# ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ «НАЦИОНАЛЬНЫЙ МЕДИЦИНСКИЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР «МЕЖОТРАСЛЕВОЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС «МИКРОХИРУРГИЯ ГЛАЗА» ИМ. АКАД.С.Н.ФЕДОРОВА» МИНИСТЕРСТВА ЗДРАВООХРАНЕНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

На правах рукописи

## куликов илья викторович

## ФЕМТОЛАЗЕР-АССИСТИРОВАННАЯ ЭКСТРАКЦИЯ КАТАРАКТЫ ПРИ ПОДВЫВИХЕ ХРУСТАЛИКА І СТЕПЕНИ

14.01.07 – глазные болезни

## ДИССЕРТАЦИЯ

на соискание ученой степени кандидата медицинских наук

Научный руководитель:

доктор медицинских наук,

профессор Б.Э. Малюгин

Москва 2020

## оглавление

Список сокращений	4
В ВЕДЕНИЕ	5
ГЛАВА 1 ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ	. 14
1.1 Катаракта и подвывих (эктопия) хрусталика: распространенность, эпидемиология	. 14
1.2 Особенности хирургии подвывиха хрусталика при ФЭК	. 17
1.3 Лазерные технологии в хирургии катаракты. Фемтолазер- ассистированная экстракция катаракты	. 23
1.4 Фемтолазерное сопровождение при подвывихе хрусталика	. 33
1.5 Ранние и поздние смещения ИОЛ, способы определения наклона и децентрации	. 36
ГЛАВА 2 МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ	. 42
2.1 Дизайн исследования	. 42
2.2 Общая характеристика материала исследований	. 44
2.3 Клинико-функциональные методы исследования	. 47
2.3.1 Стандартное диагностическое обследование	. 47
2.3.2 Методы специальных и дополнительных диагностических исследований	. 50
2.4. Предоперационная подготовка	. 53
2.5 Техника ФЭК у пациентов с подвывихом хрусталика I степени	. 56
2.6 Статистическая обработка данных	. 57
ГЛАВА З ОПТИМИЗАЦИЯ ТЕХНИКИ ФЕМТОЛАЗЕР- АССИСТИРОВАННОЙ ЭКСТРАКЦИИ КАТАРАКТЫ ПРИ	
ПОДВЫВИХЕ ХРУСТАЛИКА	. 58
3.1 Техника ФЛАЭК у пациентов с подвывихом хрусталика	. 58
3.1.1 Фемтолазерный этап операции для выполнения капсулорексиса,	
факофрагментации и роговичных разрезов	. 61
3.1.2 Этап факоэмульсификации катаракты	. 63
ГЛАВА 4 РЕЗУЛЬТАТЫ СРАВНИТЕЛЬНЫХ КЛИНИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ	. 68

4.1. Анализ ультразвуковых и гидродинамических параметров
4.2 Клинико-функциональные результаты 70
4.2.1 Операционные и послеоперационные осложнения
4.2.2 Рефракционные и кератометрические показатели
4.2.3 Острота зрения 73
4.2.4 Аберрации высшего порядка 77
4.2.5 Показатели центральной толщины роговицы и глубины передней камеры глаза
4.2.6 Показатели центральной толщины сетчатки
4.2.7 Показатели внутриглазного давления
4.2.8 Плотность клеток заднего эпителия роговицы
4.3 Определение положения ИОЛ в капсульном мешке
4.3.1 Определение наклона и децентрации ИОЛ по данным ОСТ с помощью замеров и расчетов по авторской методике
4.3.2 Определение псевдофакодонеза ИОЛ с помощью анализа изображений Пуркинье
ЗАКЛЮЧЕНИЕ
ВЫВОДЫ112
ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ114
ЛИТЕРАТУРА 116

#### Список сокращений

- ЗЭР задний эпителий роговицы
- ВГД внутриглазное давление, мм
- ВКК внутрикапсульное кольцо
- ИОЛ интраокулярная линза
- КОЗ корригированная острота зрения
- Мкм микрометр
- НКОЗ некорригированная острота зрения
- НПВС нестероидные противовоспалительные средства
- ПЗО передне-задняя ось глазного яблока
- ПК передняя камера, мм
- ПЭС псевдоэксфолиативный синдром
- УБМ ультразвуковая биомикроскопия
- ФЭК факоэмульсификация катаракты
- ФЛАЭК фемтолазер-ассистированная экстракция катаракты
- ФСЛ фемтосекундный лазер
- ЦТР центральная толщина роговицы, мкм
- ЦТС центральная толщина сетчатки в макулярной зоне, мкм
- Decimal десятичная система для определения остроты зрения по таблицам Сивцева Д.А., Головина С.С., Снеллена, построенным по принципу эмпирической или арифметической прогрессии изменения размеров букв со знаменателем 1,0
- D-diopter, диоптрия
- HOA (Total HOA Higher Order Aberrations) общее значение всех аберраций высшего порядка, мкм
- LogMar геометрическая прогрессия изменения размеров оптотипов со знаменателем 1,26, используемая в таблицах Бейли Лоуви
- ОСТ (Optical Coherence Tomography) оптическая когерентная томография

#### введение

Разработка инновационных технологий хирургии катаракты обусловлена социальной значимостью задачи минимизации осложнений и получения высоких функциональных результатов лечения одного из наиболее распространенных заболеваний органа зрения (Федоров С.Н., 1977; Либман Е.С., 2005; Малюгин Б.Э., 2002; Першин К.Б., 2006; Koopman S., 2012; Нероев В.В., 2019; Kranitz K., 2011; Анисимова С.Ю., Анисимов С.И., Трубилин В.Н., 2013; Ascaso F. J., 2015; Harrer A., 2017).

Больных с подвывихом хрусталика исследователи относят к наиболее сложной категории, лечение которых требует не только высокой квалификации хирурга, но и особых технологий (Паштаев Н.П., 2007; Виговский А.В., 2002; Шиловских О.В., 2006; Головин А.В., 2011; Hoffman R.S., 2015; Crema A.S., 2015; Chee S.P., 2017). Широкий круг заболеваний, сопровождающихся сублюксацией хрусталика различной степени, также актуализирует данную проблему (Masket S., Osher R.H., 2002; Conway R.M., 2004; Kohnen T., 2010; Shingleton B.J., 2010; Егоров В.В., 2013).

Дефекты и разрывы цинновой связки различного генеза предопределяют возможные осложнения при выполнении ультразвуковой факоэмульсификации катаракты (ФЭК), которые, в свою очередь, являются одной из причин смещения интраокулярной линзы (ИОЛ) (Naumann G.O., 1988; Davis D., 2009; Hayashi K., 2007). Качественное выполнение капсулорексиса и сохранение капсульного мешка при подвывихе хрусталика являются основными условиями предупреждения осложнений и получения высоких функциональных результатов (Schneiderman T.E. 1997; Иошин И.Э., 2002; Егорова Э.В., 2001; Werner L., 2012; Wang B.Z., 2013).

Среди энергетических технологий хирургия катаракты малых разрезов

при ФЭК является приоритетным методом в ведущих клиниках мира (Тахчиди Х.П., 2004; Малюгин Б.Э., 2009; Азнабаев В.М., 2014; Hoffman R.S., 2013). Российские офтальмохирурги совместно с инженерами одними из первых в мире разработали лазерную технологию экстракции катаракты (Федоров С.Н., Копаева В.Г., Андреев Ю.В., 1997; Копаев С.Ю., 2010, 2015).

Внедрение в офтальмологию фемтосекундного лазера (ФСЛ) с длиной волны 1053 нм стало большим достижением в этой области (Juhász T., Kurtz R.M., 1997). Преимуществом данной технологии являются скорость, с которой работает лазер, и короткая продолжительность импульса, составляющая 10<sup>-15</sup>с, что минимизирует тепловой эффект и повреждение тканей (Koenig K., 2001; Donaldson K., 2013).

Ряд исследований показал, что фемтолазер-ассистированная экстракция катаракты (ФЛАЭК) обеспечивает капсулотомию более точной формы и локализации (Friedman N.J., 2011; Трубилин А.В., 2015; Nagy Z.Z., 2009; Filkorn T., 2013; Reddy K.P., 2013; Sandor G.L., 2014; Kohnen T., 2014), лучшую центрацию ИОЛ (Nagy Z.Z., Kránitz K., 2011), сокращение времени факоэмульсификации (Hatch K.M., 2015; Yu A.Y., 2015), снижение мощности и времени работы ультразвука (Daya S.M., 2014; Abell R.G., 2014; Chen X., 2013), значительное уменьшение частоты послеоперационных воспалительных процессов и отеков роговицы (Abell R.G., 2014; Ang R.E, 2018), более быструю функциональную реабилитацию (Friedman N.J., 2011; Bascaran L., 2018).

