионного рефлекса установлено уменьшение границ поля, в пределах которого возможно слияние двойных изображений в условиях свободной гаплоскопии, а также сдвиг его в пространстве. У пациентов с пресбиопией во всех рефракционных группах установлены увеличение ближнего амплитудного предела фузионного рефлекса и фузионного предела при конвергенции, уменьшение дальнего амплитудного предела фузионного рефлекса. Также, у пациентов с миопической и гиперметропической рефракциями определено уменьшение амплитудного предела фузионного рефлекса при дивергенции. При анализе регрессионной зависимости площади фузионного поля от запаса относительной аккомодации выявлено, что у пациентов с эмметропией взаимосвязь между площадью фузионного поля и аккомодацией является более тесной, чем у пациентов с миопией и гиперметропией, с высоким коэффициентом корреляции $r= 0,80$ ($p=0,0001$).

Для определения закономерностей изменения деятельности зрительной системы при формировании пресбиопии и выявления при этом трансформации изменений внутрисистемных взаимоотношений были проанализированы 30 600 показателей методами нейросетевого и многофакторного дискриминантного анализов. Нейросетевой анализ с использованием метода понижения размерности в генетическом алгоритме позволил выделить 14 главных отличительных компонент структурно-функционального состояния зрительной системы у пациентов с наличием и отсутствием пресбиопии в различных рефракционных условиях. Полученная математическая модель подтверждена данными многофакторного дискриминантного анализа.

Понижение размерности в генетическом алгоритме построения искусственных нейронных сетей привело к установлению последовательности главных отличительных признаков зрительной системы у пациента с пресбиопией, которая вне зависимости от рефракции выглядит следующим образом: острота зрения вблизи с коррекцией для дали, острота зрения вдаль без коррекции, предел фузионного рефлекса при конвергенции, длина фузионного поля, диаметр зрачка в фотопических условиях, уровень бинокулярной суммации, ПКЧ на частоте 3 цикл/град., толщина передней порции ЦТ, латентность в-волны максимальной ЭРГ, диапазон зрачковой экскурсии, дистанция «трабекула - цилиарные отростки», длина передней порции цинновой связки, толщина хрусталика, порог светочувствительности.

Результаты исследования показывают, что уменьшение аккомодационной способности является значимым, манифестным (с общим вкладом в линейную дискриминантную функцию 52 %), но не единственным звеном в развитии пресбиопии. На втором месте (с вкладом 22 %) находится снижение уровня бинокулярного взаимодействия, которое проявляется в виде

уменьшения пределов фузионного рефлекса. Значимую роль при развитии пресбиопии играет функция зрачковой диафрагмы (вклад 15 %). Значительно меньший вклад в разделение пациентов с пресбиопией и без пресбиопии вносят показатели электрической активности сетчатки и показатели пространственной контрастной чувствительности, что может указывать на проявление «шума» в световосприятии (с суммарным вкладом 11%).

Видно, что формирование пресбиопии является отражением совокупности как первичных инволюционных физиологических изменений зрительного анализатора, так и вторичных изменений, взаимосвязанных со снижением аккомодационной способности. Инволюционная трансформация зрительного восприятия при формировании пресбиопии характеризуется процессами приспособления к сдвигу фокусной зоны, нейтрализацией фузионного рефлекса. Учитывая тесное взаимоотношение между состоянием аккомодационного ответа, вергентным ответом, возможностью сингулярного видения в зоне Панума, выявленное подавление фузионного диспаратного рефлекса и снижение фузионной вергентной адаптации у пациентов с пресбиопией можно рассматривать как результат торможения неоднозначной зрительной информации, возникающей при недостаточном аккомодационном ответе. Нарушение бинокулярного сотрудничества, проявляющееся торможением фузионного рефлекса при конвергенции, уменьшением площади фузионного поля, снижением уровня бинокулярной суммации, является одним из ключевых механизмов развития пресбиопии.

В целом, представленные результаты исследования позволили существенно расширить представления о механизмах пресбиопии и на этой основе разработать концептуальную схему формирования пресбиопии в различных рефракционных условиях и обосновать пути патогенетически ориентированной коррекции зрения.

На следующем этапе проведено проспективное клиническое исследование, направленное на оценку эффективности восстановления монокулярных и бинокулярных зрительных функций у пациентов с пресбиопией после имплантации псевдофакичных монофокальных ИОЛ по принципу моновидения, псевдофакичных мультифокальных рефракционных ИОЛ, псевдофакичных мультифокальных комбинированных ИОЛ - наиболее широко используемых в клинической практике. Показанием к выполнению интраокулярной оптической коррекции послужило наличие пресбиопии в сочетании с начальнымлентикулярными помутнениями. В качестве группы контроля выступили пациенты с пресбиопией с нативным прозрачным хрусталиком, с эмметропической рефракцией.

Для оценки стратегии интраокулярной коррекции пресбиопии по принципу моновидения были проанализированы результаты хирургического лечения 64 пациентов, которым была проведена факоэмульсификация с билатеральной имплантацией монофокальной асферической ИОЛ (*AcrySof IQ*) асимметрично по целевой рефракции. В результате хирургического лечения были достигнуты целевые рефракционные показатели, величина анизометропии составила 1,08±0,08 дптр.

Хирургическое изменение оптической системы глаза сопровождалось уменьшением среднеквадратичного отклонения волнового фронта глаза на 20-34%, что в первую очередь было обусловлено удалением восстановлением прозрачности оптических сред. Через 3 месяца после операции среднеквадратичное отклонение волнового фронта глаза (при диаметре зрачка 3 мм) составило 0,89±0,21 мкм, что было достоверно меньше, чем до операции ($p<0,001$). Достоверных изменений зрачковой экскурсии не было выявлено.

Установлено, что хирургическое лечение с проведением оптической компенсации аккомодации по принципу моновидения с применением псевдофакичных монофокальных ИОЛ позволяет достигнуть достоверно

более высоких показателей бинокулярной остроты зрения вблизи без коррекции, чем у пациентов с пресбиопией (0,60±0,11 и 0,32±0,14 ед., p <0,001). Однако показатели бинокулярной остроты зрения вдаль без коррекции и ПКЧ были достоверно ниже, чем у пациентов контрольной группы. Также определено, что временные характеристики деятельности зрительной системой – КЧСМ, латентное время в-волны максимальной ЭРГ, а также амплитуда в-волны максимальной ЭРГ оставались на прежнем уровне.

Также на прежнем уровне остались показатели стереозрения, амплитудного предела фузионного рефлекса при дивергенции. Вместе с этим, выявлено увеличение амплитудных пределов при конвергенции и при приближении тестов, уменьшение дальнего амплитудного предела, что говорит об ухудшении фузионной способности. В целом произошло значительное уменьшение площади бинокулярного взаимодействия - площадь фузионного поля уменьшилась в 2,5 раза. Суммарная оценка качества зрения через 3 месяца после операции была достоверно больше, чем до операции, и больше, чем у пациентов с пресбиопией, но часть пациентов (8,0±3,4%) отметили трудности привыкания к новым оптическим условиям.

Было установлено, что бинокулярная острота зрения вблизи (без коррекции) имеет согласованные изменения со следующими параметрами: рефракцией ведомого глаза (r= 0,59; p= 0,0001), диаметром зрачка в фотопических условиях освещения (r= - 0,43; p= 0,0001); с диаметром зрачка в мезопических условиях (r= - 0,37; p= 0,0001), с величиной среднеквадратичного отклонения волнового фронта глаза (r= 0,37; p= 0,002), диаметром зрачка при приближении (r= -0,57; p= 0,0001).

Результаты исследования состояния зрительного восприятия у пациентов после имплантации псевдофакичной монофокальной ИОЛ по принципу моновидения показывают, что характер зрительного восприятия вблизи определяется соотношением оптических компонентов – величиной

рефракции, величиной суммарного числа оптических аберраций, величиной апертурной диафрагмы. Со стороны сенсорной рецепции положительных изменений не установлено, более того, со стороны диспаратной фузии установлено значимое снижение.

Далее были проанализированы результаты интраокулярной коррекции пресбиопии с помощью рефракционных мультифокальных асферических ИОЛ *M-Flex 630 F* с аддидацией для близи +3,0 дптр у 60 пациентов.

Через 3 месяца после операции определены достаточно высокие значения остроты зрения вдаль - 0,86±0,09, вблизи - 0,68±0,12, что было достоверно выше, чем до операции, но ниже, чем у пациентов у пациентов контрольной группы. Вместе с этим, отмечено, что пространственная контрастная чувствительность у пациентов с мультифокальными ИОЛ на 35-40% ниже, чем у пациентов контрольной группы, а временные характеристики деятельности зрительной системой – КЧСМ, латентное время а-волны и в-волны максимальной ЭРГ - оставались на прежнем уровне.

У пациентов с рефракционной мультифокальной ИОЛ отмечено сохранение низких значений со стороны показателей, характеризующих бинокулярное взаимодействие. Суммарная оценка качества зрения через 3 месяца после операции составила 8,25±0,81.

Все пациенты отмечали, что потребовался определенный период времени для адаптации к явлению мультифокальности. Если в раннем послеоперационном периоде пациенты испытывали затруднения при чтении книг, мелкого текста (аннотации к лекарственным препаратам), работе вблизи, то с увеличением времени, прошедшем с момента операции, привыканием и приобретением навыка работы с мультифокальной оптической системой, показатели качества зрения улучшились. Через 3 месяца после операции 4 пациента (6,0±3,1%) отмечали имеющиеся трудности при выполнении зрительных задач вблизи.

При фиксировании внимания на восприятии оптических феноменов в 23,3±5,4% случаев (14 пациентов) с мультифокальными рефракционными ИОЛ отмечали проявление феномена «глэр» в сумеречное время, хотя в обычной жизни на эти явления внимания не обращали.

При проведении корреляционного анализа по Пирсону было установлено, что бинокулярная острота зрения вблизи (без коррекции) имеет согласованные изменения со следующими параметрами: бинокулярной остротой зрения вдаль (r= 0,39; p= 0,002), диаметром зрачка в фотопических условиях освещения (r= - 0,37; p= 0,0001); с диаметром зрачка в мезопических условиях (r= - 0,31; p= 0,0001), латентностью ЗВП (r= -0,65; p= 0,0001), ближним амплитудным пределом ФР (r= -0,35; p= 0,007), амплитудным пределом ФР при конвергенции (r= -0,34; p= 0,01), площадью фузионного поля (r= 0,89; p= 0,0001).

Результаты исследования показывают, что у пациентов с пресбиопией после имплантации псевдофакичной рефракционной мультифокальной ИОЛ созданы новые оптические условия для деятельности зрительной системы, достигнуты высокие показатели разрешающей способности глаза вдаль и вблизи. Однако, несмотря на прошедший трехмесячный послеоперационный период, у всех пациентов сохранялись низкий уровень бинокулярного взаимодействия и признаки сенсорной дисфункции, а качество зрительного восприятия вблизи имеет взаимозависимости с временными параметрами нейропроводимости и диспаратной фузии.

На следующем этапе работы были проанализированы результаты хирургического лечения 60 пациентов, которым была имплантирована псевдофакичная дифракционно-рефракционная мультифокальная аподизированная асферическая ИОЛ *AcrySof ReSTOR SN6AD1* с аддидацией для близи +3,0 дптр.

Зрительные функции после имплантации данной мультифокальной ИОЛ через 3 месяца после операции составили: бинокулярная острота зрения вдаль

без коррекции 0,86±0,11, вблизи - 0,78±0,14, что было достоверно выше, чем до операции, но ниже, чем у пациентов с нативным хрусталиком. Также отмечено, что контрастная чувствительность у пациентов с мультифокальными ИОЛ была на 30-34% ниже, чем у пациентов с нативным хрусталиком, а временные характеристики деятельности зрительной системы – КЧСМ, латентное время волны максимальной ЭРГ достоверных отличий не имели. Со стороны показателей, характеризующих бинокулярное взаимодействие, после операции сохранились исходно низкими.

Через 3 месяца после операции суммарная субъективная оценка качества зрения составила 8,48±1,31 балла, что достоверно выше значений у пациентов с пресбиопией. Однако 5 пациентов (8,0±3,5%) отмечали существенные трудности адаптации к новым оптическим условиям, 8 пациентов с мультифокальными комбинированными ИОЛ (13,3±4,3%) отмечали проявление феномена «глэр» в сумеречное время

При проведении корреляционного анализа по Пирсону было установлено, что бинокулярная острота зрения вблизи (без коррекции) имеет согласованные изменения со следующими параметрами: бинокулярной остротой зрения вдаль (r= 0,63; p= 0,0001), ближним амплитудным пределом ФР (r= -0,32; p= 0,01), амплитудным пределом ФР при конвергенции (r= -0,30; p= 0,02), шириной фузионного поля (r= 0,29; p= 0,03), площадью фузионного поля (r= 0,35; p= 0,01). Корреляционная плеяда представлена на Рисунке 40.

Результаты исследования показывают, что у пациентов с пресбиопией после имплантации псевдофакичной рефракционно-диффракционной мультифокальной аподизированной асферической ИОЛ созданы новые оптические условия для деятельности зрительной системы, достигнуты высокие показатели разрешающей способности глаз вдаль и вблизи. Однако, несмотря на прошедший трехмесячный период нейроадаптации, у всех пациентов сохранялись низкий уровень бинокулярного взаимодействия и

признаки сенсорной дисфункции, а качество зрительного восприятия вблизи имеет взаимозависимости с параметрами диспаратной фузии.

Таким образом, выявлено, что в результате выполнения факоэмульсификации с имплантацией ИОЛ у пациентов с пресбиопией и незрелой катарактой достигнуты достаточно высокие значения остроты зрения вдаль и вблизи. Установлено, что при стратегии моновидения характер зрительного восприятия вблизи определяется соотношением оптических компонентов – величиной рефракции, величиной суммарного числа оптических аберраций, величиной апертурной диафрагмы. Также установлено, что в результате интраокулярной оптической коррекции пресбиопии по принципу моновидения происходит уменьшение границ фузионного поля. Вместе с тем, также вне зависимости выбранной стратегии интраокулярной коррекции пресбиопии, несмотря на созданные новые оптические условия для деятельности зрительной системы и прошедший период нейроадаптации, у всех пациентов сохранялись низкий уровень бинокулярного взаимодействия и признаки сенсорной дисфункции. У пациентов с интраокулярной мультифокальной оптической коррекцией качество зрительного восприятия вблизи имеет тесную взаимосвязь с параметрами диспаратной фузии.

Сохранение рассогласованных взаимоотношений в системе бинокулярного зрительного восприятия у пациентов с пресбиопией послужило основанием для разработки и осуществления дополнительных лечебных мероприятий.

Для этого по разработанной методике был проведен курс диплоптического лечения (комплекс тренировочных занятий по активизации физиологического двоения и слияния двойных изображений) пациентам 2 групп: 35 пациентам псевдофакичными рефракционными мультифокальными ИОЛ и 26 пациентам с псевдофакичными дифракционно-рефракционными мультифокальными ИОЛ.