Несмотря на ряд потенциальных преимуществ этой технологии, имеют место данные, что клинико-функциональные показатели ФЛАЭК значимо не отличаются от ФЭК (Day A.C., 2016; Abell R.G., 2013, Reddy K.P., 2013; Popovich M., 2016) и нередко сопровождаются разного рода осложнениями, связанными с использованием лазерной энергии (Mastropasqua L., 2014; Sperl P., 2017; Lee A.G., 2000; Nagy Z.Z., 2014; Yeoh R., 2014).

В то же время применение технологии ФЛАЭК у пациентов со слабостью связочного аппарата хрусталика различного генеза и степени выраженности обеспечивает качественное выполнение капсулорексиса, сохранность капсульного мешка и четкое позиционирование ИОЛ (Hoffman R.S., 2013; Crema A.S., 2015; Titiyal J.S., 2019). Уникальными особенностями фемтосекундного лазера являются его способность создавать неосложненную капсулотомию точно заданного диаметра и центрации, фрагментировать хрусталик при закрытой передней камере глаза, минимизируя внутриглазные манипуляции и воздействие на связки хрусталика что особенно важно при его подвывихе (Schultz T., 2013; Grewal D.S., 2014; Chee S-P., 2016).

Стабильное положение ИОЛ после факоэмульсификации, влияние ее смещений на рефракционные данные и качество зрительных функций являются одними из актуальнейших вопросов офтальмохирургии (Monestam E.I., 2018; Wang X., 2013; Lane S., 2019). Поздняя дислокация ИОЛ все больше привлекает внимание и волнует офтальмологов (Mönestam E.I., 2009; Gimbel H.V., 2005). Риск этого осложнения значимо выше у пациентов с синдромом псевдоэксфолиации и подвывихом хрусталика (Assia E.I., 1991; Hayashi K., 2007; Cionni R.J., 2004).

Измерение величины наклона ИОЛ, связанного с псевдофакодонезом, также представляет значительный интерес, поскольку позволяет оценить влияние хирургической технологии на связочный аппарат хрусталика. В доступной литературе исследования по данной проблеме единичны (Kumar D.A., Agarwal A., 2018).

Таким образом, совершенствование хирургии катаракты с подвывихом хрусталика продолжает оставаться одной из сложных, малоизученных и актуальных проблем в офтальмологии. Применение ФСЛ в таких случаях весьма значимо и актуально.

Резюмируя вышесказанное, следует заключить, что ФСЛ с помощью программного обеспечения под контролем ОСТ выполняет важнейшие этапы операции – круговой центрированный капсулорексис и факофрагментацию без вскрытия передней камеры глаза на стабилизированном после аппланации глазе, что при подвывихе несет реальные возможности сделать операцию более щадящей и предсказуемой, добиться сокращения внутриглазных манипуляций и меньше воздействовать на ослабленные связки. Это позволяет снизить риск возможных осложнений И дислокации ИОЛ В послеоперационном периоде. Однако все это требует своего клинического обоснования, оптимизации технических параметров фемтоэтапа и накопления убедительных данных о том, является ли ФЛАЭК столь же безопасной, как традиционные методики, и может ли обеспечить существенно лучшие результаты экстракции катаракты при подвывихе хрусталика.

#### Цель исследования

Разработка оптимизированной технологии фемтолазерассистированной экстракции катаракты у пациентов с подвывихом хрусталика I степени.

#### Задачи исследования

1. Разработать эффективные и безопасные параметры технологии ФЛАЭК для выполнения капсулорексиса, фрагментации ядра хрусталика, роговичных разрезов при подвывихе хрусталика.

2. Провести анализ ультразвуковых и гидродинамических интраоперационных параметров этапа факоэмульсификации фемтолазерассистированной экстракции катаракты в сравнении с ультразвуковой факоэмульсификацией катаракты.  Провести сравнительный анализ осложнений после факоэмульсификации фемтолазер-ассистированной экстракции катаракты в сравнении с ультразвуковой факоэмульсификацией катаракты.

4. Провести оценку клинико-функциональных результатов в зависимости от применяемой хирургической технологии.

5. Провести сравнительную оценку стабильности положения ИОЛ с помощью оптической когерентной томографии и анализа изображений Пуркинье в раннем и отдаленном периодах после факоэмульсификации фемтолазер-ассистированной экстракции катаракты и ультразвуковой факоэмульсификации катаракты.

#### Научная новизна

1. Впервые разработаны параметры лазерного этапа фемтолазерассистированной экстракции катаракты с подвывихом хрусталика I степени, обеспечивающие статистически значимое уменьшение общего времени работы продольного и торсионного ультразвука, а также аспирации на этапе эвакуации хрусталика, что приводит к непродолжительной зрительной реабилитации пациентов по сравнению с традиционной ФЭК.

2. Впервые по данным ОСТ на основании анализа изображений Пуркинье доказан меньший факодонез и более стабильное положение ИОЛ у пациентов с подвывихом хрусталика после ФЛАЭК по сравнению с традиционной ФЭК.

 Впервые проведен сравнительный анализ клиникофункциональных результатов после ФЛАЭК и ФЭК у пациентов с подвывихом хрусталика I степени.

#### Практическая значимость

1. Показано, что ускоренная зрительная реабилитация в раннем послеоперационном периоде пациентов после ФЛАЭК обусловлена снижением отека роговицы за счет уменьшения общего времени работы ультразвука, времени аспирации на этапе эвакуации хрусталика по сравнению с традиционной ФЭК.

2. Установлено, что технология ФЛАЭК по сравнению с ФЭК оказывает более щадящее воздействие на ослабленный связочный аппарат при подвывихе хрусталика, тем самым обеспечивая стабильное положение ИОЛ в капсульном мешке в течение года после операции.

3. Показано, что стабилизация глазного яблока и подвывихнутого хрусталика за счет повышения ВГД при аппланации во время фемтоэтапа ФЛАЭК обеспечивает качественное выполнение центрированного по данным ОСТ капсулорексиса в определенных энергетических режимах и снижает риск возможных осложнений во время факоэмульсификации в раннем и отдалённом послеоперационных периодах по сравнению с традиционной ФЭК.

4. Разработана технология ФЛАЭК у пациентов с подвывихом хрусталика I степени.

#### Основные положения, выносимые на защиту

Разработанная технология фемтолазер-ассистированной экстракции катаракты у пациентов с подвывихом хрусталика I степени, заключающаяся в выполнении после аппланации глазного яблока неосложненного центрированного капсулорексиса четко заданного диаметра И предварительной факофрагментации, позволяет провести второй этап факоэмульсификации катаракты с уменьшением нагрузки на связочный аппарат хрусталика за счет снижения манипуляций в передней камере. Это приводит риска операционных К минимизации возможных И послеоперационных осложнений, обеспечивает сохранность волокон цинновой связки хрусталика, способствует четкому позиционированию и отсутствию выраженных смещений комплекса ИОЛ - капсульный мешок в отличие от традиционной факоэмульсификации и обеспечивает в итоге быструю и качественную зрительную реабилитацию пациентов с высокими клинико-функциональных результатами.

#### Апробация работы

Основные положения диссертации доложены и обсуждены на XVI, XVII. Всероссийских научно-практических конференциях XXI с международным участием «Современные технологии катарактальной и рефракционной хирургии» (Москва, 2015, 2016, 2019); XI Всероссийской научно-практической конференции ученых «Современные молодых технологии в офтальмологии» (Москва, 2016); XII Всероссийской научной конференции молодых ученых с международным участием «Актуальные проблемы офтальмологии» (Москва, 2017); научно-клинической конференции (Чебоксары, 6 июня 2017) и юбилейной Всероссийской научно-практической конференции «Фемтосекундные технологии в офтальмологии» (Чебоксары, 25 августа 2017); XXVIII Всероссийской научно-практической конференции «Новые технологии микрохирургии глаза» (Оренбург, 2017); XXXV Congress of European Society of Cataract and Refractive Surgeons (ESCRS) (Lisbon, Portugal, 2017); 36th Congress of European Society of Cataract and Refractive Surgeons (ESCRS) (Vienna, Austria, 23 September 2018); региональной конференции «Новые технологии в офтальмологии», посвященной дню C.H. Федорова (Чебоксары, рождения академика 9 августа 2019); Всероссийской научно-практической конференции с международным

участием «Лазерная интраокулярная и рефракционная хирургия» (Санкт-Петербург, 13–14 декабря 2019).

#### Публикации

По теме исследования опубликовано 16 работ, из них 5 – в журналах и изданиях, которые включены в перечень периодических научных изданий Российской Федерации, рекомендованных ВАК для публикации основных результатов диссертаций на соискание ученой степени кандидата и доктора наук. Получено 2 патента Российской Федерации (№ 2665678, № 2683932).

#### Реализация результатов работы

Результаты исследования внедрены в клиническую практику профильных отделений ФГАУ «НМИЦ «МНТК «Микрохирургия глаза» им. акад. С.Н. Фёдорова» Минздрава России. Материалы работы включены в курс обучающих лекций научно-образовательного центра ФГАУ «НМИЦ «МНТК «Микрохирургия глаза» им. акад. С.Н. Фёдорова» Минздрава России.

#### Структура и объём работы

Диссертация изложена на 136 страницах компьютерного текста и состоит из введения, обзора литературы, четырех глав собственных исследований, заключения, выводов, практических рекомендаций и списка литературы. Работа иллюстрирована 15 рисунками, 19 таблицами. Список литературы содержит 41 отечественный и 138 иностранных источника. Работа выполнена в отделе хирургии хрусталика и интраокулярной коррекции ФГАУ «НМИЦ «МНТК «Микрохирургия глаза» им. акад. С.Н. Фёдорова» Минздрава России под руководством профессора, д.м.н. Малюгина Б.Э. (зав. отделом доктор медицинских наук Копаев С.Ю., зав. отделением, кандидат медицинских наук Пантелеев Е.Н.) и на базе катарактального отделения Чебоксарского филиала ФГАУ «НМИЦ «МНТК «Микрохирургия глаза» им. акад. С.Н. Фёдорова» Минздрава России (директор филиала доктор медицинских наук Поздеева Н.А.).

#### ГЛАВА 1 ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

### 1.1 Катаракта и подвывих (эктопия) хрусталика: распространенность, эпидемиология

Катаракта – заболевание глаза, основной признак которого – стойкие помутнения хрусталика различной степени выраженности, сопровождающиеся снижением остроты зрения. Катаракта – это наиболее частая причина предотвратимой слепоты в мире, диагностируется у 60–90% людей, достигших 60-летнего возраста. Распространенность катаракты в Российской Федерации по критерию обращаемости составляет 1201,5 на 100 тыс. населения [36; 41]. Формированию катаракты могут способствовать различные неблагоприятные факторы: старение организма, воздействие различного излучения или химических веществ, обменные и иммунные нарушения, воспаления и другие заболевания глаза.

В настоящее время экстракция катаракты является одной из наиболее часто выполняемых офтальмологических операций в мире [110]. По оценкам Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ), ежегодно выполняется примерно 18 миллионов вмешательств по удалению катаракты. В ближайшей перспективе из-за демографических процессов старения населения эта цифра может вырасти до 24 миллионов [56]. Кроме этого, отмечен рост выполнения ФЭК у лиц работоспособного возраста, что повышает требования к срокам реабилитации и качеству зрения после операции. Среди лиц в возрасте не моложе 50 лет распространенность катаракты выше, чем распространенность глаукомы и возрастной дегенерации желтого пятна в совокупности [89].

В России за последние 10 лет активизировалась хирургическая деятельность стационаров. Объем хирургии катаракты в рамках

высокотехнологичной офтальмологической помощи в 2008-2018 годах. увеличился на 37% [31]. Большинство ведущих клиник практически полностью перешли на хирургию катаракты малых разрезов, удаляя до 98% катаракт методом факоэмульсификации с имплантацией эластичной модели ИОЛ [27]. Современный подход к оперативному лечению катаракты предусматривает деление хрусталика на фрагменты и их эвакуацию из полости глаза при помощи ультразвуковых колебаний, а также использование высоких значений вакуума. Несмотря на то, что этот подход был впервые успешно 40 назад, реализован эволюция ультразвуковой почти лет тому факоэмульсификации [26]. Необходимость разработки продолжается инновационных технологий хирургии катаракты определяется социальной и профессиональной значимостью задачи, согласно которой катаракта является одной из основных причин устранимой слепоты.

B хирургии осложненных катаракт наибольшие проблемы для офтальмолога представляют катаракты, ассоциированные с локальными дефектами и слабостью цинновой связки [28]. При нарушении связочного аппарата хрусталика возникает его смещение – эктопия, что сопровождается анатомо-топографическими изменениями структуры переднего отрезка глаза [36; 37; 97]. Пациенты с подвывихом хрусталика относятся к сложной категории больных на протяжении многих десятилетий, что определяется не только клиникой, но и значительным риском операционных (разрыв задней капсулы, выпадение стекловидного тела и др.) и послеоперационных (вторичная глаукома, отслойка сетчатки, иридоциклит и др.) осложнений, неудовлетворительным исходом лечения [34]. Наличие подвывихнутого хрусталика является одной из наиболее тяжелых ситуаций, с которой сталкивается хирург [36; 37]. В общей популяции больных с возрастной катарактой подвывих хрусталика встречается в 5–15% случаев [13]. По мнению авторов, подвывих хрусталика I степени по классификации Паштаева Н.П., встречающийся в 12,6% случаев, представляет опасность для хирурга,

что обусловлено сложностью предоперационной диагностики данной патологии и обнаружением проблемы непосредственно на операционном столе [7].

Подвывих хрусталика возникает из-за наличия дефектов или растяжения цинновой связки, развивающихся под влиянием различных факторов [80; 147].

врожденные и приобретенные, Дислокации хрусталика бывают травматические и спонтанные [34]. Спонтанные смещения хрусталика на фоне катаракты обусловлены, как правило, дегенеративными изменениями волокон цинновой связки воспалительного или возрастного характера. Несостоятельность связок хрусталика может быть локализованной или обширной. Травмы глаза или врожденные дефекты могут приводить к локализованному повреждению цинновой связки. Такие системные заболевания, как синдром Марфана, псевдоэксфолиативный синдром (ПЭС) и др., могут вызывать обширные изменения и в других структурах глаза [97].

Эффективным методом для оценки степени повреждения цинновой связки является ультразвуковая биомикроскопия (УБМ), позволяющая определить тактику предстоящего хирургического лечения пациентов [36; 13; 32; 11]. По данным Аветисова С.Э. и соавт. (2002), подвывихи хрусталика целесообразно увязывать с дефектами его связочно-капсулярного аппарата, учитывая тесную связь между этими анатомическими образованиями, что морфологическом уровне подтверждено исследованиями на [1]. В публикациях наиболее частой причиной возникновения (до 50% случаев) слабости связок хрусталика отмечается ПЭС, при котором происходит прогрессирующая деградация, приводящая в факодонезу и подвывиху хрусталика, а также к позднему псевдофакодонезу и дислокации ИОЛ [109; 71; 102; 21; 68; 127; 166]. Нередко факторами риска для ослабления связочного аппарата хрусталика, влияющими на результаты ФЭК и стабильное положение ИОЛ, отмечены также глаукома [123], миопия высокой степени, травмы, увеиты, сахарный диабет и др. [165; 93; 179].

#### 1.2 Особенности хирургии подвывиха хрусталика при ФЭК

Методы лечения подвывиха хрусталика менялись И совершенствовались не одно столетие: от реклинации до ФЛАЭК [34; 97; 29; 5; 25; 6]. На ранних этапах помутневший хрусталик механически смещали в полость стекловидного тела путем практически полного разрыва цинновой связки при помощи специальной иглы. В XVI веке появилась методика, названная дисцизией. Она заключалась в повреждении капсулы хрусталика, запуске процессов резорбции хрусталикового вещества, сморщивании капсулы хрусталика и исключении хрусталика из оптической системы. С XVIII по XX век было предложено множество различных приспособлений для менее травматичного захвата и удаления помутневшего хрусталика. Но лишь в 60-х годах XX века Чарльзом Келманом была изобретена методика ФЭК, в корне изменившая операционный подход к лечению катаракты, в том числе осложненной несостоятельностью связок хрусталика [104].