Диплоптическое лечение у пациентов старшей возрастной группы потребовало разработки нового способа восстановления зрительных функций при пресбиопии (*положительное решение по заявке на патент РФ № 2013130337 (045268) приоритет от 04.07.2013*), с применением оригинальных тестов. Для закрепления функционального результата пациент проводит домашние занятия с портативным устройством для слияния двойных изображений (*Патент РФ № RU 00097625 U1; приоритет 15.07.2009).*

У пациентов с рефракционными мультифокальными ИОЛ в результате бинариметрии достоверно повысились значения остроты зрения вдаль (как монокулярно с 0,83±0,13 до 0,88±0,11, $p<0,05$; бинокулярно с 0,86±0,11до 0,91±0,08, $p<0,05$). Также установлены повышение пространственной контрастной чувствительности в диапазоне 6, 9 и 18 цикл/угл.град., повышение КЧСМ (с 32,8±2,1 до 34,2±2,1 Гц, $p<0,05$), уменьшение латентности а- волны максимальной ЭРГ. Также определено расширение пространственных границ фузионного поля за счет уменьшения ближнего предела фузионного рефлекса и предела фузии при конвергенции, увеличения дальнего предела фузионного рефлекса и предела при дивергенции. В результате чего площадь фузионного поля увеличилась более чем в четыре раза (с 35,2±5,4 до 162,5±11 $см^2$, $p<0,001$). Установлено повышение уровня восприятия стереоизображений (с 650,6±216,4 до 875,3±233,3 угл. сек по тесту Ланга, $p<0,05$).

При проведении дискриминантного анализа установлено, что в совокупность наиболее информативных признаков, отражающую изменение зрительной системы у пациентов с мультифокальными рефракционными ИОЛ после диплоптического лечения, входят: длина фузионного поля, КЧСМ, латентность ЗВП, амплитудный предел ФР при дивергенции, ПКЧ в диапазоне 18 цикл/уг.град. Иначе говоря, совокупность нааиболее информативных

признаков, характеризующая изменение зрительной системы в результате лечения, представлена характеристиками фузионного рефлекса, временных параметров деятельности зрительной системы, и контрастная чувствительность на высоких частотах, свидетельствующая о «шумом дискретизации» зрительного изображения - по Шелепину Ю.Е.

При анализе основных зрительных функций у пациентов через 6 месяцев имплантации рефракционных мультифокальных ИОЛ и через 3 месяца после диплоптического лечения, установлены достоверные различия с показателями сенсорной рецепции у пациентов с мультифокальными ИОЛ, находившихся под наблюдением, но не проходивших дополнительного диплоптического лечения. У пациентов пролеченных с помощью бинариметрии показатели бинокулярной остроты зрения, пространственной контрастной чувсвтительности в диапазоне частотыи18 цикл/угл.град, КЧСМ, пределов фузионного рефлекса, стереозрения являются достоверно выше, чем у пациентов без бинариметрии в послеоперационном периоде.

Сравнительный анализ показателей зрительного восприятия у пациентов с дифракционно-рефракционными мультифокальными ИОЛ до и после диплоптического лечения выявил повышение бинокулярной остроты зрения вдаль (с 0,86±0,11 до ,90±0,10 ед., $p<0,05$) и вблизи (с 0,75±0,09 до 0,78±0,09, $p<0,05$), улучшение контрастной чувствительности в диапазоне пространственной частоты 18 цикл/угл.град (с 3,90±0,66 до 4,17±0,53, $p<0,05$), повышение КЧСМ (с 32,2±1,6 до 33,8±1,5, $p <0,001$), уменьшение латентного времени в-волны максимальной ЭРГ ($p<0,05$). Также отмечено увеличение пространственных границ зоны, в пределах которой возможно слияние двойных изображений. При этом достоверно уменьшились ближний предел фузионного рефлекса (с 32,16±8,31 до 28,36±5,65 см, $p<0,01$) и предел фузии при конвергенции (с 41,47±4,72 до 36,87±4,09 см, $p<0,01$) , увеличился дальний предел фузионного рефлекса (с 52,73±9,84 до 68,40±8,11см, $p<0,01$) .

Количественная оценка площади фузионного поля показала ее увеличение более чем в четыре раза (с 48,5±4,3 до 105,4±10,2 см^2, $p<0,001$). Уровень стереовосприятия достоверно увеличился. При проведении дискриминатного анализа установлена совокупность наиболее информативных показателей, отражающих изменение состояния зрительной системы у пациентов данной группы по окончании диплоптического лечения. К ним относятся: ширина фузионного поля, КЧСМ и латентное время в-волны максимальной ЭРГ.

При анализе основных зрительных функций у пациентов через 6 месяцев имплантации дифракционно-рефракционных мультифокальных ИОЛ и через 3 месяца после диплоптического лечения, в сравнении с показателями сенсорной рецепции у пациентов с мультифокальными ИОЛ, находившихся под наблюдением, но не проходивших дополнительного диплоптического лечения, установлено следующее. При комбинации хирургического лечения с последующим лечением на бинариметре достигнуто значимое повышение остроты зрения вдаль, показатели контрастной чувствительности в диапазоне пространственных частот 6 и 18 цикл/град, КЧСМ, показателей фузионной способности, стереозрения в сравнении с аналогичеными показателями у пациентов без дополнительных лечебных мероприятий.

Таким образом, в результате диплоптического лечения пациентов с пресбиопией после интраокулярной оптической коррекции с помощью имплантации псевдофакичных мультифокальными ИОЛ достигнуто принципиально иное состояние зрительной системы, что выражается более высокой разрешающей способностью глаза, снижением проявлений признаков «утомления» зрительной системы, улучшениме бинокулярного взаимодействия. Это служит дополнительным аргументом в пользу имеющейся дизрегуляции процессов зрительного восприятия у пациентов с пресбиопией, выявленной ранее. Принимая во внимание, что бинокулярное взаимодействие является высшей зрительной функцией, то совершенно

очевидно, что побуждение зрительного анализатора к выполнению более высоких задач ведет к активации всех механизмов деятельности зрительной системы и достижению согласованной деятельности зрительной системы на более высоком оптимальном уровне.

Результаты исследования доказывают клиническую эффективность предложенного подхода к лечению, и определяют необходимость включения в комплекс лечебных мероприятий при пресбиопии методов, направленных на восстановление бинокулярных функций. Именно при последовательном подходе к коррекции аккомодационных, бинокулярных нарушений у пациентов с пресбиопией возможно достижение гармоничного взаимодействия всех факторов, отвечающих за получение качественного зрительного образа.

Разработанные принципы лечения пресбиопии, включающие замену нативного хрусталика на мультифокальную ИОЛ и последующий курс диплоптического лечения, являются патогенетически обоснованным, эффективным подходом к коррекции зрительных нарушений и позволяют достичь высокого качества зрения.

Выявленная ранее взаимосвязь между состоянием диспаратной фузии и остротой зрения вблизи может отражать уровень приспособления центрального анализатора к вновь созданной бифокальной оптической системе, не имеющей физиологических аналогов. Взаимосвязь между бинокулярной остротой зрения вблизи с показателями диспаратной фузии может отражать процессы соперничества между монокулярными и бинокулярными образами, являющимся генеральным механизмом разрешения зрительной информационной неоднозначности.

Именно поэтому для повышения качества зрения и исключения неудовлетворенности пациентов полученным зрением при имплантации

мультифокальных ИОЛ важно более четко проводить отбор пациентов с учетом индивидуальных параметров бинокулярного взаимодействия.

Исходя из результатов обследования и лечения пациентов, а также данных корреляционного анализа основными параметрами для прогнозирования получения высокого качества зрения являются: ближний предел фузионного рефлекса, длина фузионного поля, площадь фузионного поля.

Установленные в данном исследовании механизмы формирования пресбиопии, а также доказанная на этой основе необходимость восстановления бинокулярного взаимодействия открывают новые перспективы в области зрительной реабилитации пациентов с пресбиопией.

ВЫВОДЫ

1. Доказано, что у молодых людей в норме аккомодационный ответ характеризуется не только трансформацией хрусталика, сокращением цилиарной мышцы и сужением зрачка, но и существенными изменениями оптических параметров роговицы в виде уменьшения периферической тангенциальной кривизны, увеличения среднеквадратичного отклонения волнового фронта и индекса асферичности в горизонтальном меридиане, снижения сферической аберрации 4 порядка. При развитии пресбиопии и снижении активности лентикулярного компонента аккомодации, происходит существенное изменение экстралентикулярных компонентов аккомодационного ответа (уменьшение толщины цилиарной мышцы на 13-15% и диаметра зрачка на 30-35%, увеличение асферичности периферической части роговицы на 15-17%).
2. Пресбиопия у пациентов с эмметропией, миопией и гиперметропией характеризуется выраженной трансформацией иридо-цилиарно-лентикулярных взаимоотношений, разнонаправленными изменениями толщины цилиарной мышцы и конфигурации внутренней вершины цилиарного тела, а также проявлением интраокулярной асимметрии. При этом степень увеличения размеров хрусталика наиболее выражена при эмметропии (коэффициент детерминации $\boldsymbol{R}^2$=0,84, p=0,001), а изменения диаметра зрачка в фотопических и мезопических условиях освещения дифференцированы в зависимости от исходной рефракции и тонуса привычной аккомодации.
3. При пресбиопии наблюдается увеличение среднеквадратичного отклонения волнового фронта глаза у пациентов с различными видами рефракции, а нарастание числа роговичных оптических аберраций и значений коэффициента Цернике корнеальной сферической аберрации 4

порядка выявлено у пациентов с эмметропией (R^2= 0,39; p=0,001) и миопией (R^2 = 0,23; p=0,011).

4. Одним из ключевых механизмов развития пресбиопии является нарушение бинокулярного взаимодействия в виде снижения амплитудных пределов диспаратной фузии, дефицита на 24-30% амплитудного предела при конвергенции, уменьшения на 35-85% площади фузионного поля и бинокулярной суммации на 9-10%. У пациентов с миопией и гиперметропией формирование пресбиопии сопряжено со снижением фузионной способности при дивергенции (соответственно на 16-18% и на 18-20%). Развитие пресбиопии у пациентов с гиперметропической рефракцией сопровождается снижением стереозрения на 16-18%.
5. Исследование структурно-функционального состояния зрительной системы с помощью дискриминантного и нейросетевого анализа позволило выявить наиболее информативные признаки, характеризующие важные механизмы формирования пресбиопии, где при всех видах рефракции приоритетными являются нарушение аккомодации (с соответвующим вкладом в дискриминацию 52%, p=0,0001), уменьшение фузионной способности (вклад 22%, p=0,0001), изменение зрачковой функции (вклад 15%, p=0,0001), а также появление признаков дисфункции световосприятия в виде усиления внутреннего шума зрительной системы, увеличения времени межнейронального взаимодействия и снижения порога светочувствительности (с суммарным вкладом в дискриминацию 11%, p=0,0001).
6. Установлено, что клинический результат интраокулярной оптической коррекции пресбиопии при использовании стратегии моновидения зависит от достигнутой величины рефракции, суммарного числа оптических аберраций глаза, размера и экскурсии зрачка. Тогда как, разрешающая способность глаза и качество зрения при применении стратегии мультифокальности находится в зависимости не только от

оптических параметров глаза, но и от способности зрительного анализатора к слиянию и торможению – диспаратной фузии. При имплантации рефракционных мультифокальных ИОЛ острота зрения вблизи зависит и от пределов зрачковой экскурсии.

7. Хирургическая коррекция пресбиопии с имплантацией псевдофакичных асферичных ИОЛ - монофокальных по принципу моновидения, рефракционных мультифокальных и дифракционно-рефракционных мультифокальных, - компенсируя утрату аккомодации и повышая разрешающую способность вблизи и вдаль, не восстанавливает нарушенное бинокулярное взаимодействие, а при использовании принципа моновидения происходит ухудшение фузионной способности.
8. Диплоптическое лечение, с использованием бинариметрии, позволяет увеличить разрешающую способность глаза и пространственные границы фузионного рефлекса, повысить функциональную лабильность зрительной системы и улучшить субъективную оценку качества зрения у пациентов с пресбиопией после имплантации псевдофакичных мультифокальных ИОЛ.
9. Разработанный комплекс лечебных мероприятий, включающий бинокулярную факоэмульсификацию с имплантацией мультифокальных ИОЛ с последующим курсом бинариметрии является патогенетически обоснованным и высоко эффективным способом коррекции зрительных нарушений у пациентов с пресбиопией.

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ

БОЗ	Бинокулярная острота зрения
БТЯЗ	Ближайшая точка ясного зрения
ВГД	Внутриглазное давление
ГПК	Глубина передней камеры
ДЗФ	Диаметр зрачка в фотопических условиях освещения
ДЗМ	Диаметр зрачка в мезопических условиях освещения
ДЦС	Длина передней порции цинновой связки
ДТЦО	Дистанция «трабекула – цилиарные отростки»
ЗВП	Зрительные вызванные потенциалы
ЗОА	Запас относительной аккомодации
ИОЛ	Интраокулярная линза
КЧСМ	Критическая частота слияния мельканий
ОА	Оптическая аберрация
ОПК	Объём передней камеры
ОАА	Объем абсолютной аккомодации
ПЗО	Длина передне-задней оси глаза
ПКЧ	Пространственная контрастная чувствительность
ПТА	Привычный тонус аккомодации
ПФП	Площадь фузионного поля
СА	Сферическая аберрация
ТХ	Толщина хрусталика
ТЦТ	Толщина цилиарного тела
УБМ	Ультразвуковая биомикроскопия
УТР	Угол примыкания «трабекула – радужка»
ЦС	Циннова связка
ЦТ	Цилиарное тело
ФР	Фузионный рефлекс

ЭРГ Электроретинография

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Аветисов, Э. С. Близорукость: монография/ Аветисов Э.С. - 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Медицина, 1999. - 288 с.

2. Аветисов, Э.С. Расстройства аккомодации и изменения рефракции. Офтальмогериатрия / Э.С. Аветисов. Под ред. Н. А. Пучковской– М.: Медицина, 1982. – 304 с.

3. Аккомодация: руководство для врачей / под ред. Л.А. Катаргиной. – М.: Апрель, 2012. – 136 с.

4. Аксёнова, Е.Б., Методы коррекции пресбиопии контактными линзами. Случай из практики / Е.Б. Аксенова, Л.Я. Ретунских // Современная оптометрия. – 2011. – № 6. – С.39–41.

5. Андрианов, В.В. Курс нормальной физиологии на основе теории функциональных систем/ В.В. Андрианов, Н.А. Василюк, К.В. Судаков// Сеченовский вестник. 2013. - № 3. - С. 80-84.

6. Анисимов, В.Н. Молекулярные и физиологические механизмы старения/ В.Н. Анисимов. – СПб: Наука, 2003. - 468 с.

7. Анохин, П.К. Очерки по физиологии функциональных систем/ П.К. Анохин. – М.: Медицина, 1975. – 447 с.

8. Антонян С.А. Клинико-функциональные результаты коррекции пресбиопии с использованием различных хирургических подходов: Дис. … канд. мед. наук. - М., 2009. - 121 с.

9. Анисимова С.Ю. Результаты коррекции пресбиопии мультифокальными ИОЛ и методом SUPRACOR/ С. Ю. Анисимова, С.И.

Анисимов, Л.В. Загребельная [и др.]// Современные технологии в офтальмологии. -2015. - № 4.- С. 14-17.

10. Балашевич, Л.И. Хирургическая коррекция аномалий рефракции и аккомодации/ Л.И. Балашевич – СПб: СПбМАПО, 2009. – 296 с.

11. Балашевич, Л.И., Клиническая корнеотопография и аберрометрия/ Л.И. Балашевич, А.Б. Качанов – М.: Наука, 2008. – 167 с.

12. Батуев, А.С. Роль различных кортикальных областей в зрительномоторной координации / А.С. Батуев, Л.Н. Черенкова, Г.А. Куликова // Сенсорные системы. – Л.: Зрение, 1982. – С. 101–113.