По мере освоения и внедрения в широкую практику нового подхода к лечению катаракты постепенно обозначились основные проблемные моменты технологии стандартной ФЭК. В первую очередь, это невозможность выполнения идеально ровного капсулорексиса, что может приводить к неправильному положению ИОЛ и, как следствие, к вероятности отклонения получаемой рефракции от запланированной, возникновению аберраций высшего порядка [38]. Кроме того, следует отметить, что факт отрицательного воздействия ультразвука на внутренние структуры глаза сохраняет свою значимость и излишние затраты ультразвука для факофрагментации плотных катаракт могут приводить к потере эндотелиальных клеток роговицы и являться фактором риска такого интраоперационного осложнения, как разрыв капсулы хрусталика [36; 25; 6 ; 97; 38]. Отмечены также затруднения при фрагментации плотного ядра хрусталика. Неверная конфигурация роговичных разрезов может являться причиной нестабильности глубины передней камеры в ходе ФЭК, что, в свою очередь, отражается на состоянии роговицы, радужной оболочки, стекловидного тела и сетчатки [139].

Chen M. (2015) при выполнении ФЭК на 533 глазах зафиксировал интраоперационные осложнения в 32 случаях (5,8%) [63]. Наблюдаемые осложнения включали в себя разрыв задней капсулы хрусталика, потерю хрусталиковых стекловидного тела, дислокацию масс В полость стекловидного тела, повреждение десцеметовой оболочки, кровотечение в переднюю камеру и др. По литературным данным, частота осложнений при выполнении ФЭК у разных хирургов колеблется, однако общие тенденции и характер осложнений примерно одинаковы [63; 18; 137]. Известно, что 98-99% колебаний механической энергии ультразвуковой иглы В факоэмульсификаторах трансформируются в тепловую энергию, и даже кратковременное прекращение ирригации раствора (при окклюзии аспирационного отверстия) вызывает коагуляцию ткани роговицы и ожог в области разреза [73; 72]. При катаракте с подвывихом хрусталика частота интраоперационных слабости встречаемости осложнений вследствие связочного аппарата может быть выше.

Хирургия катаракты при подвывихе хрусталика требует от офтальмохирурга специальных знаний и практических навыков [40]. Важны все этапы – от сбора жалоб и анамнеза, клинической оценки местного статуса до всестороннего офтальмологического обследования переднего и заднего отрезков глаза. Задача врача при выполнении операции в данных условиях заключается в том, чтобы не повредить уже растянутые волокна цинновой связки и не травмировать интактные. ФЭК при подвывихе хрусталика выполняется с учетом дефектов цинновой связки, а для предупреждения осложнений используются различные хирургические приемы, такие как

формирование, если необходимо, децентрированного от оптической оси капсулорексиса, соразмерное снижение давления ирригации, вакуума и скорости аспирации, фиксация капсулорексиса, тщательная гидродиссекция, использование одного или двух внутрикапсульных колец (ВКК) с фиксацией к склере [25; 37; 6; 32; 11; 9; 16; 14].

В настоящее время есть множество методик по удалению катаракты с подвывихом хрусталика с использованием ирис-ретракторов, различных моделей и методов фиксации ИОЛ, стабилизации капсульного мешка посредством использования разных моделей ВКК и др. [34; 36; 37; 7; 97; 32; 11; 9; 16; 14; 15; 176; 144; 96; 83; 108; 152; 12]. Существует много альтернативных способов размещения ИОЛ вне капсульного мешка. Самым простым и распространенным из них является фиксация ИОЛ к радужной оболочке [97]. Обзор, проведенный Американской академией офтальмологии, не выявил существенных преимуществ в различных методиках выбора способа размещения и фиксации ИОЛ вне капсульного мешка, так же как и выбора самой ИОЛ [173]. Как правило, выбор метода и типа ИОЛ зависит от квалификации и опыта хирурга. Существующие различия по поводу тактики хирургического лечения пациентов с подвывихом хрусталика связаны с мерами предупреждения возможных осложнений в ходе операции [34; 36; 97].

По литературным данным, основными нюансами, которые могут повлечь за собой осложнения в хирургии катаракты с подвывихом хрусталика при выполнении ФЭК, являются:

1. Мануальный капсулорексис. При анатомической сохранности связочного аппарата хрусталика выполнение переднего капсулорексиса не вызывает трудностей. Повреждение капсулы подвывихнутого хрусталика при проведении стандартной ФЭК в среднем составляет 1–2% [4], но по данным ряда авторов, может достигать 49,46% случаев [125]. Смещение ИОЛ в капсульном мешке приводит к повышению аберраций высшего порядка, в том

числе вертикальной комы, наиболее значимо влияющей на качество зрения [116].

2. Мощность ультразвука при ФЭК. Излишние затраты ультразвука для факофрагментации плотных катаракт могут приводить к потере клеток заднего эпителия роговицы (ЗЭР) [66; 38]. Толщина роговицы в первые дни после операции и потеря клеток ЗЭР через 3-4 месяца значительно ниже после ФЛАЭК по сравнению с ФЭК [171].

3. Риск увеличения дефектов цинновой связки во время манипуляций.

Кроме того, отмечается ряд особенностей, связанных с фиксацией ИОЛ:

- интрасклеральная фиксация ИОЛ. Гаптические элементы фиксируются в толще склеры, что упрощает и ускоряет методику, но вероятны операционные и послеоперационные осложнения, такие как иридодиализ, интраоперационная гифема, дистрофия роговицы, вторичная глаукома, макулярный отек, отслойка сетчатки. Также, со временем, возможны поздние смещение и дислокация ИОЛ [143;145];

- фиксация за передний капсулорексис. Допускается устанавливать ИОЛ разных моделей с захватом переднего капсулорексиса, что существенно упрощает хирургу задачу при разрыве задней капсулы, но при данном методе фиксации зафиксированы такие осложнения, как вторичная гипертензия и эпителиально-эндотелиальные дистрофии [24]. Очень важным моментом данной фиксации является зависимость успешной фиксации от диаметра и центрации капсулорексиса;

- бесшовная фиксация в ресничной борозде. ИОЛ помещается в заднюю камеру, если имеется состоятельная передняя или задняя капсула, а также неизмененная цинновая связка. Анализ отдаленных результатов выявил случаи дислокации ИОЛ в стекловидное тело [6];

- методика иридо-витреальной фиксации. Благодаря целой передней гиалоидной мембране ИОЛ может фиксироваться на ней. Однако при использовании данной методики искусственный хрусталик также может вывихнуться в стекловидное тело, не исключено кровоизлияние из поврежденных сосудов радужки [17];

- методика транссклеральной шовной фиксации. Фиксация ИОЛ, либо капсульного мешка, выполняется при помощи нити с иглой на обоих концах. Подшивание происходит ab interno – оба конца нити связываются после их вывода на поверхность склеры. В послеоперационном периоде описаны кровоизлияния, воспалительные явления и необходимость в повторных подшиваниях ИОЛ [176];

- методика с фиксацией линзы в задней камере. Для этого делают две колобомы, в которые крепят гаптические элементы ИОЛ. Недостатками метода являются сложность техники фиксации, повреждение радужки, ее некроз, дислокации ИОЛ и контакт с ЗЭР, неправильная форма зрачка и воспалительные реакции [96];

- методика подшивания ИОЛ к радужной оболочке. Приводит к ряду осложнений, таких как кровоизлияния, несостоятельность швов, атрофия и некроз радужной оболочки, нарушение формы и функции зрачка, воспалительные реакции, глаукома [83];

- фиксации ИОЛ в углу передней камеры. Главным недостатком является контакт с ЗЭР, а также передний увеит, неправильная форма зрачка, вторичная глаукома и гифема [33].

Очень важным моментом в хирургии катаракты, осложненной подвывихом, является стабилизация капсульного мешка, для чего применяются такие приспособления, как:

- Иридокапсулярные ретракторы. Применяются для фиксации подвывихнутого хрусталика за капсулу при помощи двойных изогнутых крючков, фиксируемых в роговичных разрезах.

- Имплантация обычного капсульного кольца. До настоящего времени внутрикапсульная фиксация ИОЛ остается «золотым стандартом» ФЭК. При ослабленном связочном аппарате в капсулу хрусталика имплантируются капсульные кольца для повышения стабильности ее положения [162; 12; 28; 97; 25; 176]. При обширных дефектах используются капсульные кольца с дужками для подшивания. Имплантация кольца выполняется только в случаях целостности капсульного мешка.