13. Беликова, Е.И. Коррекция пресбиопии артифакией с монозрением и мультифокальными интраокулярными линзами / Е.И. Беликова, С.В. Антонюк, С.А Кочергин // Офтальмологические ведомости. – 2011. – Т. 4, № 3. – С.49–52.

14. Беликова, Е.И. Коррекция пресбиопии мультизональным ЛАСИК с периферической зоны абляции для близи / Е.И. Беликова // Катарактальная и рефракционная хирургия. – 2011. – № 4. – С.18–22.

15. Беликова, Е.И. Результаты хирургической коррекции пресбиопии с использованием мультифокальных и аккомодирующих интраокулярных линз Е.И. Беликова, С.В. Антонюк, С.А Кочергин // Вестник офтальмологии. – 2011. – № 6. – С.18–21.

16. Беликова, Е.И. Технологии хирургической реабилитации пациентов с пресбиопией: дис. …д-ра мед. наук:14.01.07/Беликова Елена Ивановна –М., 2013. -235 с.

17. Бердников, Д.В. Взаимосвязь стилей саморегуляции восприятия информации с активностью вегетативной и центральной нервной системы/Д.В. Бердников//Медицина в Кузбассе. - 2014. - № 2. - С. 16-21.

18. Бианчи, К. Пресбиопия и рефракция: коррекция пресбиопии в клинической практике/ К. Бианчи // Современная оптометрия. – 2011. – № 3. – С.28–35.

19. Боровиков, В.П. STATISTICA: Искусство анализа данных на компьютере. Для профессионалов / В.П. Боровиков. – СПб.: Питер, 2001. – 656 с.

20. Бородина, Н.В. Исследование возможностей контактной коррекции пресбиопии: автореф. …канд. мед. наук: 14.00.08./ Бородина Нататлья Владимировна. – М., 2004.– 23 с.

21. Бочкарева, А.А. Инволюционные изменения в структурах, образующих заднюю камеру, их роль в возникновении патологических процессов/ А.А. Бочкарева, О.В. Сутягина, Л.В. Болдырева, Н.И. Бастриков // Старение и глаз: Тезисы 1-ой научной конференции. – М., 1976. – С.11–12.

22. Бунин, А.Я. Микроциркуляция глаза/ А.Я. Бунин, Л.А. Кацнельсон, А.Л. Яковлев. – М.: Зрение, 1984. – 176 с.

23. Василенко, Н. Ю. Социальная геронтология/Н.Ю. Василенко Владивосток: изд-во Дальневосточного университета, 2003. – 140 с.

24. Винецкая, М.И. Биохимические особенности склеры человека / / М.И. Винецкая., Н.Ф. Савицкая // Третий Всероссийский съезд офтальмологов: Тезисы. - М., 1975.- т. II.- С.40-42.

25. Витт, В.В. Строение зрительной системы человека/ В.В. Витт. – Одесса: Астропринт, 2003. – 655 с.

26. Волков, В.В. Биомеханические особенности взаимодействия дренажной и аккомодационной регуляторных систем глаза в норме и при контузионном подвывихе хрусталика / В.В. Волков, К.Е. Котляр, О.В. Светлова, Б.А. Смольников// Вестник офтальмологии. — 1997. – №3. – С.5-7.

27. Волков, В. В. По поводу аккомодации глаза/ В.В. Волков // Окулист. – 2003. – №6. - С. 6–7.

28. Глазные болезни / под ред. В.Г Копаевой. – М: Медицина, 2002. – 560 с.

29. Гулидова, Е.Г. Аккомодативная регуляция гидродинамики глаза при прогрессирующей миопии: Дис. … канд. мед. наук:14.01.07/ Гулидова Елена Геннадьевна – СПб, 2011. – 141 с.

30. Дизрегуляционная патология/ под ред. Г. Н. Крыжановского. – М.: Медицина, 2002. – 630 с.

31. Донцов, В.И. Моделирование процессов старения: новая иммуно-регуляторная теория старения/ В.И. Донцов, В.Н. Крутько // Успехи современной биологии. – 2010. – Т. 130. – № 1. – С.3-19.

32. Егорова, Г.Б. Возрастная недостаточность аккомодации (пресбиопия): терминология, теории возникновения, принципы коррекции/ Г.Б. Егорова, Н.В. Бородина, С.А. Аветисов // Вестник офтальмологии. – 2004. – № 5. – С.51–54.

33. Егорова, Э.В. Анатомотопографические предпосылки нарушения офтальмотонуса при катарактах осложненных псевдоэксфолиативным синдромом/ Э.В. Егорова, У.С. Файзиева, Д.Г. Узунян и др. // Практическая медицина. — 2012. — № 4. — С.190–193.

34. Зайцев, В.М. Прикладная медицинская статистика: учеб. пособие/ В.М. Зайцев, В.Г. Лифляндский, В.И. Маринкин. – СПб: ФОЛИАНТ, 2003. – 432 с.

35. Золотарев, А.В. Влияние аккомодации на результаты ваккум компрессионной пробы/ А.В. Золотарев, М.В. Шевченко, И.Г. Стебнева // Вестник Оренбургского государственного университета. – 2008. – № 12. – С.43–45.

36. Золотарев, А.В. Увеосклеральный отток и аккомодация: морфологическая и функциональная взаимосвязь / А.В. Золотарев, Е.В. Карлова, И.Г. Стебнева, О.В. Павлова // Русский Медицинский журнал. – 2009. – Т. 10, № 1. – С.15–16.

37. Ивонин, К.С., Восстановление аккомодационной способности артифакичного глаза/ К.С. Ивонин, А.А. Замыров, Ю.В. Кудрявцева, А.Д. Чупров// Современные технологии в медицине. – 2012. – № 4. – С.154–160.

38. Иомдина, Е.Н. Возможности использования биомеханической модели глаза для изучения возрастных изменений аккомодационной способности/ Е.Н. Иомдина, М.В. Полоз // Российский офтальмологический журнал. – 2011. – № 1. – С.17–21.

39. Иомдина, Е.Н. Биомеханическая модель глаза человека как основа для изучения его аккомодационной способности/ Е.Н. Иомдина, М.В. Полоз // Российский журнал биомеханики. – 2010. – Т. 14, № 3. – С.7–18.

40. Искаков И.А. Корольков В.П., Коронкевич В.П. [и др.], Исследования дифракционно-рефракционных линз // Современные технологии катарактальной и рефракционной хирургии – 2005: сб. науч. ст. – М., 2005.-С. 133-136.

41. Искаков И.А. Функциональные результаты имплантации бифокальной дифракционно-рефракционной линзы «МИОЛ-Аккорд» в отдаленные сроки // Современные технологии катарактальной и рефракционной хирургии – 2007: сб. науч. ст.-М., 2007.-С. 102-106.

42. Искаков И.А. Современная концепция оптико-функциональной реабилитации больных с афакией на основе использования отечественной бифокальной дифракционно-рефракционной ИОЛ: дис. … д-ра мед. наук. – М., 2009.-215 с.

43. Искаков И.А., Плисов И.Л. Бинокулярные зрительные функции у пациентов после имплантации бифокальной линзы «МИОЛ-Аккорд». //

Современные технологии катарактальной и рефракционной хирургии.- 2010. сб. науч. ст. – М., 2010 – с. 85-88

44. Кански Д.Д. Клиническая офтальмология: систематизированный подход / под ред. В.П. Еричева; пер. с англ. – Wroclaw: Elsevier Urban & Partner, 2009. – 944 с.

45. Кащенко, Т.П . Исследование бинокулярного зрения методом бинариметрии// Т.П. Кащенко, В.В. Соловьева, И.Э. Рабичев//Вестник офтальмологии. - 1988. - № 4. - С. 51-54.

46. Киваев, А.А. Контактная коррекция зрения/ А.А. Киваев, Е.И. Шапиро. – М.: ЛДМ Сервис, 2000. – 224 с.

47. Клиническая физиология зрения: очерки / под ред. А.М. Шамшиновой. – М.: Медицина, 2006. – 956 с.

48. Кокин, С .А. Клинико-функциональная оценка оптимизированного метода достижения прогнозируемой анизометропии при коррекции афакии монофокальными интраокулярными линзами: Дис… канд. мед. наук. – М.,2015.-215 с.

49. Коновалов, М.Е., Зенина М.Л., Милова С.В. Клинические результаты факоэмульсификации с имплантацией мультифокальной ИОЛ ReSTOR для коррекции аметропии и пресбиопии у пациентов старшего возраста// Современные технологии катарактальной и рефракционной хирургии – 2006: сб. науч. ст.-М., 2006-С. 102-107.

50. Косарев, С.Н. Наш опыт факоэмульсификации катаракты с имплантацией отечественных мультифокальных ИОЛ «Рекорд-3». // Современные технологии катарактальной и рефракционной хирургии. – 2011. Сб. наус. ст. – м., - 2011. – с. 149-153.

51. Корниловский, И.М. Особенности биомеханики иридоцикло- хрусталиковой диафрагмы в акте зрительного восприятия и её

роль в развитии офтальмопатологии / И.М. Корниловский// Биомеханика глаза 2002: Сборник трудов конференции.– М., 2002. – С.9–13.

52. Коровенков, Р.И. Глазные симптомы, синдромы, болезни / Р.И. Коровенков. – СПб.: Химиздат, 2001. – 462 с.

53. Костенёв С.В., Исследование биомеханических и анатомо-топографических особенностей роговицы после фемтосекундной лазерной интрастромальной коррекции пресбиопии (INTRACOR)/ С.В. Костенёв, В.В. Черных// Офтальмохирургия. 2012. - № 3. - С. 17-21.

54. Костенев, С.В., Современная концепция хирургии роговицы на основе использования фемтосекундного лазера: дис… д-ра мед. наук: 14.01.07 / Костенев Сергей Владимирович.- М., 2014 -43с.

55. Корхов Е.А. Коррекция афакии различными типами мультифокальных интраокулярных линз в условиях двусторонней симметричной и асимметричной имплантации. // Дисс. канд. мед. наук – Ростов-на-Дону -2012. – 120с.

56. Крутько, В.Н., Подколзин А.А., Донцов В.И. Общие причины, механизмы и типы старения // Успехи геронтологии. – 1997. – № 1. – С. 34.

57. Крыжановский, Г.Н. Основы общей патофизиологии/ Г.Н. Крыжановский – М.: Медицина, 2011- 256 с.

58. Куликова И.Л. Клинический случай в рефракционной хирургии в коррекции возрастной дальнозоркости/ И.Л. Куликова// Здравоохранение Чувашии. 2011. - № 2.- С. 64-67.

59. Лавач, С.М. Статистические методы в медико-биологических исследованиях с использованием Excel / С.М. Лавач, А.В. Чубенко, П.М. Бабич. – Киев: Морион, 2000. – 320 с.

60. Лещенко, И.А. Практическое руководство по подбору мягких контактных линз / И.А. Лещенко. – СПб.: РА «Веко», 2010. – 224 с.

61. Малышев, В.В. Эволюция представлений о механизмах бинокулярного пространственного зрения/ В.В. Малышев, И.Н. Гутник, Л.Н. Бачалдина // Бюллетень ВСНЦ СО РАМН. – 2004. – № 2. – С. 13–19.

62. Мальцев, Э.В. Хрусталик /Э.В. Мальцев. – М.: Медицина, 1988. – 190 с.

63. Малюгин, Б.Э. Механизмы аккомодации: исторические аспекты и современные представления/ Б.Э. Малюгин, С.А. Антонян // Новое в офтальмологии. – 2005. – № 4. – С. 45.

64. Малюгин, Б.Э. Хирургическая коррекция пресбиопии методом лазерной термокератопластики/ Б.Э. Малюгин, И.А. Мушкова// «Актуальные проблемы офтальмологии»: 2-я Всерос. науч. конф. молодых ученых с участием иностр. специал.: Сб. науч. работ/ под ред. Х.П. Тахчиди. – М., 2007.- С. 170-171.

65. Малюгин, Б.Э., Морозова Т.А. Билатеральная асимметричная имплантация мультифокальных интраокулярных линз «Градиол-2» и ReSTOR. Клинический случай. //Современные технологии катарактальной и рефракционной хирургии – 2008: сб.науч.ст.-М.,2008.-С.182-188.

66. Малюгин, Б.Э. Результаты мультицентровых исследований имплантации мультифокальной градиентной иол третьего поколения (Градиол-3)/ Ю.В. Тахтаев, Т.А. Морозова, Н.А. Поздеева //Офтальмохирургия. - 2012. - № 2. - С. 36-41.

67. Малюгин, Б.Э. Хирургическая коррекция пресбиопии с использованием мультифокальных интраокулярных линз дифракционного типа / Б.Э. Малюгин, И.С. Федорова, С.А. Антонян и др.// Вестник офтальмологии. – 2007. – № 4. - С.3–6.

68. Малюгин, Б.Э., Исследование остроты зрения у пациентов после имплантации мультифокальной интраокулярной линзы/ Б.Э. Малюгин, Т.А.

Морозова, О.В. Фомина //Современные технологии в офтальмологии. - 2015. - № 4. - С. 163-166.

69. Марченко, И.Ю. Изменение основных параметров глаза человека при аккомодации/ И.Ю. Марченко, Л.В. Степанова, Г.М. Сычев // Биомеханика глаза 2005: Сборник трудов конференции. – М., 2005. – С.58-60.

70. Меерсон, Ф.З. Адаптация, стресс и профилактика/ Ф.З. Меерсон. – М.: Наука, 1981 – 279 с.

71. Мечников, И.И. Этюды оптимизма: Изд. 3-е/ И.И. Мечников. – М., 1913. – 284 с.

72. Минеева, Л.А. Инволюционные изменения аккомодационного аппарата глаза и их клинические проявления: дис. … канд. мед. наук: 14.00.08 / Минеева Лидия Алексеевна. – Ярославль, 2007. – 145 с.

73. Михалевич, И.М. Дискриминантный анализ в медико-биологических исследованиях (с применением пакета прикладных программ STATISTICA 6.1)/ И.М. Михалевич, Т.Н. Юрьева, Иркутск:РИО ГБОУ ДПО ИГМАПО, 2015 – 44 с.

74. Михалевич, И.М. Сокращение размерности многомерными статистическими методами при анализе медико-биологических данных. Методические рекомендации/ И.М. Михалевич. – Иркутск: РИО ГБОУ ДПО ИГМАПО, 2014. – 32 с.

75. Мищенко, Т.С. Раскрытие закономерностей структурно-функциональных изменений зрительной системы при формировании пресбиопии: Автореф. дис. … канд. мед. наук: 14.03.03/ Мищенко Татьяна Сергеевна. – Иркутск, 2013. – 23 с.

76. Мищенко, О.П. Роль нарушения бинокулярного взаимодействия в патогенезе и лечении пресбиопии: автореф. дис. … канд. мед. наук:14.03.03/ Мищенко Олег Павлович. – Иркутск, 2014. – 23 с.

77. Могилев, Л.Н. Механизмы пространственного зрения/ Л.Н. Могилев – Л.: Наука, - 1982. – 112 с.

78. Морозова Т.А. Интраокулярная коррекция афакии мультифокальной линзой с градиентной оптикой. Клинико-теоретическое исследование. //Дис… канд. мед. наук. –М.,2006.-151с.

79. Мушкова, И.А. Имплантация интракорнеальных линз как способ хирургической коррекции пресбиопии/ И.А. Мушкова, Ю.В. Шкандина // Офтальмохирургия. 2015. - № 2.- С. 87-90.

80. Мушкова, И.А., Сравнительная оценка результатов имплантации внутрироговичных линз в экспериментальном исследовании/ И.А. Мушкова, Б.Э. Малюгин, С.А. Борзенок, А.Н. Каримова, Ю.В. Шкандина //Современные технологии в офтальмологии. 2015.- № 4. - С. 175-178.

81. Нестеров, А.П. Влияние электростимуляции цилиарной мышцы на показатели гидродинамики глаза и зрительные функции у больных глаукомой/ А.П. Нестеров, Э.В. Хадикова // Вестник офтальмологии. – 1997. – № 4. – С.12 – 14.

82. Нестеров, А.П. Роль цилиарной мышцы в физиологии и патологии глаза/ А.П. Нестеров, В.В. Банин, С.В. Симонова // Вестник офтальмологии. – 1999. – № 2. – С.13-15.

83. Николс, Д. Удобство различных режимов ношения контактных линз / Д. Николс // Глаз. – 2000. – № 2. – С.38.

84. Офтальмогериатрия/ под ред. Н.А. Пучковской. – М.: Медицина, 1982. – 304 с.

85. Пивоваров, Н.Н. Аккомодация и пресбиопия в свете новых гипотез (дискуссионные вопросы) / Н.Н. Пивоваров, Е.Н. Суркова// Катарактальная и рефракционная хирургия. – 2010. – Т.10, № 4. – С.4–10.

86. Пожарицкий, М.Д., Каронес Ф., Трубилин В.Н. Сравнительная оценка методов коррекции пресбиопии при имплантации интрастромальных

вкладышей роговицы Acufocus Kamra и Presbia Flexivue Microlens/ М.Д. Пожарицкий, Ф. Каронес, В.Н. Трубилин // Третья конференция Российского общества катарактальных и рефракционных хирургов: Мат.конф. – 2014. – URL: http://organumvisus.com/rscrs-third-conference-2014-program#sthash.MPX3m7Ls.dpuf. 11.07.2013.

87. Пономаренко, В.Н. Клиническая анатомия органа зрения/ В.Н. Пономаренко. – Благовещенск: Приамурье, 1989. – 103 с.

88. Проскурина, О.В. Пресбиопия: современный подход к очковой коррекции. Часть 1/ //Российский офтальмологический журнал. 2009. Т. 2. № 1. - С. 49-54.

89. Проскурина, О.В. Пресбиопия: современный подход к очковой коррекции. Часть 2 / О.В. Проскурина // Российский офтальмологический журнал. – 2009. – Т.2, № 2. – С.52-55.

90. Проскурина, О.В. Пресбиопия: современный подход к очковой коррекции. Ч. 3. Определение и обозначение расстояния между оптическими центрами корригирующих линз в пресбиопических очках/ О.В. Проскурина // Российский офтальмологический журнал. – 2010. – Т.3, № 2. С.49-52.

91. Рабичев, И.Э. Метод восстановления бинокулярного зрения с помощью бинариметра // Сенсорный дефицит и работоспособность организма: Тез. докл. – Иркутск, 1983. – С.99-100.

92. Рабичев, И.Э. Системная организация и механизмы направленной коррекции бинокулярного зрения: Автореф. дис. … д-ра биол. наук. М., 1998. – 47 с.

93. Рабичев, И.Э. «Мнимый зрительный образ» как информационный эквивалент нормы при направленной коррекции зрения/ И. Э. Рабичев, А.В. Котов // Труды межведомственного научного совета по экспериментальной и прикладной физиологии. Системные аспекты физиологических функций. – 2002. – Т.11. – С.81-84.

94. Рабичев, И.Э. Мотивационно зависимый феномен зрительного восприятия стереообразов геометрических фигур/И.Э. Рабичев, А.В. Котов, О.А. Смирнова //Теоретическая и экспериментальная психология. - 2014.- Т. 7, № 3.- с. 52-57.

95. Реброва, О.Ю. Статистический анализ медицинских данных. Применение пакета прикладных программ STATISTICA / О.Ю. Реброва. – М.: МедиаСфера, 2003. – 312 с.

96. Рёмер, П. Руководство по глазным болезням в форме клинических лекций в 2 томах/ П. Рёмер. – СПб: «Практическая медицина В.С. Эттингера», 1913. - 724 с.

97. Розенблюм, Ю.З. Вопросы оптической коррекции в пожилом возрасте/ Ю.З. Розенблюм // Старение и глаз: тез.1-й науч. конф. – М., 1976. – С.105-108.

98. Розенблюм, Ю.З. Оптометрия / Ю.З. Розенблюм. – СПб.: Гиппократ, 1996. – 247 с.

99. Розенблюм, Ю.З. Коррекция пресбиопии / Ю.З. Розенблюм // Веко. – 1997. – № 8. – С. 6–12.

100. Светлова, О.В. Биомеханические аспекты профилактики индивидуальных расстройств офтальмотонуса/ О.В. Светлова, И.Н. Кошиц // Биомеханика глаза– 2001: Сб. науч. тр. – М., 2001. – С.65-79.

101. Светлова, О.В. Биомеханические особенности взаимодействия основных путей оттока внутриглазной жидкости в норме и при открытоугольной глаукоме / О.В. Светлова // Биомеханика глаза–2001: Сб. науч. тр. М., 2001. – С.95-107.

102. Светлова О.В., Кошиц И.Н. Классификация и взаимодействие механизмов аккомодации глаза человека // Биомеханика глаза 2002: Сб. науч. тр. – М., 2002. – С. 117–119.

103. Светлова, О.В. Функциональные особенности взаимодействия склеры, аккомодационной и дренажной систем глаза при глаукомной и миопической патологии: дис. … д-ра. мед. наук: 14.03.03/ Светлова Ольга Валентиновна – М., 2010. - 243 с.

104. Селиверстова, Н.Н. Патогенетическое обоснование принципов лечения пресбиопии у пациентов с миопической рефракцией: автореф дис. … канд. мед. наук: 14.03.03/ Селиверстова Наталия Николаевна. – Иркутск, 2014. – 23 с.

105. Сенченко, Н.Я. Эффективность применения аккомодирующей ИОЛ Crystalens HD 500 в реабилитации пациентов с катарактой / Н.Я. Сенченко, М.А. Шантурова, К.А. Нагаева, А.Г. Щуко// Бюллетень ВСНЦ СО РАМН. – Иркутск, 2011. – № 6. – С.86-88.

106. Сенченко, Н.Я. Восстановление зрительных функций после имплантации мультифокальной интраокулярной линзы / Н.Я. Сенченко, М.А. Шантурова, О.В. Писаревская // Вестник офтальмологии. - 2012. – Т. 128. –№ 3. – С.23 - 25.

107. Состояние зрительных функций после имплантации ИОЛ Crystalens HD 500/ К.Б. Першин, Б.Э. Малюгин, Э.В. Егорова [с соавт.]// Современные технологии катарактальной рефракционной хирургии – 2010, сб. науч. ст.- М, 2010.-С. 162-165.

108. Спрейс, И.Ф. Основы прикладной статистики (использование Excel и Statistica в медицинских исследованиях): учеб. пособие / И.Ф. Спрейс, М.А. Алфёрова, И.М. Михалевич. – Иркутск: ИГИУВ, 2001. – Вып.1 – 72 с.

109. Страхов, В.В., Ультразвуковое исследование взаимодействия аккомодации и гидродинамики глаза/ В.В. Страхов, А.Ю. Суслова, М.А. Бузыкин // Биомеханика глаза 2002: Сб. науч. тр. – М., 2002. – С.113-116.

110. Страхов, В.В. Аккомодация и гидродинамика глаза/ В.В. Страхов, А.Ю. Суслова, М.А. Бузыкин // Русский Медицинский журнал.– 2003. – № 2. -С.52.

111. Страхов, В.В. Клинические проявления инволюционных изменений аккомодации глаза человека при зрении на разных расстояниях / В.В. Страхов, Л.А. Минеева, Д.В. Кузнецов// Федоровские чтения –2006: Всероссийская научно-практическая конференция с международным участием: Сб. науч. ст.– М., 2006. – С.340-343.

112. Страхов, В.В. Инволюционные изменения аккомодационного аппарата глаза человека по данным ультразвуковой биометрии и биомикроскопии / В.В. Страхов, Л.А. Минеева, М.А. Бузыкин // Вестник офтальмологии. – 2007. – №4. – С.32-35.

113. Страхов, В.В., Иомдина Е.Н. Аккомодация: анатомия, физиология, биомеханизмы //Аккомодация: руководство для врачей / под ред. Л.А. Катаргиной. – М.: Апрель, 2012. – С.12-35.

114. Судаков, К.В. Адаптивный результат в функциональных системах организма/ К.В. Судаков// Успехи современной биологии. 2009. -Т. 129, № 1. - С. 3-9.

115. Тахтаев, Ю.В., Балашевич Л.И. Хирургическая коррекция гиперметропии и пресбиопии дифракционно-рефракционными псевдоаккомодирующими интраокулярными линзами Acrysof Restor // Офтальмохирургия. – 2005. – №3. – С.12-16.

116. Тахтаев, Ю.В. Интраокулярная коррекция аметропии и пресбиопии: Автореф. …дис. д-ра мед. наук. 14.00.08/ Тахтаев Юрий Викторович– М., 2008. – 262 с.

117. Тахчиди, Х.П. Мультифокальные ИОЛ: патентный поиск и классификация / Х.П. Тахчиди, Б.Э. Малюгин, Т.А. Морозова// Новое в офтальмологии. - 2004. - № 4. - С. 31-39.

118. Тахчиди, Х.П., Малюгин Б.Э., Морозова Т.А. Первые результаты имплантации мультифокальных градиентных интраокулярных линз «Градиол1» и «Градиол-2». // Современные технологии катарактальной и рефракционной хирургии – 2004: сб. науч. ст. – М., 2004. – С. 296-301.

119. Тахчиди, Х.П., Искаков И.А., Пичикова Н.А. Сравнительная оценка результатов имплантации бифокальных дифракционно-рефракционных и монофокальных интраокулярных линз. // Офтальмохирургия 2009. - № 1. – С. 18-20.

120. Тахчиди, Х.П., Малюгин Б.Э., Морозова Т.А., Меньшиков А.Ю. Первые результаты имплантации мультифокальной градиентной интраокулярной линзы нового поколения «Градиол-3» // Современные технологии катарактальной и рефракционной хирургии – 2007: сб. науч. ст. – М., 2007. – С. 249-253.

121. Темиров, Н.Э. Клинические результаты коррекции афакии различными типами мультифокальных ИОЛ / Н.Э. Темиров, Е.А. Корхов // Офтальмология. – 2010. –Т.7, №1. – С.8-13.

122. Темиров, Н.Э. Клинические результаты коррекции афакии и пресбиопии мультифокальными ИОЛ с асимметричной ротационной оптикой Lentis Mplus / Н. Э. Темиров, П.Б. Вакарев, Н.Н. Темиров// Современные технологии катарактальной и рефракционной хирургии. М.,-2013.-С.167-175.

123. Темиров, Н.Э. Субъективные ощущения пациентов после имплантации различных моделей мультифокальных ИОЛ/Н.Э. Темиров, Н.Н. Темиров // Катарактальная и рефракционная хирургия. -2015.- №1.-С.15-18.

124. Уиттакер, Г. Мультифокальные контактные линзы для всех стадий пресбиопии/ Г. Уиттакер // Глаз.– 2003. – № 3.– С.2–3.

125. Ульянов, А.Н. Первый опыт использования аккомодационной ИОЛ Crystalens HD500 / А.Н. Ульянов// Современные технологии катарактальной и рефракционной хирургии: Мат. конф. – М., 2009. – С.207-210.

126. Федоров С.Н., Захаров В.Д., Карамян А.А., Хайдер Т.А. Бифокальные интраокулярные линзы (предварительное сообщение) // Офтальмохирургия. – 1992. - № 1. – С. 35.

127. Федоров С.Н., Захаров В.Д., Карамян А.А. Эффективность и особенности коррекции афакии бифокальными интраокулярными линзами // Офтальмохирургия. – 1993. - № 3. – С. 10.

128. Федорова, И.С., Копаев С.Ю., Кузнецова Т.С., Узунян Д.Г. Интраокулярная коррекция аметропий крайних степеней с применением индивидуальных мультифокальных ИОЛ / И.С. Федорова, С.Ю. Копаев, Т.С. Кузнецова, Д.Г. Узунян//Офтальмохирургия. – 2013. – №3. – С.46-51.

129. Франклин, Э. Контактные линзы для коррекции пресбиопии. Ч. III. Пациент недоволен. Что делать? / Э. Франклин// Современная оптометрия. – 2012. № 1. – С.12-16.

130. Функциональные системы организма: Руководство / под ред. К.В. Судакова. – М.: Медицина, 1987. – 432 с.

131. Черных В.В., Искаков И.А., Егорова Е.В. Клинические преимущества зрачковой независимости бифокальной дифракционно-рефракционной линзы о-Аккорд // Глаукома. – 2009. - № 1. – С. 43-45.

132. Шамшинова, А.М. Новый метод исследования контрастной чувствительности в клинике глазных болезней / А.М. Шамшинова, А.Е. Белозеров, В.М. Шапиро // Вестник офтальмологии. – 1997. – № 1. – С. 22–25.

133. Шамшинова, А.М. Современная электроретинография в клинике глазных болезней / А.М. Шамшинова, М.В. Зуева, И.В. Цапенко // Русский офтальмологический журнал. – 2001. – № 1. – С. 30–35.

134. Шамшинова, А.М. Функциональные методы исследования в офтальмологии / А.М Шамшинова., В.В Волков. – М.: Медицина, 2004. – 432 с.

135. Шамшинова, А.М. Электроретинография в офтальмологии / А.М. Шамшинова. – М.: Медика, 2009. – 304 с.

136. Шантурова, М.А. Имплантация торических ИОЛ – эффективный, предсказуемый способ коррекции роговичного астигматизма/М.А,. Шантурова, Н.Я. Сенченко // Бюл. ВСНЦ СО РАМН. – 2011. – №6. – С.113-115.

137. Шевич, И.А. Индуцированная гетерофория в пресбиопическом возрасте/ И.А. Шевич, Ю.З. Розенблюм// Вестник оптометрии.- 2004.- №5- С. 29-33.

138. Шелепин, Ю.Е. Острота зрения и контрастная чувствительность/ Клиническая физиология зрения // Ю.Е. Шелепин; под ред. А.М. Шамшиновой. – М, 2006. – С. 226–275.

139. Шелудченко, В.М. Оценка зрительного восприятия при имплантации мультифокальных интраокулярных линз с различной пресбиопической добавкой по результатам дефокусировки остроты зрения / В.М. Шелудченко // Вестник офтальмологии. – 2012. – №1. – С.19-22.

140. Шершевская, О.И. Старение глаза/ Шершевская, Г.Л. Старков, С.Ф. Шершевская. – М.: Медицина, 1970. – 341 с.

141. Эскина, Э.Н. Опыт выполнения операций PrebyLASIK на эксимер-установке SCHWIND AMARIS / Э.Н. Эскина, Т. Manjago, И.В. Шкуренко // Практическая медицина. – 2012. – Т. 1, № 59. – С.55-58.

142. Юнкеров, В.И. Математико-статистические методы обработки данных медицинских исследований / В.И. Юнкеров, С.Г. Григорьев. – СПб.: ВмедА, 2002. – 266 с.