В заключение следует сказать, что существующие на сегодняшний день методы лечения катаракты при подвывихе хрусталика ориентированы на стабилизацию хрусталика и капсульного мешка, тем или иным способом, перед освобождением содержимого капсульного мешка после выполнения переднего капсулорексиса. Основной проблемой является риск разрыва передней капсулы хрусталика вследствие нестабильности его положения при выполнении переднего капсулорексиса с помощью традиционной пинцетной техники со всеми вытекающими из этого последствиями. Минимизация воздействия цинновую тракционного на связку при выполнении капсулорексиса, его неосложненное исполнение и верная центрирация, сохранение капсульного мешка и уменьшение энергетической нагрузки на ткани глаза во время факоэмульсификации, снижение индуцированной травмы являются ведущими звеньями в профилактике осложнений и качественной зрительной реабилитации пациентов с подвывихом хрусталика.

Современная хирургия катаракты требует стандартизации и автоматизации этапов операции. Решение вышеобозначенных проблем возможно путем использования современных лазерных технологий.

### 1.3 Лазерные технологии в хирургии катаракты. Фемтолазер-ассистированная экстракция катаракты

На сегодняшний день практически ко всем структурам глаза применим тот или иной тип лазерного лечения. Внедрение лазерных технологий в хирургию катаракты в 70-х годах прошлого столетия стало значимым событием, поскольку хирурги получили бесценный инструмент, позволяющий изменить традиционные подходы к факофрагментации [119]. В 1975 году Краснов М.М. впервые применил лазерную энергию для проведения капсулопунктуры детям с врожденной катарактой.

Агоп-Rosa D. одним из первых успешно применил Nd: YAG-лазер длиной волны 1,064 мкм для фрагментации катаракты [48]. Snyder R. использовал эрбиевый YAG-лазер для тех же целей [167]. Короткие импульсы рубинового и неодимового лазеров впервые позволили производить перфорацию (фотодеструкцию) ткани без ее теплового коллатерального повреждения. Эти исследования в последующем легли в основу работы лазеров-перфораторов для выполнения иридо-, капсуло-, трабекуло-, мембрано-, швартотомии и других интраокулярных вмешательств [30].

С 1994 года под руководством академика Федорова С.Н. группа российских офтальмохирургов в составе Копаевой В.Г., Андреева Ю.В., Копаева С.Ю. совместно с инженерами Санкт-Петербургского института точной механики оптики Беликовым A.B. Ерофеевым A.B. И И последовательно изучали возможность использования твердотельных лазеров с разными длинами волн в хирургии катаракты [18; 19]. Исследования показали, что оптимальным для разрушения хрусталика является излучение неодимового ИАГ-лазера (Nd-YAG) с оригинальной длиной волны 1,44 мкм, которая ранее не использовалась в офтальмологии [112; 111]. На базе данных исследований была разработана бимануальная лазерная технология экстракции катаракты, а также создана первая отечественная лазерная установка для экстракции катаракты «Рокот» [2; 113]. Эффективность и безопасность лазерной экстракции катаракты была подтверждена несколькими тысячами выполненных операций в эксперименте и клинике. Методика явилась альтернативой традиционной ультразвуковой ФЭК и по ряду возможностей превосходит ее.

Внедрение в медицину ФСЛ стало большим достижением в этой области [106]. С помощью низкоэнергетического ФСЛ возможна не только прецизионная бесконтактная внутритканевая абляция тонких биоструктур, но и одновременное выполнение трехмерной мультифотонной сканирующей микроскопии ткани-мишени, что превращает инструмент в «видящий» лазерный скальпель [172]. Преимуществами ФСЛ являются прецизионный «холодный» разрез ткани без коагуляционного коллатерального некроза, минимальный порог абляции, незначительная трансформация оптической энергии в деструктивную механическую энергию и практически полное отсутствие термического повреждения ткани [169].

В 1994 году Kurtz R.M. из университета Мичигана (США) впервые выдвинул идею применения фемтосекундного лазера в кераторефракционной хирургии [20]. ФСЛ работает в инфракрасном диапазоне (1053 нм) с ультракоротким временем импульса 1/15-15 сек и оказывает воздействие на ткани в ходе процесса, называемого фотодеструкцией, когда лазерные импульсы разделяют ткани на молекулярном уровне без передачи тепла и термического воздействия на окружающие ткани [38; 8]. Благодаря данным параметрам лазера появилась возможность выполнять локальный дозированный разрез ткани, не оказывая на нее теплового влияния. ФСЛ может создавать точные разрезы и разделять ткани внутри роговицы, капсулы хрусталика и в самом хрусталике [142].

Впервые в мире ФЛАЭК была выполнена Nagy Z. в 2008 году в офтальмологическом отделении университета Semmelweis (Будапешт, Венгрия) [135; 140]. В Российской Федерации эту технологию впервые

успешно применила на практике Анисимова С.Ю. в 2012 году [4]. В США на основании результатов первоначальных исследований в 2009 году Управление по санитарному надзору за качеством пищевых продуктов и медикаментов (Food and Drug Administration, FDA) утвердило такие основные направления применения установки LenSx (Alcon, США) 510 кГц, в хирургии катаракты, как капсулорексис, факофрагментация, разрезы роговицы, в том числе дуговые [142]. В последующие несколько лет ФЛАЭК получила распространение во многих странах мира как обладающая целым рядом потенциальных преимуществ по сравнению с ФЭК [29; 5; 8; 142]. Несмотря на то, что ФСЛ поднял технологию факоэмульсификации на качественно новый уровень, все преимущества данной процедуры с точки зрения безопасности и результатов до конца еще не изучены [92; 46].

По литературным данным, при выполнении фемтоэтапа ФЛАЭК возможна потеря вакуума при докинге, субконъюнктивальные кровоизлияния, повышение ВГД, наличие перемычек в сформированном капсулорексисе, незавершенность роговичных разрезов и ряд других осложнений.

Специфическим осложнением при использовании ФСЛ отмечен интраоперационный миоз, возникающий из-за воздействия вакуума во время процедуры и выброса провоспалительных факторов во влагу передней камеры [163; 138]. Для профилактики данного осложнения в настоящее время достаточно успешно применяются нестероидные противовоспалительные средства (НПВС), назначаемые местно за день до операции [22; 23; 3].

Отмечается такое осложнение, как смещение шаблона среза хрусталика на стромальную ткань роговицы из-за потери вакуума во время процедуры [124]. В одном случае также было зафиксировано смещение разреза передней капсулотомии на радужную оболочку [3].

Потеря вакуума, по данным авторов, встречается до 2% случаев и обусловлена конструкцией интерфейса лазера, обновление которого, как правило, нивелирует данную проблему [138].

Воздействие вакуума во время процедуры вызывает кратковременное повышение внутриглазного давления (ВГД), что может иметь негативные последствия у пациентов с глаукомой [44]. После удаления интерфейса это состояние быстро нормализуется и значимого влияния на ход операции не оказывает [168]. В литературе описаны единичные случаи отслойки стекловидного тела, хориоидеи и сетчатки, а также острых ишемических нейропатий [121].

При недостаточно прозрачных оптических средах глаза возможно отклонение лазерного излучения и формирование тканевых мостиков в области фемтосекундного среза, что усложняет вскрытие роговичных разрезов, выполнение передней капсулотомии, фрагментацию ядра [158].

Описаны случаи синдрома капсулярной блокады с разрывом задней капсулы [157], который возникает при усиленной гидродиссекции и гидроделинеации на фоне скопления большого количества газа. Риск возникновения синдрома капсулярного блока можно исключить, регулируя объем используемой жидкости.

Следует отметить, что перечисленные выше осложнения в основном были характерны для применения первого поколения фемтосекундных лазерных платформ и достаточно редки в настоящее время. Ретроспективное исследование частоты интраоперационных осложнений ФЛАЭК было Гонолулу проведено В хирургическом центре В (Гавайи) пятью практикующими хирургами [63]. При выполнении операции на 273 глазах интраоперационные осложнения были отмечены на 5 глазах, что составило 1,8% случаев. Авторы отмечают статистически значимое снижение количества осложнений в сравнении с традиционной технологией ФЭК. Это совпадает с результатами исследований других авторов, которые заключают, что функциональные результаты ФЛАЭК существенно превышают данные, полученные после ФЭК [95; 135; 116].