143. Яновская, Н.П. Моновизуальная интраокулярная коррекция двусторонней афакии: Автореф. … дис. канд. мед. наук. 14.00.08/ Яновская Наталья Павловна – М., 2000. – 28 с.

144. A new method of cornea modulation with excimer laser for simultaneous correction of presbyopia and ametropia / D. Uthoff, M. Pölzl, D. Hepper [et al.] // Graefes Arch. Clin. Exp. Ophthalmol. – 2012. –Vol. 250, №11. – P. 1649-1661.

145. A relationship between tolerate of blur and personality/ R.L. Woods, C.R. Colvin, F.A. Vera-Diaz, [et al.]// Invest Ophthalmol Vis Sci. - 2010. – Vol. 51, №11.- P. 6077-6082.

146. Aberration and contrast sensitivity comparison of aspherical and monofocal and multifocal intraocular lens eyes / M. Zeng, Y. Liu, X. Liu [et al.] // Clin. Experiment Ophthalmol. – 2007. – Vol. 35, № 4. – P. 355–60.

147. Accommodative movements of the lens/capsule and the strand that extends between the posterior vitreous zonule insertion zone & the lens equator, in relation to the vitreous face and aging/M.A .Croft ,G. Heatley , J.P. McDonald , et al//Ophthalmic Physiol Opt. 2016 - vol.36, №1- p.21-32.

148. Accommodative movements of the vitreous membrane, choroid, and sclera in young and presbyopic human and nonhuman primate eyes/ M.A. Croft, T.M. Nork, J.P. McDonald [et al.]// Invest. Ophthalmol. Vis. Sci. – 2013. – Vol. 54, №7. – P. 5049-5058.

149. Age-related changes in centripetal ciliary body movement relative to centripetal lens movement in monkeys/ M.A. Croft, J. P. McDonald, N.V. Nadkarni [et al.] // Exp. Eye. Res. – 2009. – Vol. 89, № 6. – P. 824-832.

150. Age-related changes in human ciliary muscle and lens: a magnetic resonance imaging study /S.A. Strenk, J.L. Semmlow, L.M. Strenk [et al.] // Invest. Ophthalmol. Vis. Sei. – 1999. – Vol. 40, № 4. – P. 1162–1169.

151. Age-related loss of ciliary muscle mobility in the rhesus monkey. Role of the choroid / E. Tamm, M.A. Croft, W. Jungkunz [et al.] // Arch. Ophthalmol. – 1992. – Vol. 110, № 6. – P. 871–876.

152. Aging of low and high level vision: from chromatic and achromatic contrast sensitivity to local and 3D object motion perception/ C. Mateus, R. Lemos, M.F. Silva [et al.] // PLoS ONE – 2013 - №1. URL: http://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.005534.12.05.2014.

153. Aging of the human crystalline lens and anterior segment / C.A. Cook, J.F. Koretz, A. Pfahnl [et al.] // Vision. Res. – 1994. – Vol.34. – P. 2945–2954.

154. Alarcón, A. Visual evaluation of different multifocal corneal models for the correction of presbyopia by laser ablation / A. Alarcón, R.G.Anera, M.J Soler.// Refract. Surg. – 2011. – Vol. 27, №11. – P.833-836.

155. Alfonso, J.F. Prospective visual evaluation of apodized diffractive intraocular lenses/ J.F. Alfonso, L. Fernandes-Vega, M.B. Baamonde, R.Montés-Miĉo // J. Cataract Refract. Surg. – 2007. – Vol. 33, №7. – P.235 - 1243.

156. Alfonso, J.F. Outcomes and patient satisfaction after presbyopic bilateral lens exchange with the ReSTOR IOL in emmetropic patients / J.F. Alfonso, L. Fernández-Vega, B. Valcárcel // J. Refract. Surg. – 2010. – Vol. 26, № 12. –P. 927–933.

157. Age-related changes in the human lens: a comparison of Scheimpflug photography and lens density index/ Bosem M.E., Sample P.A., Martinez G.A. [et al.] // J. Cataract. Refract. Surg. – 1994. - Vol.20, № 1– P.70–73.

158. Alió, J.L. Comparative analysis of the clinical outcomes with 2 multifocal intraocular lens models with rotational asymmetry / J.L. Alió, A.B. Plaza-Puche, D.P. Piñero // J. Cataract. Refract. Surg. – 2011. – Vol. 37, № 9. – P. 16051614.

159. Alio, J.L. Comparison of a new refractive multifocal intraocular lens with an inferior segmental near add and a diffractive multifocal intraocular lens/ J.L. Alio, A.B. Plaza-Puche, J. Javaloy // Ophthalmology. – 2012. – Vol.119, № 3. – P.555 - 563.

160. Alió, J.L. Visual outcomes with a single-optic accommodating intraocular lens and a low-addition-power rotational asymmetric multifocal intraocular lens /J.L.Alio, A.B Plaza-Puche, R. Montalban // J. Cataract. Refract. Surg. – 2012. – Vol. 38, №6 – P. 978–985.

161. Alió, J.L. Removability of a small aperture intracorneal inlay for presbyopia correction / J.L. Alió, A. Abbouda, S. Huseynli // J. Refract. Surg. – 2013. – Vol. 29, № 8. – P.550 - 556.

162. Alpern, M. The nature of presbyopia // The Eye /M. Alpern. Ed. by H. Davson. – New York: Academic Press, 1969. – P.236 - 241.

163. Amano, S. Age-related changes in corneal and ocular higher-order wavefront aberrations/ S. Amano, Y. Amano, S. Yamagami // Am. J. Ophthalmol. – 2004. – Vol.137, № 6. – P.988-992.

164. Anderson, G.J. Age-related differences in the detection of thredimensional surfaces from optic flow / G.J. Anderson, P.Atchley // Psychology and Aging. – 1995. –P.650–658.

165. Anschutz, T. Laser correction of hyperopia and presbyopia. Int. Ophthalmol. Clin. – 1994, - Vol. 34, № 4. – P.107-137.

166. Applegate, R.A. Three-dimensional relationship between high-order root-mean-square wavefront error, pupil diameter, and aging / R.A. Applegate, W.J

Donnelly, J.D. Marsackt // J. Opt. Soc. Am. A. Opt. Image. Sci. Vis. – 2007. – Vol. 24. – P.578-587.

167. 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.

168. Atchison, D.A. Accommodation and presbyopia / D.A. Atchison // Ophthalmic Physiology Optics. – 1995. – Vol. 15, № 4. – P.255-272.

169. Atchison, D. A. Age-related changes in optical and biometric characteristics of emmetropic eyes/ D. A. Atchison, E. L. Markwell, S. Kasturirangan,// J.Vis. – 2008. – Vol. 28, № 4. – P.1–20. Depth Focus of the Human Eye. 2012/

170. Augusteyn, R.C. On the growth and internal structure of the human lens / R.C. Augusteyn //Exp. Eye Res. – 2010. – Vol. 90, № 6. – P.643-654.

171. Bailey, M.D. Ciliary body thickness and refractive error in children / M.D. Bailey, L.T. Sinnott, D.O. Mutti// Invest. Ophthalmol. Vis. Sci. – 2008. – № 10. – P.4353 – 4360.

172. Baker, F.J. The effect of incipient presbyopia on the correspondence between accommodation and vergence/ F.J. Baker, B. Gilmartin // Graefes. Arch. Clin. Exp. Ophthalmol. – 2002. – Vol. 240, № 6. – P.488 - 494.

173. Barraquer, R.I. Human lens capsule thickness as a function of age and location along the sagittal lens perimeter / R.I Barraquer, R. Michael, R. Abreu // Invest. Ophthalmol. Vis. Sci. – 2006. – Vol. 47, № 5. – P.2053 - 2060.

174. Bartzokis, G. Lifespan trajectory of myelin integrity and maximum motor speed / G. Bartzokis, P.H. Lu, M.F. Mendez // Neurobiol. Ageing. – 2010. – Vol. 31, № 9. – P.1554 - 1562.

175. Bassam, A. Bonus feature: IOL Explantation: indications and strategies for multifocal IOL explantation/ A. Bassam, E. Donnenfeld // Cataract and Refr. surgery today. – 2011. – № 4. – P.18-20.

176. Beiko, G.H. Personalized correction of spherical aberration in cataract surgery / G.H. Beiko// J. Cataract Refract Surg. – 2007. – Vol. 33, № 8. – P.1455-1460.

177. Bellucci, R. Multifocal intraocular lenses /R. Bellucci// Curr.Opin. Ophthalmol. – 2005. -Vol.16, № 1. – P.33-39.

178. Belville, J.K. Presbyopia surgery / J.K. Belville, R.J. Smith. – New York: SLACK incorporated, 2006. – 209 p.

179. Berrio, E. Optical aberrations and alignment of the eye with age/ E. Berrio, J. Tabernero, P. Artal // J.Vis. – 2010. – URL: http://www.journalofvision. org/content/10/14/34. 10.10.2013.

180. Beruto, D.T. Role of the water matric potencial and of equilibrium water content on the water self-diffusion coefficient and on the oxygen permeability in hydrogel contact lenses / D.T. Beruto// Biomaterials. – 2004. – Vol. 25, № 14. – C.2877–2883.

181. Bifocal contact lenses: History, types, characteristics, and actual state and problems / H. Toshida, K. Takahashi, K. Sado [et al.] // Clin. Ophthalmol. – 2008. – Vol. 2. № 1 – P. 869–877.

182. Binder, H. The accommodating contact lens/ H. Binder // Thesis of International Society of Presbyopia. – Milan, 2012. – URL:http://presbyopia-international.com/presentations/Binder_ Accommodating CL. 23.09.2013.

183. Binocular summation improves performance to defocus-induced blur/ Plainis S., Petratou D., Giannakopoulu T., [et al.] // Invest. Ophthalmol. Vis. Sci. - 2011.- Vol. 52 , № 15 –P. 2784-2789.

184. Bishop, P.O. Beginning of form vision and binocular depth discrimination in cortex: in Neurosciences. – New York: Lippincott Williams Wilkins, 1970. – P.471–485.

185. Bito, L. Z., Kaufman P.L., Derousseau C.J., Koretz J. Presbyopia: An Animal Model and Experimental Approaches for the Study of the Mechanism of Accommodation and Ocular Ageing // Eye. – 1987. – Vol.1, №1.– P.222-230.

186. Bito, L.Z. Accommodation and presbyopia / L.Z. Bito, O.C. Miranda // In: Reinecke R.D, ed.Ophthalmology Annual. New York: Raven Press; 1989. – P. 103–128.

187. Bouzoukis, D.I. Intracorneal inlays for presbyopia // D.I. Bouzoukis, I.Pallikaris// In: Presbyopia: origins, effects, and treatment. Ed. by I. Pallikaris, S. Plainis, W.N. Charman. – Danvers: Slack incorporated, 2012. - P.197-204.

188. Brunette, I. Monochromatic aberrations as a function of age, from childhood to advanced age / I. Brunette, J.M. Bueno, M. Parent// Investigative Ophthalmology and Visual Science. – 2003. – Vol. 44. – P.5438–5446.

189. Bucci, F.A Vaseline Vision Dysphotopsia" and Explantation of the ReSTOR Multifocal/ F. Bucci // Implant.Invest. Ophthalmol. Vis. Sci. – 2007. – Vol. 48. – P.3119.

190. Burton, K.B. Aging and neural contrast sensitivity: Photopic vision/ K.B. Burton, C. Owsley, M.E. Sloane // Vision Research. – 1993. – Vol. 33. – P.939–946.

191. Calladine, D. Multifocal versus monofocal intraocular lenses after cataract extraction / D.Calladine, J.R. Evans, S. Shah, M. Leyland // Cochrane Database Syst.Rev. – 2012. – № 9. – URL: CD003169. 13.10.2013.

192. Campbell, F.W. The Depth of Field of the Human Eye/ F.W. Campbell// Journal of Modern Optics. – 1957 –Vol. 4, № 4. – P.157-164.

193. Cauquil, A.S., Neural correlates of chromostereopsis: an evoked potential study/ Cauquil, A.S., Delaux S., Lestringant R. // Neuropsychologia. –2009. – Vol. 47, № 12. – P. 2677–2681.

194. Causes of IOL explantation in Spain / R. Fernández-Buenaga, J.L. Alio, Muñoz-Negrete [et al.] // Eur. J. Ophthalmol. – 2012. – Vol.22, № 5. – P.762-768.

195. Chang, D.F. Mastering refractive IOLs; the art and science/ D.F. Chang. – Thorofare: SLACK incorporated, 2008. – 895 p.

196. Changes in intraocular pressure and ocular pulse amplitude with accommodation/ S.A. Read, M.J. Collins, H. Becker, [et al.] // Br J. Ophthalmol. –

197. Changes in the internal structure of the human crystalline lens with age and accommodation/ M. Dubbelman, G.L. Van der Heijde, H.A. Weeber, [et al.] // Vision Research. – 2003. – № 43(22). – P.2363 – 2375.

198. Ciliary body thickness increases with increasing axial myopia / C. Oliveira, C. Tello, J.M. Liebmann, [et al.]// Am. J. Ophthalmol. – 2005. –Vol.140, №2 – P.324-325.

199. Ciuffreda, K.J. Accommodation, the pupil, and presbyopia // Borish's clinical refraction / Ed. by W.J.Benjamin. – St. Louis: Buter worth Heinemann, 2006. – P. 93-144.

200. Ciuffreda, K.J. Presbyopia and the vergence system/ K.J. Ciuffreda, P. Thiagarajan // In: Presbyopia: origins, effects, and treatment Ed. by I.Pallikaris, S.Plainis, W.N. Charman. – Danvers: Slack incorporated, 2012. – P.103-109.

201. Clinical evaluation of the model AT-45 silicone accommodating intraocular lens: results of feasibility and the initial phase of a Food and Drug Administration clinical trial / J.S. Cumming, S.G. Slade, A. Chayet [et al.] // Ophthalmology. – 2001. – Vol. 108. – P. 2005–2009.

202. Clinical observation on visual quality in patients implanted with monofocal and multifocal aspheric intraocular lens/ W.Y. Wang, J. Wang, J. Zhang [et al.] // Zhonghua Yan Ke Za Zhi. – 2010. – Vol. 46, № 8. –P. 86–690. URL: http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/?term=Clinical+observation+on+visual+quality+in+patients+implanted+with+monofocal. 10.11.2013.

203. Clinical performance of an innovative back surface multifocal contact lens in correcting presbyopia / C. Woods, D. Ruston, T. Hough [et al.] // CLAO J. – 1999. –. Vol. 25, № 3. – P. 176–181.

204. Clinical results with light adjustable lens after cataract /C.W. Von Mohrenfels, J. Salgano, R. Khoramnia [et al.] // J. Refract. Surg. – 2009. – Vol. 26, № 5. – P.314–320.

205. Coates, W.R. Amplitudes of accommodation in South Africa/ W.R. Coates // Br. J. Physiol. Opt. – 1955. – Vol. 12. – P.76-86.

206. Coleman D.J., Fish S.K. Presbyopia, accommodation, and mature catenary // Ophthalmolgy. – 2001. – Vol. 108. – P.1544-1551.

207. Comparative analysis of clinical outcomes obtained with a new diffractive multifocal toric intraocular lens implanted through two types of corneal incision / P. Mojzis, D.P. Piñero, P. Studeny, [et al.] // J. Refract. Surg. – 2011. – Vol.27, № 9. – P. 648-657.