Капсулорексис является важным этапом операции. Он должен быть непрерывным, центрированным, иметь округлую форму и определенный диаметр, что позволяет равномерно прикрывать периферическую часть ИОЛ и обеспечивать ее идеальную центрацию [5]. Особенно это важно при имплантации мультифокальных и торических ИОЛ. Значение правильного расположения комплекса ИОЛ – капсульный мешок неоднократно изучалось и освещалось в литературе [116; 51; 82; 115; 155]. Было показано, что смещение заднекамерной ИОЛ кпереди приводит к сдвигу рефракции в сторону близорукости, а смещение кзади – в сторону дальнозоркости. Формирование неправильного, малого или слишком большого капсулорексиса может привести к возникновению фиброза капсулы, а затем – к смещению и децентрации ИОЛ, и, как следствие, к увеличению аберраций высшего порядка, снижению остроты и качества зрения. В связи с этим этап капсулорексиса в технологии операции является важным с точки зрения конечного рефракционного результата хирургии катаракты.

Эффективное положение ИОЛ во многом зависит от размера, формы и центрации капсулорексиса, параметры которого являются значимой причиной возможных ошибок в расчетах оптической силы ИОЛ [149; 59; 142]. Погрешности в выполнении капсулорексиса традиционным мануальным способом, а именно иглой, цистотомом или капсульным пинцетом, сказываются на положении ИОЛ и неизбежно приводят к увеличению аберраций высшего порядка [142].

Авторами установлено, что фемтосекундный лазерный капсулорексис является более точным по всем параметрам в сравнении с мануальной процедурой [136; 59; 86]. Равномерный капсулорексис с расположением передней капсулы на 0,25–0,55 мм над поверхностью ИОЛ более предпочтителен, чем непрерывный, но эксцентричный капсулорексис, сделанный вручную [136; 116; 117; 77].

Nagy Z. и соавт. (2009) в своем сравнительном исследовании оценивали передний капсулорексис на свиных глазах и на глазах пациентов [134]. Было обнаружено, что запланированный капсулорексис диаметром 5,0 мм в свиных глазах составил  $5,88 \pm 0,73$  мм при традиционной технике и  $5,02 \pm 0,04$  мм при ФСЛ. У пациентов при использовании формировании капсулотомии прогнозируемость диаметра составила ± 0,25 мм, при мануальной технике такого результата удалось достичь лишь в 10% случаев. При использовании традиционной техники диаметр капсулорексиса в среднем составил ± 1,0 мм ФЛАЭК прогнозируемого. При выполнении желаемый ОТ диаметр 100% капсулорексиса был достигнут случаев, В что впоследствии подтверждалось данными и других авторов [86].

Другое клиническое исследование показало, что диаметр запланированного капсулорексиса в 4,5 мм был получен как при стандартной технике, так и при использовании ФСЛ. Однако через год после операции стабильность глубины передней камеры глаза, эффективная и устойчивая позиция ИОЛ в капсульном мешке с соответствующими зрительными результатами были значительно выше в группе ФЛАЭК [137; 116]. Аналогичный анализ был проведен с использованием различных моделей ИОЛ [117]. Были имплантированы различные модели мультифокальных и монофокальных ИОЛ. Результаты показали, что стабильность их положения и предсказуемость результатов была выше в группе ФЛАЭК.

Трубилин А.В. (2015) отмечает, что, несмотря на наличие множества мануальных методов, способствующих получению нужных параметров переднего капсулорексиса, ФСЛ обладает наибольшей точностью и в 93,1% обеспечивает его запланированные размеры [38]. Кranitz К. и соавт. (2011) указали, что после фемтолазерной капсулотомии в сравнении с мануальной техникой внутренние аберрации значительно меньше [116]. Mihaltz К. и соавт. (2011) выполнили исследование с целью определения индуцированных

внутренних аберраций глаза после ФЛАЭК и ФЭК [129]. По данным послеоперационной аберрометрии, фемтолазерный капсулорексис индуцирует значительно меньше аберраций высшего порядка на фоне отсутствия выраженных различий по остроте зрения с коррекцией и без нее после операции.

ФЛАЭК Технология позволяет выполнять точные самогерметизирующиеся разрезы на роговице любой локализации и глубины компьютера, профилактики пол контролем что немаловажно для послеоперационного эндофтальмита и индуцированного астигматизма [170]. Последнее особенно актуально при выборе торических и монофокальных ИОЛ. Было показано, что разрезы роговицы, созданные ФСЛ, являются более стабильными [127]. Однако в некоторых исследованиях отмечается, что в индуцировании аберраций высшего порядка и астигматизма эти разрезы мало чем отличаются от сделанных кератомом [139].

При помощи ФСЛ выполняется фрагментация ядра хрусталика. В зависимости от возраста пациента и анатомических особенностей катаракты используются различные паттерны. По данным ряда авторов, факофрагментация с ФСЛ значительно снижает затраты ультразвука при делении и удалении ядра хрусталика [137; 134; 133; 139; 8; 5]. В литературе имеются данные об удалении катаракты лишь с использованием ирригации и аспирации без применения ультразвука, это возможно при использовании различных паттернов, но основным условием является плотность катаракты не более II степени по Buratto L. [77].

ФСЛ дает возможность применения различных видов фрагментации хрусталика. В хрусталиках с плотностью ядра менее 2 согласно классификации Lens Opacities Classification System (LOCS) [55] фрагментацию рекомендуется выполнять в центральной зоне диаметром 5,0 мм, создавая концентрические кольца внутри ядра хрусталика [142]. Это особенно важно при замене

хрусталика на глазах с высокой степенью миопии или гиперметропии и у пациентов в возрасте старше 45 лет. При плотности хрусталика более 2 рекомендуется выполнять фрагментацию ядра по разным шаблонам. В настоящее время предпочтительнее использование комбинированного гибридного паттерна с радиальным и перекрестным делением ядра хрусталика, что способствует уменьшению времени и энергии ультразвуковой ФЭК [151].

Ang R.E. и соавт. (2018), проводя многоплановые исследования в течение одного года в 282 случаях после ФЛАЭК и 420 случаях после ФЭК, показывают отсутствие статистически значимой разницы в показателях корригированной (КОЗ) и некорригированной (НКОЗ) остроты зрения после операций [47]. В то же время авторы утверждают, что энергия факоэмульсификации, воспалительная реакция в передней камере и потеря клеток ЗЭР были меньше в группе с фемтосекундным сопровождением. Day А.С. и соавт. (2016) включили в свой анализ 16 рандомизированных контролируемых исследований, проведенных в Германии, Венгрии, Италии, Индии, Китае и Бразилии, охватив анализом 1638 глаз 1245 взрослых пациентов [74]. Из-за низкой достоверности данных авторам не удалось доказать ни превосходство, ни равнозначность методов ФЛАЭК и ФЭК. Авторы заключили, что необходимы дальнейшие клинические исследования, оценивающие безопасность и эффективность данных методик.

В 2013 г. Conrad-Hengerer I. и соавт. выявили, что потеря клеток ЗЭР через 1 неделю после операции была статистически значимо более выражена в группе ФЭК, при этом данные по пахиметрии роговицы в сравниваемых группах существенно не отличались [67]. На анализе 240 операций Hatch K.M. и соавт. (2015) пришли к выводу, что ФЛАЭК значительно сокращает эффективное время факоэмульсификации, особенно в случаях бурых катаракт [91]. На основе рандомизированных контролируемых исследований Chen X. и соавт. (2015) показали, что по сравнению с ФЭК ФЛАЭК значительно снижает энергию ультразвука и эффективное время факоэмульсификации [64]. При этом после ФЛАЭК центральная толщина роговицы была ниже в первый же день, показатели КОЗ и НКОЗ были статистически значимо выше в течение первой недели.

В ранних исследованиях результатов ФЭК было обнаружено, что ультразвук и избыточное движение жидкости в передней камере негативно влияют на структуры глаза [85], продолжительность работы ультразвука авторы увязывают с повышенной потерей клеток ЗЭР [78;118]. Так, Hayashi K. (1996),исследовав соавт. несколько групп различными И с гидродинамическими настройками, отметили, что при большом объеме инфузии жидкости отмечается более выраженная потеря эндотелия [94]. По данным ультразвуковых И гидродинамических параметров, ФЛАЭК выигрывает по сравнению с ФЭК [178; 62; 160; 53]. В то же время результаты исследований других авторов противоречат этим данным [94; 74; 75; 128; 45].