208. Comparison of outcomes with multifocal intraocular lenses: a meta-analysis / B. Cochener, A. Lafuma, B. Khoshnood [et al.] // Clin. Ophthalmol. – 2011. – Vol. 5. – P.45-56.

209. Correction of myopia after catatract surgery with light-adjustable lens / A. Chayet, C. Sandstedt, S. Chang [et al.] // Ophthalmology. – 2009. –Vol. 116, № 8. – P.1432-1435.

210. Correction of residual hyperopia after cataract surgery using the light-adjustable lens technology/ A. Chayet , C. Sandstedt, S. Chang [et al.] //Am. J. Ophthalmol. – 2009. – Vol. 147, № 3. – P. 392-397.

211. Cortical adaptation and visual enhancement/ Z. Zalevsky, S. Ben Yaish, A. Zlotnik [et al.] Opt Lett. - 2010 - Vol. 15, № 35 – p. 3066-3074.

212. Crawford, K.S. Reproducible stimulation of ciliary muscle contraction in the cynomolgus monkey via a permanent: indwelling midbrain electrode /K.S. Crawford., E. Terasawa, P.L Kaufman //Brain Res. –1989. –Vol. 503, № 2.– P. 265–272.

213. Crystalline lens optical dysfunction through aging/ J.L. Alió,, P. Schimchak, H. Negri H, [et al.]// Ophthalmology. - 2005. – Vol., 112, № 2.– P.2022–2029.

214. Croft, M.A. Role of the ciliary muscle and zonula in accommodation and presbyopia / M.A. Croft, P.L. Kaufman // In: Presbyopia: origins, effects, and treatment Ed. By I. Pallikaris, S. Plainis, W.N. Charman. – Danvers: Slack incorporated, 2012. – P.69-76.

215. Croft, M.A., McDonald J.P., Katz A. Extralenticular and lenticular aspects of accommodation and presbyopia in human versus monkey eyes / M.A. Croft, J.P. McDonald, A. Katz // Invest. Ophthalmol. Vis. Sci. – 2013. – Vol. 54, №7. – P. 5035–5048.

216. Crystalline lens photodisruption using femtosecond laser: experimental study/ O. Chatoux, D. Touboul, C. Buestel [et al.] // J. Fr. Ophtalmol. – 2010. – Vol. 33, № 7. – P.472-480.

217. Do small-aperture presbyopic corrections influence the visual field?/D.A. Atchison, S. Blazaki, M. Suheimat et al//Ophthalmic Physiol Opt. 2016 –vol. 36. №1 –p.51-9.

218. Donders, F.C. On the anomalies of accommodation and refraction of the eye; with a preliminary essay on physiological dioptrics / Translated W.D.Moore. – London: The new Sydenham society, 1864. – 635p.

219. Dorairaj, S. Quantitative evaluation of anterior segment parameters in the era of imaging / S. Dorairaj, J.M. Liebmann, R. Ritch // Trans. Am. Ophthalmol. Soc. – 2007. – Vol.105. – P.99-110.

220. Duane, A. Are the current theories of accommodation correct? / A. Duane // Am. J. Ophthal. – 1925. – N.8. – P.196–202.

221. Duane, A. Normal values of the accommodation at all ages/A. Duane // JAMA. – 1912. – Vol.59. – P.1010-1013.

222. Effect of intrastromal correction of presbyopia with femtosecond laser (INTRACOR) on mesopic contrast sensitivity/A.N. Fitting, G.U. Menassa, A. Auffarth // Ophthalmologe. – 2012. – Vol. 109, №10. – P.1001–1007.

223. Effectiveness of multifocal intraocular lenses to correct presbyopia after cataract surgery: a randomized controlled trial/ M.D. Nijkamp, M.G. Dolders, J. de Brabander [et al.] // Ophthalmology. – 2004. – Vol. 111, № 10. – P. 1832–1839.

224. Elliott, D.B. Contrast sensitivity decline with aging: A neural or optical phenomenon?/ D.B. Elliott // Ophthalmic & Physiological Optics. – 1987. – Vol.7.– P.415-419.

225. Elliott, S.L. Individual and age-related variation in chromatic contrast adaptation/ S.L. Elliott, J.S. Werner, M.A. Webster // J. Vis. – 2012. – Vol.12, № 8. – P. 11. -14

226. Eskridge, J. Review of ciliary muscle effort in presbyopia / J. Eskridge // Am. J. Optom. Physiol.Opt. – 1984. – № 6. – P.133-138.

227. Experimental simulation of simultaneous vision/de Gracia P., Dorronsoro C., Sánchez-González Á., [et al.] // Invest. Ophthalmol. Vis. Sci. – 2013. - Vol.54, № 1. – P.415-422.

228. Extended depth of focus contact lenses for presbyopia / A. Zlotnik, S. Ben Yaish, O. Yehezkel [et al.] // Opt. Lett. – 2009. – Vol. 34, № 14. – P.2219–2221.

229. Effect of pseudophacic mini-monovision as an option for independence of spectacles in everyday life / S. Zettl, S. Reiß, T. Terwee [et al.] // Klin Monbl Augenheilkd. - 2014 .- Vol. 231, №12. – P.1196-1202.

230. Fan, Y. Wavefront aberrations and the depth of focus of the human eye / Y. Fan // PhD dissertation. - Brisbane: Queensland University of Technology, 2010. - 223 p.

231. Femtosecond laser correction of presbyopia (INTRACOR) in emmetropes using a modified pattern / B.C. Thomas, A. Fitting, G.U. Auffarth, [et al]// J. Refract. Surg. – 2012. – Vol. 28, № 12 – P. 872–878.

232. Fincham, E.E. The mechanism of accommodation / E.E. Fincham// Br. J. Ophthalmol., Supplement. – 1937. – №8. – P.5-80.

233. Fincham, E.E. The proportion of ciliary muscular force required for accommodation / E.E. Fincham // J. Physiol. – 1955. – № 128. – P.99-112.

234. Fischer, F.P. Sensence of the eye in Sorsby A. / F.P. Fisher // Modern Trends in Ophthalmology. –1974. – Vol.2. – P.54-70.

235. Fisher, R.F. Presbyopia and the changes with the age in the human crystalline lens / R.F. Fisher // J. Physiol. (Lond). – 1973. – Vol. 228, № 3. – P. 765–779.

236. Flügel-Koch, C. Morphologic indication for proprioception in the human ciliary muscle / C. Flügel-Koch, W.L. Neuhuber, P.L. Kaufman// Invest. Ophthalmol. Vis. Sci. – 2009. – Vol.50, №12. – P.5529-5536.

237. Flügel-Koch, C. Histochemical differences within the ciliary muscle and its function in accommodation/C. Flügel-Koch, E.H. Bárány, E. Lütjen-Drecoll //Exp. Eye Res. – 1990. – Vol.50, №2. - P.219–226.

238. Foroozan, R. Non-organic visual loss in patients with multifocal intraocular lenses/R. Foroozan// J Opthalmic Vis Res. 2012- vol.7, № 4. - P.305-309.

239. Fowler, C.W. A comparison of three methods for the measurement of progressive addition lenses / C.W. Fowler, C.M. Sullivan // Ophthalmic. Physiol. Opt. – 1989. – Vol. 9. – P. 81-85.

240. Friedrich, R. Intraocular lens multifocality combined with the compensation for corneal spherical aberration: a new concept of presbyopia-correcting intraocular lens/ R. Friedrich // Case. Rep. Ophthalmol. – 2012. –Vol. 3, № 3. – P. 375-383.

241. Fulton, A.B. Development of ERG responses: the ISCEV rod, maximal and cone responses in normal subjects/ A. B. Fulton, R. M. Hansen, C.A. Westall // Doc. Ophthalmol. – 2003. – Vol. 107, № 3. – P.235-241.

242. Gierek-Ciaciura, S. A comparative clinical study of the visual results between three types of multifocal lenses/ S. Gierek-Ciaciura, L. Cwalina, L. Bednarski // Graefes Arch. Clin. Exp. Ophthalmol. – 2010. – Vol. 248, № 1. – P.133-140.

243. Gild, A. Presbyopia: Therapies and Further Prospects/ A. Gild. – London: Jaypee Brothers Medical Publishers, 2015 – 208p.

244. Glasser, A. Presbyopia and the optical changes in the human crystalline lens with age/ A. Glasser, M. Cambell // Vision. Res. – 1998. – Vol. 38, № 2. – P. 209229.

245. Glasser, A., Campbell M.C. Biometric, optical and physical changes in the isolated human crystalline lens with age in relation to presbyopia /A. Glasser, M.C. Campbell // Vision. Res. – 1999. – Vol.39. – P.1991-2015.

246. Global vision impairment due to uncorrected presbyopia /B.A. Holden, T.R. Fricke, S.M. Ho [et al.] // Arch. Ophthalmol. – 2008. – Vol.126, №12. – P.1731-1739.

247. Goldberg D.B. Computer-animated model of accommodation and presbyopia/ J. Cataract. Refract. Surg.- 2015.- Vol.41, №2.- P.437-445.

248. Goldsmit, C.T. The Evolution of Aging. Third Edition/ C. Goldsmit – Crownsvill: Azinet Press, 2013. – 187 p.

249. Gopinathan, G. A clinical study to evaluate the efficacy of Trataka Yoga Kriya and eye exercises (non-pharmocological methods) in the management of Timira (ammetropia and presbyopia)/G. Gopinathan, K.S. Dhiman, R.Manjusha //Ayu. - 2012. – Vol.33, №4. – P.543-549.

250. Granger-Donetti, B. Central suppression at near vision in presbyopic subjects / B. Granger-Donetti // European conference visual perception, abstracts. – 2006. – URL: http://www.perceptionweb.com/ecvp.cgi?year=2006. 12.02.2012.

251. Graw, J. Genetics of crystallins: cataract and beyond / J. Graw // Exp. Eye. Res. – 2009. – Vol.88, № 2. – P. 173-189.

252. Guttman, C. European study results indicate multifocal IOL mixing, matching is a valuable option: tailoring lens choice based on patient’s needs helps achieve satisfaction, spectacle independence/ C. Guttman // Ophthalmology Times. – 2009. – Vol. 34, № 1. – P. 20.

253. Hamilton, D.R. Anterior ciliary sclerotomy for treatment of presbyopia: a prospective controlled study / D.R. Hamilton, J.M. Davidorf, R.K. Maloney // Ophthalmology. – 2002. – Vol.109. – P.1970-1977.

254. Harper, D.G. The history of presbyopia / D.G. Harper // Scope. – 2010. – Vol.14, № 1. – P. 1-3.

255. Hayden, F.A. Electronic IOLs: the future of cataract surgery / F.A. Hayden // EW Feature. – 2012. - № 2, - P.58-59.

256. Hayflick, L. Biological aging is no longer an unresolved problem/ L. Hayflick // Annals of New York Academy of Sciences. – 2007. – Vol.38, № 1100. – P.1-13.

257. Hickenbotham, A. Comparison of spherical aberration and small-pupil profile in improving depth of focus for presbyopic corrections/ A. Hickenbotham, Tiruveedhula P., Roorda A. // J. Cataract Refract Surg. – 2012. Vol. 38, №12. – P. 2071-2079.

258. Hipsley, AM. Laser scleral matrix microexcisions (LaserACE/Erbium YAG Laser) // Presbyopia: origins, effects, and treatment / AM. Hipsley, M.McDonald. Ed. By I. Pallikaris, S. Plainis, W.N. Charman. – Danvers: Slack incorporated, 2012. – P.219-223.

259. Hipsley, AM. Scleral decompression may restore accommodation in presbyopic eyes / AM. Hipsley, D.Dementiev, J. Blaylock // Ocular surgery news. – 2006. – Vol. 24, №. 14. – P. 31-34.

260. Hipsley, AM. VisioDynamic Theory. A biomechanical model for the aging ocular organ/ AM. Hipsley, D.Dementiev – Chicago: Brothers Medical publishers LTD, 2006. – 196 p.

261. Holladay, J.T. Quality of vision: essential optics for the cataract and refractive surgeon/ J.T. Holladay – SLACK incorporated: Thorofare, 2007. – 134p.

262. Holliday, R. Aging is no longer an unresolved problem in biology /R. Holliday // Ann N Y Acad Sci. – 2006. – № 5. – P.1067-1076.

263. Horwitz, J. Alpha-crystalline can function as a molecular chaperone / J. Horwitz// Proc. Natl. Acad. Sci. USA. – 1992. – Vol. 89, № 21. – P.10449-10453.

264. Howard, I. P. Seeing in depth. Basic mechanisms / I. P. Howard. – Thornhill, Ontario: Porteous, 2002. – Vol.1. – 659 p.

265. Hudson, C. How to succeed with multifocal contact lenses / C. Hudson// Optometry Today. – 2011. – Vol. 51, №2. - P. 45–49.

266. Huerva, V. Piggyback multifocal IOLs for a hyperopic-presbyopic surprise after cataract surgery in high myopic patients / V. Huerva// Cont. Lens Anterior Eye. – 2014. – Vol.37, №1. – P.57-59.

267. Huseynova, T. Small-aperture corneal inlay in patients with prior radial keratotomy surgeries / T.Huseynova, T Kanamori., G.O. Waring 4th. // Clin. Ophthalmol. – 2013. – Vol.7, №3. – P.1937-1940.

268. Huseynova, T. Small-aperture corneal inlay in presbyopic patients with prior phakic intraocular lens implantation surgery: 3- month results / T. Huseynova, T. Kanamori, G. O. Waring 4th, M. Tomita // Clin. Ophthalmol. – 2013. – Vol.7, №1. – P.1683-1686.

269. Iida, Y. Pseudophakic monovision using monofocal and multifocal lenses: hybrid monovision // Y. Iida, K. Shimizu, M. Ito / J. Cataract. Refract. Surg. – 2011. – Vol.37, № 11. – P. 2001-2005.

270. Impact of higher-order aberrations on accommodation in phakic presbyopic patients/ Y. Nochez, S. Salah, M. Bonneau, [et al.]// J. Fr. Ophtalmol. –2011. – Vol.34, №10. - P.715-722.

271. Impact on stereo-acuity of two presbyopia correction approaches: monovision and small aperture inlay / E.J. Fernández, C. Schwarz, P.M. Prieto [et al.] // Biomed. Opt. Express. – 2013. – Vol. 46 №6. – P.822-830.

272. Improvements in patient-reported outcomes and visual acuity after bilateral implantation of multifocal intraocular lenses with +3.0 diopter addition: multicenter

clinical trial / S.S. Lane, J.C. Javitt, D.A. Nethery, Waycaster C. // J. Cataract. Refract. Surg. – 2010. – Vol. 36, №11. – P. 18871896.

273. Intrastromal femtosecond laser-based presbyopia correction: 1-year results of a multicenter study/ M.P. Holzer, , M.C.Knorz, M. Tomalla [et al.] // J. Refract. Surg. – 2012. – Vol. 28, №3. – P.182-190.

274. Ito, M. Reading ability with pseudophakic monovision and with refractive multifocal intraocular lenses: comparative study / M. Ito, K.Shimizu // J. Cataract. Refract. Surg. – 2009. – Vol. 35, №9. – P. 1501-1504.

275. Jain, I.S. Early onset of presbyopia / I.S. Jain, J. Ram, A. Gupta // Am. J. Optom. Physiol. Opt. –1982. – Vol. 59, №12. – P.1002-1006.

276. Jain, S. Monovision outcomes in presbyopic individuals after refractive surgery/ S. Jain, R.Ou, D.T. Azar// Ophthalmology. – 2001. – Vol. 108, № 8. – P. 1430-1433

277. Javitt, J.C. Cataract extraction with multifocal intraocular lens implantation: a multinational clinical trial evaluating clinical, functional, and quality-of-life outcomes / J.C. Javitt, R.F. Steinert // Ophthalmology. – 2000. – Vol. 107, №11. – P.2040–2048.

278. Jendritza, B. Presbyopia correction using the AcuFocus ACI 7000TM corneal inlay / B. Jendritza, M.C. Knorz // XXVI Congress ESCRS: Abstracts. – Berlin, 2008. – P. 71–72.

279. Jenssen, F. Effects of static accommodation versus repeated accommodation on intraocular pressure // F. Jenssen, J. Krohn / J. Glaucoma. – 2012. –Vol.21, № 1. – P45-48.

280. Jones, C. E.. Changes in lens dimensions and refractive index with age and accommodation / C. E. Jones , D.A. Atchison, J.M. Pope // Optom.Vis. Science. – 2007. – Vol.84, № 10. – P.990-995.

281. Josephson, J.E. Clinical experience with the Tangent Streak RGP bifocal contact lens / J.E. Josephson, M. Wong, B.E. Caffery // J. Am. Optom. Assoc. – 1989. – Vol. 60, № 3. – P.166–170.

282. Julesz, B. Stereoscopic vision / B. Julesz// Vision. Res. – 1986. – Vol. 29, № 9. – P. 1601-1612.

283. Kajiura, M. Studies on presbyopia / M. Kajiura / Jpn. J. Ophthalmol. –1965. – Vol.9, №1. – P.85-92.

284. Kamlesh, M. S. Contrast sensitivity and depth of focus with aspheric multifocal versus conventional monofocal intraocular lens / M. S. Kamlesh, S. Dadeya, S. Kaushik //Can. J. Ophthalmol. – 2001. – Vol. 36, № 4. – P. 197-201.

285. Kasthurirangan, S. In vivo study of changes in refractive index distribution in the human crystalline lens with age and accommodation / S. Kasthurirangan, E. Markwell, D.A. Atchison // Invest. Ophthalmol. Vis. Science. – 2008. –Vol.49, № 6. – P.2531-2540.

286. Kasthurirangan, S. MRI study of the changes in crystalline lens shape with accommodation and aging in humans/ S. Kasthurirangan, E. Markwell, D.A. Atchison // J. Vis. – 2011. – Vol.11, № 3. URL: http://dx.doi.org/10.1167/11.3.19. 21.03.2013.

287. Kaufman, P.L. Enhancing trabecular outflow by disrupting the actin cytoskeleton, increasing uveoscleral outflow with prostaglandins, and understanding the pathophysiology of presbyopia interrogating Mother Nature: asking why, asking how, recognizing the signs, following the trail / P.L. Kaufman// Exp. Eye Res. – 2008. – Vol.86, № 1. – P.3-17.

288. Koretz, J.F. Accommodation and presbyopia in the human eye changes in the anterior segment and crystalline lens with focus/ J.F. Koretz, C. A. Cook, P. L. Kaufman // Invest. Ophthalmol. Vis. Sc. – 1997. – Vol. 38, No. 3. – P.569-578.

289. Koretz, J.F. Aging of the human lens: changes in lens shape upon accommodation and with accommodative loss /J.F. Koretz, C.A. Cook, P.L. Kaufman // J. Opt. Soc. – 2002. – Vol. 19, № 1. – P.144-151.

290. Krader, C.G. Light adjustable lenses outcomes/ C.G. Krader// Eurotimes. 2012.- Vol.17, № 4. -P.23. URL: http://issuu.com/eurotimes/docs/et17-4_issu/23. 12.11.2013.

291. Krueger, R. Ultrashort-pulse laser treating the crystalline lens; will they cause visionthreating cataract? (An American Ophthalmology Society Thesis) / R. Krueger, H. Uy, J. McDonald // Trans. Am. Ophthalmol. Soc. – 2012. –Vol.110. – P.130-165.

292. Krueger, R. Crystalline lens softening with the femtosecond laser for accommodation restoration/ R. Krueger, H.Uy // 5th Conference of International society of presbyopia: Abstract Book. – Amsterdam, 2013. – P. 8.

293. Laframboise, S. Effect of aging on stereoscopic interocular correlation / S.Laframboise, D. de Guise, J. Faubert // Optom. Vis. Sci. – 2006. – Vol.83, № 8. – P.589-593.

294. Langenbuchcr, A. Measurement of accommodation after implantation of an accommodating posterior chamber intraocular lens/ A. Langenbuchcr, S. Huber, N.X. Nguyen // J. Cataract Refract. Surg. – 2003.– Vol. 29, № 8. – P. 677-685.

295. LASIK for presbyopia correction in emmetropic patients using aspheric ablation profiles and a micro-monovision protocol with the Carl Zeiss Meditec MEL 80 and VisuMax / D.Z. Reinstein, G.I. Carp, T.J. Archer [et al.] // J. Refract. Surg. – 2012. – Vol. 28, № 8. – P.531–541.

296. Laughton, D.S. A longitudinal study of accommodative changes in biometry during incipient presbyopia/ D.S. Laughton, A.L. Sheppard, L.N. Davies // Ophthalmic Physiol Opt. 2016 – vol.36, №1 – p.33-42. doi: 10.1111/opo.12256Monovision surgery in myopic presbyopes: visual function and

satisfaction/ E. Levinger, O.Trivizki, R. Pokroy [et al.] // Optom. Vis. Sci. – 2013 – Vol. 90, № 10. – P. 1092-1097.

297. Lichtinger, A. Intraocular lenses for presbyopia correction: past, present, and future/ A. Lichtinger, D.S. Rootman // Curr. Opin. Ophthalmol. – 2012. – Vol. 23, №1 – P. 40-46.

298. Light-adjustable lens: customizing correction for multifocality and higher-order aberrations / C.A. Sandstedt, S.H. Chang, R.H. Grubbs [et al]// Trans. Am. Ophthalmol. Soc. – 2006. – Vol.104, № 12. – P. 29-39.

299. Light scattering and optical aberrations as objective parameters to predict visual deterioration in eyes with cataracts/ Fujikado T., Kuroda T., Maeda N., [et al.] // J. Cataract. Refract. Surg. – 2004.- Vol. 30, №6. – P.1198–1208.

300. Loewenfeld, I.E. The pupil: anatomy, physiology and clinical applications/ I.E. Loewenfeld - Boston: Butterworth-Heinemann, 1999. - 1590 p.

301. Lord, S.R. Multifocal glasses impair edge-contrast sensitivity and depth perception and increase the risk of falls in older people / S.R. Lord, J. Dayhew, A. Howland // J. Amer. Geriatr. Soc. – 2002. – Vol. 50, № 11. – P. 1760-1766.

302. Lossing, L.A. Measuring changes in ciliary muscle thickness with accommodation in young adults / L.A. Lossing, L.T. Sinnott, C.Y. Kao // Optom. Vis. Sci. – 2012. – Vol.89, № 5. – P.719-726.

303. Lowe, R.F. Aetiology of the anatomical basis for primary angle-closure glaucoma. Biometrical comparisons between normal eyes and eyes with primary angle-closure glaucoma/ R.F. Lowe// Br. J.Ophthal. – 1970. – Vol. 54, № 3. – P.161-169.

304. Lu, Q. Presbyopia and near-vision impairment in rural northern China /Q. Lu, W. He, G.V. Murthy// Invest. Ophthalmol. Vis. Sci. – 2011. –Vol.52, № 5. – P.2300-2305.

305. Luger, M.H. One-year experience in presbyopia correction with biaspheric multifocal central presbyopia laser in situ keratomileusis/ M.H. Luger, T. Ewering, S. Arba-Mosquera // Cornea. – 2013. – Vol. 32, №5. – P. 644-652.

306. Malyugin, B. Laser thermokeratoplasty for presbuopia solution in hyperopic patients//105th DOG Congress: Abstracts, CD-disk.- Berlin, 2007.

307. Malyugin, B. Anterior ciliary sclerotomy using collagen T-shaped implats for treatment of presbyopia / B. Malyugin, S. Antonian, B.D. Lohman //Ann. Ophthalmol. – 2008. – Vol.40, № 3. – P. 130-136.

308. Mathews, S. Scleral expansion surgery does not restore accommodation in human presbyopia/ S. Mathews // Ophthalmology. – 1999. – Vol.106, № 5. – P.873-877.

309. Mattison, J.A. Accommodative function in rhesus monkeys: effects of aging and calorie restriction / J.A. Mattison, M.A. Croft, D.B. Dahl // Age. – 2005. – Vol.27, № 1. – P. 59-67.

310. 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.

311. Meister, D.J. Progress in the spectacle correction of presbyopia. Part 2: Modern progressive lens technologies/ D.J. Meister, S.W. Fisher // Clin. Exp.Optom. – 2008. – Vol.91, № 3. – P. 251–264.

312. Meister, D.J. Progress in the spectacle correction of presbyopia. Part 1: Design and development of progressive lenses / D.J. Meister, S.W. Fisher // Clin. Exp. Optom. – 2008. – Vol. 91, № 3. – P. 240-250.

313. Mello, G.H. Femtosecond laser photodisruption of the crystalline lens for restoring accommodation // Presbyopia: origins, effects, and treatment / G.H. Mello, D. Smadja, R.R. Krueger Ed. By I. Pallikaris, S. Plainis, W.N. Charman. – Danvers: Slack incorporated. – 2012. – P. 225-232.

314. Meta-Analysis of Sex Differences in Presbyopia / A. Hickenbotham, A. Roorda, C. Steinmaus [et al.] // Invest. Ophthalmol. Vis. Sci. – 2012. – Vol. 53, № 6. – P. 3215-3220.

315. Mini-monovision versus multifocal intraocular lens implantation/ G. Labiris, A. Giarmoukakis, M. Patsiamanidi, [et al.] // J. Cataract. Refract. Surg. – 2015.- Vol.41, №1 – P.53-57.

316. Miranda, M.N. The geographic factor in the onset of presbyopia / M.N. Miranda // Trans. Am. Ophthalmol. Soc. –1979. – Vol.77, № 1. – P.603-621.

317. Modified monovision with spherical aberration to improve presbyopic through-focus visual performance / L. Zheleznyak, R. Sabesan, J.S. Oh [et al.] // Invest. Ophthalmol. Vis. Sci. – 2013. – Vol. 54, № 5. – P. 3157–3165.

318. Monochromatic aberrations of the human eye in a large population / J. Porter, A. Guirao, I.G. Cox, [et al.]// J. Opt. Soc. Am. A. Opt . Image Sci Vis. – 2008. – Vol.18, № 8. – P.1793-1803.

319. Mordi, J. Effects of 0.1% cyclopentolate or 10% phenylephrine on pupil diameter and accommodation/ J. Mordi, J. Tucker, W.N. Charman // Ophthalmic Physiol. Opt. – 1986. –Vol.6. – P. 221–227.

320. Mordi, J.A. Static aspects of accommodation: age and presbyopia / J.A. Mordi, K.J. Ciuffreda // Vision Res. – 1998. – Vol.38, № 11. – P.1643-1653/

321. Multifocal intraocular lens explantation: a case series of 50 eyes/ K.Kamiya, K. Hayashi, K.Shimizu, K. Negishi [et al.]// Am J Ophthalmol. - 2014 - vol. 158. № 2 - p.215-220.

322. Multifocal intraocular lenses: relative indications and contraindications for implantation. Braga-Mele R., Chang D., Dewey S., et al. JCRS 2014. 40. 313-322.

323. Myers, R.I. Novel approaches to correction of presbyopia with laser modification of crystalline lens/ R.I. Myers, R.R. Krueger // J. Refract Surg. – 1998. – Vol.14, № 2. - P.136-139.

324. Nicols, J.J. Contact lenses 2011/ J.J. Nicols// Annual report. Contact lens SPECTRUM – 2012 - №1. URL: http://www.clspectrum.com/articleviewer.aspx?articleid=106550. 01.03.2013

325. Nishi, T. Comparison of amplitude of pseudoaccommodation with aspheric yellow, spheric yellow, and spheric clear monofocal intraocular lenses/ T. Nishi, F. Taketani, N. Ueda // Clinical Ophthalmology. – 2013. - №7. – P. 2159-2164.

326. Nishida, S. Quantitative and morphometric studies of age related changes in human ciliary muscle/ S. Nishida, S. Mizutani // Jpn J Ophthalmol. –1992. –Vol.36, № 4. - P. 380-387.

327. Normal values of standard full field electroretinography in an Iranian population / M.M. Parvaresh, L.Ghiasian, K. Ghasemi Falavarjani [et al.] // J. Ophthalmic Vis. Res. – 2009. – Vol. 4, № 2. – P.97–101.

328. One-year outcomes with new generation multifocal intraocular lenses/ S. Cillino, A. Casuccio, F. Di Pace [et al.] // Ophthalmology. – 2008. – Vol. 115. – P. 1508-1516.

329. One-year safety and efficacy results of a hydrogel inlay to improve near vision in patients with emmetropic presbyopia / E.B. Garza, S.Gomes, A.Chayet, [et al.] // J. Refract. Surg. – 2013. – Vol. 29, № 3. – P.166-172.

330. Ong, H.S., Evans J.R., Allan B.D. Accommodative intraocular lens versus standard monofocal intraocular lens implantation in cataract surgery / H.S. Ong, J.R. Evans, B.D. Allan //Cochrane Database Syst Rev. – 2014. – №5. URL: http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/24788900. 12.10.2014

331. Optimal amount of anisometropia for pseudophakic monovision / K. Hayashi, M. Yoshida, S.I. Manabe [et al.] // J. Refract. Surg. – 2011. – Vol. 27, № 5. – P. 332-338.

332. O'Shea, R.P. «Trinocular rivalry ?» / R.P. O'Shea, S. Tep, U. Roeber, [et al.]// European conference visual perception: Abstracts. – Utrecht, 2008. - P. 127.

333. O'Shea, R.P. Predicting visual consciousness electrophysiologically from intermittent binocular rivalry / R.P. O'Shea, J. Kornmeier, U. Roeber // PLoS One. –2013. –№10. URL:http://www.10.1371/journal.pone.0076134. 04.01.2014.

334. Ostrin, L.A. Evaluation of a satisfied bilateral scleral expansion band patient / L.A. Ostrin, S. Kasthurirangan, A. Glasser // J. Cataract Refract. Surg. –2004.– Vol.30, №7. –P.1445–1453.

335. Owsley, C. Aging and Vision / C. Owsley // Vision Res. – 2011. –Vol.51, №1. –P. 1610–1622.

336. Pallikaris, I.G. PresbyLASIK approach for the correction of presbyopia/I.G. Pallikaris, S.I. Panagopoulou//Curr Opin Ophthalmol. 2015 –Vol. 26, №4 –p.265-272.

337. Pallikaris, I.G. Presbyopia surgery // Presbyopia: origins, effects, and treatment / I.G. Pallikaris. Ed. By I. Pallikaris, S. Plainis, W.N. Charman. – Danvers: Slack incorporated, 2012. – P. 141-142.

338. Pardue, M.T. Age-related changes in human ciliary muscle / M.T. Pardue, J.G. Sivak // Optom. Vis. Sci. – 2000. – Vol.77, №4. –P. 204–210.

339. Patel, I. Presbyopia: prevalence, impact, and interventions / I. Patel, S. K. West //Journal of Community Eye Health. – 2007. –Vol. 20, № 9. –P.40–41.