Reddy K.P. и соавт. (2013) были одними из немногих, кто, сравнивая данные ФЛАЭК и ФЭК, пришел к выводу, что существенных различий в средней продолжительности использования ультразвука между изучаемыми группами нет [156]. Следует, однако, подчеркнуть, что в этом исследовании принимало участие большое количество хирургов, параметры a факоэмульсификации, техника и опыт врачей не учитывались. Popovic M. и соавт. (2016) не обнаружили свидетельств снижения кумулятивной энергии ультразвука при ФЛАЭК [154]. В то же время Chen H. и соавт. (2016) и Bascaran L. и соавт. (2018) отмечают, что потраченная кумулятивная энергия (CDE) в группе ФЛАЭК меньше в сравнении с ФЭК [62; 53]. Kohnen T. и Snajazi M. (2017), анализируя публикацию Ророvic М. и соавт. (2016) [154], выразили озабоченность по поводу одного из основных осложнений: более высокой частоты разрывов задней капсулы при использовании ФСЛ [107]. Авторы считают, что некоторые научные публикации, включенные в анализ, должны были быть представлены и интерпретированы иначе. В данный анализ не была включена статья Schargus M. и соавт. (2015) [161], где указан случай разрыва задней капсулы в группе ФЭК, но не ФЛАЭК. Из исследования Chen M. и соавт. (2015) [63] были исключены результаты работы одного хирурга, имевшего наибольшее количество осложнений в группе ФЭК, чего, по мнению авторов, делать не стоило. Также Kohnen T. и Snajazi M. считают, что из метаанализа стоило исключить статью Bali S. и соавт. (2012) [52] ввиду того, что группа ФЭК не была включена в дизайн исследования изначально. Приняв все вышеперечисленное во внимание, ученые пришли к выводу, что заключение метаанализа Ророvic M. и соавт. стоит пересмотреть.

По исследователей, ФЛАЭК обеспечивает данным меньшее послеоперационное воспаление переднего сегмента, значительное уменьшение частоты отеков роговицы непродолжительную И функциональную реабилитацию за счет снижения мощности ультразвука [1; 43]. Yesilirmak N. и соавт. (2017) продемонстрировали, что CDE можно уменьшить, применяя специальную факоэмульсификационную платформу с активной жидкостной системой и торсионным ультразвуком [177]. В то же время ряд исследователей, проанализировав использование жидкостей во время операции, не обнаружили существенных различий между группами [81; 156].

По мере обновлений программного обеспечения и совершенствования лазерных систем становятся доступными различные паттерны фрагментации, что также может помочь в оптимизации технологии ФЛАЭК. Следует подчеркнуть, что затраты ультразвука зависят не только от классификации катаракты по плотности ядра [55], но и от вида паттерна, применяемого для фрагментации хрусталика.

Несмотря на растущее количество публикаций по сравнительным результатам ФЛАЭК и ФЭК, их выводы, по ряду объективных причин, не всегда согласуются. Некоторые авторы в хирургии как неосложненных, так и осложненных катаракт отдают предпочтение ФЛАЭК, в то время как другие не

видят существенных клинических преимуществ данного метода, а также его медико-экономической эффективности. Учитывая полярность точек зрения, существующих на данный момент, следует отметить, что этот вопрос является актуальным и требует дальнейшего, более углубленного изучения.

#### 1.3 Фемтолазерное сопровождение при подвывихе хрусталика

Современная хирургия катаракты требует стандартизации и автоматизации этапов операции, уменьшения уровня инвазивности, снижения риска осложнений и получения качественного зрения [39]. Внедрение лазерных технологий открыло новые возможности для успешного решения этих задач.

При подвывихе хрусталика качественно выполненный капсулорексис имеет первостепенное значение для сохранения мешка и успешной факоэмульсификации с имплантацией ИОЛ [28; 36; 97; 29; 32; 11; 9; 16; 83Ошибка! Источник ссылки не найден.]. Мануальные техники не п озволяют выполнить идеально ровный, центрированный и циркулярный капсулорексис, в отличие от ФСЛ, который стал на сегодняшний день неотъемлемой частью катарактальной хирургии.

В настоящее время технология ФЛАЭК имеет преимущества и в таких сложных случаях, как травматическая катаракта и подвывих хрусталика [97; 141]. Фемтосекундный лазер не зависит от противодействия цинновой связки, позволяет стабилизировать сублюксированный хрусталик во время аппланации глаза и выполнить передний круговой капсулорексис точно заданного диаметра, центрированный соответственно положению хрусталика. Еще одним немаловажным преимуществом фемтосекундной лазерной хирургии катаракты является создание газовых пузырьков во время фрагментации ядра, что приводит к пневмоделинеации, что позволяет снизить объем жидкости и выполнить щадящую гидроделинеацию[97]. В настоящее время ФЛАЭК стала проводиться у пациентов с подвывихом хрусталика различной степени, узким зрачком и другими ситуациями, ранее являвшимися противопоказанием к выполнению подобных операций. Публикации на эту тему малочисленны, однако их авторы показывают явные преимущества фемтоэтапа у данной категории пациентов [141; 69; 99; 61; 60; 88; 164]:

-неосложненное выполнение кругового капсулорексиса и факофрагментации без дополнительных разрезов роговицы при закрытой передней камере;

- центрация капсулорексиса с учетом подвывиха хрусталика;

- использование интраоперационной визуализации с помощью ОСТ для создания кругового капсулорексиса и оценки расположения задней капсулы;

- минимизация внутриглазных манипуляций и напряжения связочного аппарата хрусталика.

В одном из первых сообщений на эту тему на XXXII конгрессе ESCRS в Лондоне Crema A.S. (2014) показала свою методику использования фемтолазерной платформы LenSx у двух пациентов с синдромом Марфана [69]. На обоих глазах были успешно выполнены этапы капсулотомии без перемычек и факофрагментации с дальнейшей имплантацией ИОЛ. В докладе на XXXIII конгрессе ESCRS в Барселоне Holland D. (2015) показал методику формирования переднего капсулорексиса и факофрагментации у пациентов с подвывихом хрусталика, обусловленным синдромом Марфана, при помощи фемтолазерной установки LENSAR® Laser System (Topcon, Orlando, FL) [99].

Grewal D.S. и соавт. (2014) представили результаты лечения травматической катаракты с разрывами связок протяженностью более 180 градусов; Schultz T. и соавт. (2013) опубликовали данные лечения ребенка с синдромом Марфана после ФЛАЭК [88; 164]. Авторы отмечали преимущества ФСЛ в формировании центрированного кругового капсулорексиса на сублюксированном хрусталике и существенное снижение риска возможных осложнений в данных случаях.

Пожалуй, одно из наиболее убедительных исследований за последние пять лет по данной проблеме было представлено в работе Chee S.P. и соавт. (2017) [60]. Авторы проанализировали результаты ФЛАЭК у 47 пациентов с выраженным посттравматическим подвывихом хрусталика с ослаблением цинновой связки протяженностью от 180 и более градусов. Почти две трети пациентов имели нарушение связочного аппарата 270 градусов (более 9 ч). В ходе операции капсульный мешок был сохранен в 43 глазах (91,5%). В случаях разрыва задней капсулы лишь у одного пациента были осложнения в послеоперационном периоде в виде отека макулы. У двух пациентов произошла отслойка сетчатки через 1 неделю и через 1 месяц после операции, ни одного случая воспалительных осложнений зафиксировано не было. Через 1 месяц в 80,4% случаев КОЗ была от 0,5 и выше, затем в течение года она улучшилась от 0,92 до 0,22 logMAR. Во всех случаях было имплантировано ВКК, которое в дальнейшем было подшито к склере, к концу периода наблюдения дислокаций ИОЛ не отмечалось. Авторы заключили, что ФЛАЭК возможна в отдельных случаях и при тяжелых посттравматических подвывихах хрусталика с сохранением капсульного мешка в 90% случаев.

Резюмируя данный раздел обзора, следует сказать, что фемтосекундные лазерные технологии открывают значительные перспективы в хирургии осложненных катаракт, обеспечивая неосложнённое выполнение капсулорексиса с сохранением капсульного мешка и факофрагментации, создающей условия для уменьшения энергетической нагрузки во время факоэмульсификации и, посредством этого, минимизируя нагрузку на связочный аппарат хрусталика. Как видно из предложенного анализа публикаций по проблеме, в настоящее время предсказуемость и безопасность применения ФСЛ в хирургии катаракты по-прежнему не вполне очевидны, необходимы дальнейшие научные исследования в данном направлении.

## 1.4 Ранние и поздние смещения ИОЛ, способы определения наклона и децентрации

Стабильное положение ИОЛ после ФЭК, влияние смещений ИОЛ на рефракционные данные и качество зрительных функций являются одними из актуальнейших проблем офтальмохирургии [130; 131; 175; 87; 103; 166; 49].