340. Patel S., Alió J.L., Feinbaum C. Comparison of Acri. Smart multifocal IOL, Crystalens AT-45 accommodative IOL, and Technovision presbyLASIK for correcting presbyopia. JRS 2008. 24. 294-299.

341. Pau, H. The increasing sclerosis of the human lens with age and its relevance to accommodation and presbyopia / H. Pau, J. Kranz // Graefe's Arch. Clin. Exp. Ophthalmol. – 1991. –Vol. 299, № 3. –P. 294–296.

342. Pavlin, C. J. Ultrasound biomicroscopy of the eye/ C. J. Pavlin, F.S. Foster - New York: Springer-Verlag, 1995. - 214 p.

343. Pepin, S.M. Neuroadaptation of presbyopia-correcting intraocular lenses / S.M. Pepin // Cur. Opinion Ophth. - 2008. – Vol. 19, N 1. – P.10-12.

344. Pepose, J.S. Small-aperture contact lenses for presbyopia / J.S. Pepose// J. Cataract Refract. Surg. – 2012. – Vol. 38, № 11. – P.2060–2061.

345. Peripheral visual acuity with monovision and other contact lens corrections for presbyopia / M.J. Collins, B. Brown, S.J. Verney [et al.] // Optom. Vis. Sci. – 1989. – Vol. 66, № 6. – P.370–374.

346. Pierscionek, B.K. Structure and physiology of the eye lens / B.K. Pierscionek, // Presbyopia: origins, effects, and treatment / Ed. By I. Pallikaris, S. Plainis, W.N. Charman. – Danvers: Slack incorporated, 2012. – P.61-67.

347. Pierscionek, B.K.The gradient index lens of the eye: an optobiological synchrony / B.K. Pierscionek, J.W. Regini // Prog Retin Eye Res. –2012. –Vol. 31, № 4. –P. 332-349.

348. Pinsky, P.M. Three-dimensional modeling of metabolic species transport in the cornea with a hydrogel intrastromal inlay/P.M. Pinsky// Invest. Ophthalmol. Vis. Sci. - 2014. - Vol. 55, № 5. - P. 3093-3106.

349. Pointer, J.S. The presbyopic add. II. Age-related trend and a gender difference / J.S. Pointer // Ophthalmic Physiol. Opt. – 1995. – Vol. 15, №4. – P. 241– 248.

350. Population-based study of presbyopia in Shahroud, Iran / H. Hashemi, M. Khabazkhoob, E. Jafarzadehpur [et al.] // Clin. Experiment. Ophthalmol. – 2012. – Vol. 40, № 9. – P.863-868.

351. Presbyopia, spectacles use and spectacle correction coverage for near vision among cloth weaving communities in Prakasam district in South India/ S. Marmamula, S. Narsaiah, K. Shekhar, [et al.] // Ophthal. Physiol. Opt. – 2013. – Vol.33, № 5. – P.597-603.

352. Qazi, M.A. Implantation of scleral expansion band segments for the treatment of presbyopia / M.A. Qazi, J.S. Pepose, J.J. Shuster // Am. J. Ophthalmol. – 2002. – Vol.134, № 6 – P. 808–815.

353. Quantification of agerelated and per diopter accommodative changes of the lens and ciliary muscle in the emmetropic human eye / K. Richdale, L.T. Sinnott, M.A. Bullimore [et al.] // Invest. Ophthalmol. Vis. Sci. –2013. – Vol. 7, № 2. – P. 1095–1105.

354. Range of refractive independence and mechanism of action of a corneal shape-changing hydrogel inlay: Results and Theory/ R.S. Steinert, J. Schwiegerling, A. Lang [et al.] // J. Cataract. Refract. Surg. – 2015. – Vol. 41, № 8. – P.1568–1579.

355. Richdale, K. Comparison of multifocal and monovision soft contact lens corrections in patients with low-astigmatic presbyopia / K. Richdale, G.L. Mitchell, K. Zadnik // Optom. Vis. Sci. – 2006 – Vol. 83, № 5. – P. 266–273.

356. Ruiz L.A. Intrastromal correction of presbyopia using a femtosecond laser system/ L.A. Ruiz, L.M. Cepeda, Fuentes V.C.// // J. Cataract. Refract. Surg. – 2007. – Vol. 23, № 9. – P.905–910.

357. Ryan, A. Corneal approach to hyperopic presbyopia treatment: six-month outcomes of a new multifocal excimer laser in situ keratomileusis procedure / A. Ryan, M. O'Keefe // J. Cataract. Refract. Surg. – 2013. – Vol. 39, № 8. – P.1226–1233.

358. Saladin, J.J. Presbyopia: new evidence from impedance cyclography supporting the Hess-Gullstrand theory / J.J. Saladin, L. Stark // Vision Research. –

359. Salmon, T.O. Normal-eye Zernike coefficients and rootmean-square wavefront errors / T.O. Salmon, C. van de Pol // J. Cataract Refract. Surg. – 2006. – Vol.32, № 1. – P. 2064–2074.

360. Schachar, R.A. Equatorial lens growth predicts the age-related decline in accommodative amplitude that results in presbyopia and the increase in intraocular

pressure that occurs with age / R.A. Schachar// Int. Ophthalmol. Clin. – 2008.– Vol. 48, № 11. – P.1-8.

361. Schachar, R.A. Zonular function: a new hypothesis with clinical implications / R.A. Schachar // Arch. Ophthalmol. – 1994. – Vol. 26, № 2 – P.36–38.

362. Schrecker, J.Silicone-Diffractive Versus Acrylic-Refractive Supplementary IOLs: Visual Performance and Manual Handling / J. Schrecker, S.Blass, A. Langenbucher // J. Refract Surg. – 2014 – Vol. 30, № 1. – P. 41-48.

363. Scleral expansion bands for presbyopia / F.J. Malecaze, C.S. Gazagne M.C. Tarroux [et al.] // Ophthalmology. – 2001. – Vol.108, № 12. – P.2165-2171.

364. Sheppard, A.L. In vivo analysis of ciliary muscle morphologic changes with accommodation and axial ametropia / A.L. Sheppard, L.N. Davies // Invest. Ophthalmol. Vis. Sci. – 2010.–Vol. 51, № 12. – P.6882-6889.

365. Sheppard, A.L. The effect of ageing on in vivo human ciliary muscle morphology and contractility/ A.L. Sheppard, L.N. Davies // Invest. Ophthalmol. Vis. Sci. – 2011. – Vol. 52, № 3. – P. 1809-1816.

366. Shimizu, K. Dissatisfaction after bilateral multifocal intraocular lens implantation: an electrophysiology study / K. Shimizu, M. Ito // J. Refract. Surg. – 2011. – Vol. 27, № 4. –P. 309-312.

367. Short-Term visual performance of novel extended depth-of-focus contact lenses / D.Tilia , R.C. Bakaraju , J. Chung , J. Sha et al.// Optom Vis Sci. 2016 -1. [Epub ahead of print] http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/26808384.

368. Singh, G. A complication of scleral expansion surgery for treatment of presbyopia / G. Singh, S. Chalfin // Am. J. Ophthalmol. – 2000. –Vol. 130, № 2. – P. 521–523.

369. Small-aperture corneal inlay implantation to treat presbyopia after laser in situ keratomileusis / M. Tomita, T. Kanamori, G.O. Waring 4th [et al.] // J. Cataract Refract. Surg. – 2013. –Vol. 39, № 6. – P. 898-905.

370. Stevens, M.A. Does sunlight cause premature aging of the crystalline lens? / M.A. Stevens, J.P. Bergmanson // J. Am Optom Assoc. –1989. –Vol. 60, № 9. – P.660-663.

371. Strenk, S.A. The mechanism of presbyopia / S.A. Strenk, L.M. Strenk, J.F. Koretz // Prog. Retin. Eye. Res. – 2005. – Vol. 24, № 3. – P. 379–393.

372. Strenk, S.A. Magnetic resonance imaging of the anterioposterior position and thickness of the aging, accommodating, phakic, and pseudophakic ciliary muscle / S.A. Strenk, L.M. Strenk, S. Guo // J. Cataract. Refract. Surg. – 2010. – Vol. 36, № 2. – P. 235-241.

373. Surgical intervention and accommodative responses: I. Centripetal ciliary body, capsule and lens movement in rhesus monkeys of varying age / M. A. Croft, J.P. Mcdonald, R.J. James [et al.] // Invest. Ophthalmol. Vis. Sci. – 2008. – Vol.49, №12. – P.5484-5494.

374. Swegmark, G. Studies with impedance cyclography on human ocular accommodation at different ages / G. Swegmark, // Acta Ophthalmologica. –1969. – Vol. 47, № 5. –P. 1186–1206.

375. Takhchidi K. Holmium: YAG laser thermokeratoplasy (LTK) to correct hyperopia in presbyopic patients/ K. Takhchidi, Malyugin B., Mushkova I.// XXV Congress of the ESCRS. – Stockholm, 2007 – P.140.

376. Tan, N., Zheng D., Ye J. Comparison of visual performance after implantation of 3 types of intraocular lenses: accommodative, multifocal, and monofocal / N. Tan, D. Zheng, J. Ye // Eur. J. Ophthalmol. – 2014. – №1. – Vol. 24, № 5 – P.693-698.

377. The prevalence and risk indicators of uncorrected refractive error and unmet refractive need in Latinos: the Los Angeles Latino Eye Study / R. Varma, M.Y. Wang, M. Ying-Lai [et al.] // J. Invest. Ophthalmol. Vis. Sci. – 2008. – Vol. 49, № 12. – P. 5264–5273.

378. Thompson, H.S. The pupil //Adler's Physiology of the Eye / H.S. Thompson, Ed. by W.M. Hart, 9th ed. - St. Louis: Mosby-Year Book, 1992. – P. 412-441.

379. Timiras, S. Physiological Basis of Aging and Geriatrics. 4th edition/ S. Timiras, - New York: Informa Healthcare, 2007. - 536 p.

380. Tsimbaris, M.K. Cataract surgery and monofocal intraocular lenses. Refractive and presbyopia considerations // Presbyopia: origins, effects, and treatment / M.K. Tsimbaris, E. Detorakis, G. Kontadakis Ed. By I. Pallikaris, S. Plainis, W.N.Charman. – Danvers: Slack incorporated, 2012. – P. 151-160.

381. Ueda, K. Contrast visual acuity with bifocal contact lenses / K. Ueda, Y. Inagaki // Eye. Contact. Lens. – 2007. – Vol. 33, № 2. – P. 98-102.

382. Unilateral sulcus implantation of the Crystalens HD/ I.G. Pallikaris, A.E. Karavitaki, G.D. Kymionis [et al.] // J. Refract. Surg. –2012. – №4. –P.299-301. URL: 10.3928/1081597X-20120127-01. 11.06.2014.

383. Use of the light-adjustable lens to correct astigmatism after cataract surgery/ A. Chayet , C. Sandstedt, S. Chang [et al.] // Br. J. Ophthalmol. – 2010. – Vol. 94, № 6. – P. 690-692.

384. van der Mooren, M. Explanted multifocal intraocular lenses/M. van der Mooren, R. Steinert, F. Tyson F [et al.] // J Cataract Refract Surg. - 2015 - vol. 41, №4. – p. 873-880.

385. Vignetting and field of view with the KAMRA corneal inlay / A. Langenbucher, S. Goebels, N. Szentmáry [et al.] // Biomed. Res. Int. –Epub 2013. – Vol. 13. URL: http://dx.doi.org/10.1155/2013/154593 22.11.2014.

386. Visual function through 4 contact lens–based pinhole systems for presbyopia /S. García-Lázaro, T. Ferrer-Blasco, H. Radhakrishnan [et al.] // J.Refract. Surg. – 2012. – Vol. 38, № 5. – P. 858-865.

387. Visual outcome and patient satisfaction after multifocal intraocular lens implantation: asperic versus spherical design / N.E. de Vries, C.A. Webers, F.

Verbakel [et al.]. // J. of Cataract. and Refr. Surgery. – 2010. – Vol.36. – P. 1897-1904.

388. Visual performance of patients with bilateral vis combination Crystalens, Rezoom and Restor intraocular lens implants / J.S. Pepose, M.A. Qazi, J. Davis [et al.]// Am. J. Ophthalmol. - 2007. – Vol. 144, № 3. - P. 347-357.

389. Vojniković, B. Arteficially induced "monovision" is vitium artis and in reality corresponds with the "Monofixation Syndrome" / B. Vojniković // Coll. Antropol. – 2013. – Vol. 37, № 1. – P.107–109.

390. Wang, B. Depth of focus of the human eye: theory and clinical implications / B. Wang// Survey of Ophthalmologe. – 2006. – Vol. 51, № 1. - P.75-85.

391. 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.

392. Wang, Z.Q. Depth of focus extended intraocular lenses and their optical performances in a pseudophakic eye model/ Z.Q. Wang, F. Rao, Y.I. Liu // Abstracts of 5th International Symposium on Advanced Optical Manufacturing and Testing Technologies: Advanced Optical Manufacturing Technologies. 2010. URL:http://adsabs.harvard.edu/abs/2010SPIE.7655E.0DW.

393. Weale, R. A. Presbyopia / R. A. Weale // Brit. J. Ophthal. –1962. –Vol. 46. – P.660-668.

394. Weale, R.A. Epidemiology of refractive errors and presbyopia / R.A. Weale// Surv.Ophthalmol. – 2003. – Vol. 48, № 5. – P. 515-43.

395. Weindruch, R. Caloric intake and aging / R. Weindruch, R. S.Sohal // New Engl. J. Med. – 1997. – Vol. 337. – P. 984-986.

396. Weindruch, R.The retardation of aging and disease by dietary restriction // R.Weindruch, R. Walford - Illinois: Springfield, 1988. - 436 p.

397. Weinert, B.T. Invited review: Theories of aging/ B.T. Weinert, P.S. Timiras / B.T. Weinert, P.S. Timiras//J Appl Physiol. –2003. Vol. 95, № 4. –P. 1706-1716.

398. Werner, J. Neural changes in vision affecting the presbyopic eye // Presbyopia: origins, effects, and treatment / J.Werner, M. Webster Ed. By I. Pallikaris, S. Plainis, W.N. Charman. – Danvers: Slack incorporated, 2012. – P. 85–91.

399. Werner, J.S. Optics and vision of the aging eye // Handbook of optics / J.S. Werner, B.E. Schefrin, A.Bradley Ed. by M. Bass, J.M. Enoch, V. Lakshminarayanan. - New York: McGraw-Hill, 2010. - Vol. 3. - P. 1411–1438.

400. Woodward, M.A. Dissatisfaction after multifocal intraocular lens implantation / M.A. Woodward, J.B. Randleman, R.D. Stulting // J. Cataract Refract. Surg. – 2009. –Vol. 35, № 6. – P. 992–999.

401. Wyatt, H.J. Application of a simple mechanical model of accommodation of the aging eye/ H.J. Wyatt // Vision Res. – 1993. –Vol. 33, № 5-6. – P.731-738.

402. Yilmaz, O.F. Intracorneal inlay to correct presbyopia: Long-term results /O.F. Yilmaz, N. Alagцz, G. Pekel// J. Cataract Refract. Surg. - 2011. - Vol. 37, № 7. - P. 1275-1281..

403. Yuen, L. Two cases of Z syndrome with the Crystalens after uneventful cataract surgery / L. Yuen, W. Trattler, B.S. Boxer Wachler // J. Cataract. Refract. Surg. – 2008. – Vol. 34, № 11. – P.1986–1989.