Смещения ИОЛ после операции в виде дислокации или децентрации, наклона в различных меридианах являются общеизвестными осложнениями и основными факторами, оказывающими влияние на рефракционные данные и качество зрительных функций [87]. Помимо ранней дислокации ИОЛ, возникающей в 1-ю неделю и обусловленной недостаточной поддержкой линзы вследствие возможных осложнений, таких как разрыв задней капсулы хрусталика и потеря стекловидного тела, частота встречаемости которых в среднем составляет 4,9 и 2,7% соответственно, поздняя дислокация ИОЛ все больше привлекает внимание офтальмологов [131; 87; 68]. В последние годы количество публикаций по указанной проблеме, возникающей через 3 месяца и более после операции, значимо возросло, поскольку это ухудшает зрительные функции, нередко приводит к повторным вмешательствам и замене ИОЛ [93; 130; 131]. По данным ряда авторов, замена ИОЛ ввиду ее поздней дислокации потребовалась в 0,3 [103] и 0,6% случаев [131] через 10 лет и в 1,2% случаев [130] через 20 лет после операции, при этом в 5% случаев имелся умеренный и выраженный факодонез в отсутствие каких-либо травм в анамнезе.

Shingleton B.J. и соавт. (2016), проанализировав результаты ФЭК на 295 глазах в группах с ПЭС и подвывихом хрусталика в сроки от 4 до 8 лет после операции, псевдофакодонез, фиброзирование капсулы выявили, что хрусталика и децентрация ИОЛ к концу периода наблюдения имели место 18,4–25,4% случаев по сравнению с 5,3–1,3% случаев в группах с неосложненной катарактой [166]. Авторы подчеркивают, ЧТО риск
осложнений у пациентов со слабостью цинновой связки на фоне ПЭС выше, и рекомендуют тщательнее подходить к тактике операции и выбору ИОЛ у данных пациентов, что согласуется с мнением и других исследователей [49].

Таким образом, поздняя дислокация может быть обусловлена фиброзированием капсульного мешка и прогрессирующими со временем дефектами цинновой связки хрусталика. Риск этого осложнения выше у пациентов пожилого возраста [49] с синдромом псевдоэксфолиации [93] и подвывихом хрусталика [65].

Растущий интерес в хирургии катаракты к измерению положения ИОЛ, а именно ее децентрации и наклона, обусловлен как применением более современных методов, так и более широким использованием ИОЛ премиум – класса (торических, мультифокальных и др.).

Существует несколько способов для определения наклона и децентрации ИОЛ: ретроиллюминационная фотография, анализ изображений Пуркинье, с помощью приборов на основе Шеймпфлюг-камеры, оптическая когерентная томография, ультразвуковая биомикроскопия с использованием различных алгоритмов расчета. По данной теме в литературе имеется достаточное количество исследований в разные сроки после операции [117; 76; 174; 153; 90; 57; 159; 132; 175; 120; 105; 148; 148; 150; 79; 54; 145; 122; 114; 100].

Изображения Пуркинье – это отражения от передней (PI) и задней (PII) поверхностей роговицы и от передней (PIII) и задней (PIV) поверхностей ИОЛ. Изображения Пуркинье используются для измерений роговицы и хрусталика (факометрии), а также достаточно часто – для оценки наклона и децентрации ИОЛ [76; 153; 90; 57; 159; 148; 70]. По данным разных исследователей, эти показатели значительно варьируют, что обусловлено многими причинами, в том числе разными системами измерения. Кроме этого, следует учитывать

совершенствование технологий операций и использование новых моделей и конструкций ИОЛ.

Согласно данным ранних публикаций, через 6 месяцев после ФЭК по результатам обработки изображений с помощью Шеймпфлюг-камеры наклон  $2,34\pm1,69$ градуса ИОЛ составлял В среднем В группе с ИЗ полиметилметакрилата и  $3,61 \pm 2,07$  градуса в группе с силиконовыми ИОЛ, децентрация  $-0.30 \pm 0.17$  и  $0.34 \pm 0.20$  мм соответственно [174]. Phillips P.C. и соавт. (1988), использовавшие для расчетов систему визуализации Пуркинье, показали, что наклон заднекамерной ИОЛ из полиметилметакрилата в среднем составлял 7,8±3 градуса (максимальное значение – 12 градусов), децентрация–  $0.7 \pm 0.3$  мм (максимум 1,4 мм) [153].

В публикациях последних лет при исследовании с помощью Шеймпфлюг-камеры для разных моделей заднекамерных ИОЛ наклон варьировал от 2,32 до 3,26 градусов, смещение – от 0,23 до 0,29 мм при отсутствии существенных различий в данных в зависимости от вида ИОЛ и стабильных показателях в течение 12 месяцев после операции [54]. Кranitz К. и соавт. (2012) в своих наблюдениях показали, что через год после ФЛАЭК и ФЭК вертикальный и горизонтальный наклоны составляли 2,15  $\pm$ 1,41 и 1,53 $\pm$ 1,05; 4,34  $\pm$  2,40 и 2,75  $\pm$  1,67 градуса, а децентрация – 230,27  $\pm$  111,54 и 334,91 $\pm$  169,67 мкм соответственно с лучшими результатами в группе ФЛАЭК [117].

Wang X. и соавт. (2013), оценивая наклон и децентрацию ИОЛ после проведения ФЭК с помощью ОСТ, выявили, что через 14 месяцев средний наклон составил  $2,94\pm0,99$  градуса, горизонтальная и вертикальная децентрация –  $0,32\pm0,26$  и  $0,40\pm0,27$  мм соответственно [175]. Эти результаты согласуются с данными других авторов [105; 145]. С совершенствованием хирургической техники показатели, характеризующие положение ИОЛ,

заметно улучшились [122; 87]. Так, в исследованиях Киmar D.A. и соавт. (2011) угол наклона ИОЛ составлял 1,52 ± 0,9 градуса [120].

Согласно исследованию Korynta J. и соавт. (1999) [114], преломляющий эффект ИОЛ зависит от величины наклона и децентрации. Наклон более чем на 5 градусов, а децентрация более 1,0 мм индуцируют астигматизм и вызывают миопический сдвиг. По мнению авторов, устойчивое положение ИОЛ в капсульном мешке не вызывает децентрацию более 1,0 мм и угол наклона более 4 градусов [175]. В работах De Castro A. и соавт. (2007) продемонстрирована более высокая точность в определении положения ИОЛ с использованием изображений Пуркинье по сравнению с методом визуализации с помощью Шеймпфлюг-камеры [76].

Измерение величины наклона ИОЛ, связанного с псевдофакодонезом, представляет особый интерес, в частности в ведении пациентов с подвывихом хрусталика. В доступной литературе исследования по данной теме малочисленны. Псевдофакодонез и иридодонез являются результатом колебаний жидкости в переднем сегменте глаза [100]. Jacobi K.W. и Jagger W.S. (1981) одни из первых выполнили кинематографическую запись 1-го и 3-го изображений Пуркинье после оперативного лечения катаракты и измерили величину отклонений ИОЛ, обусловленных псевдофакодонезом. Было отмечено, что размер колебаний зависит не столько от типа ИОЛ, сколько от способа ее фиксации, и наименьшее отклонение имеется у заднекамерных линз.

Развивающиеся технологии в хирургии катаракты требуют более глубокого понимания влияния возможных смещений ИОЛ на качество зрительных функций. Kumar D.A., Agarwal A. и соавт. (2018) фиксировали изображения Пуркинье с помощью цифровой фотографии на щелевой лампе и видеокамеры [120]. Запись изображений глаза после операции была непрерывной при фокусировке на целевое освещение в течение 30 с, а также

после горизонтальной саккады. Затем данное видео обрабатывалось с помощью программного обеспечения, и оценивалась разница в положении изображения Пуркинье PIV по отношению к PI. Авторами было отмечено, что из 127 глаз, включенных в обследование с различным типом фиксации ИОЛ, наименьшее различие в диапазоне отклонений между изображениями Пуркинье было в глазах с заднекамерными ИОЛ по сравнению с ИОЛ, фиксированными не в капсульном мешке. Корреляционный анализ выявил прямую зависимость зрительных функций от средней разницы в положении Пуркинье PIV.

Выраженность псевдофакодонеза является ранним клиническим признаком подвывиха хрусталика. Анализ наклона и децентрации ИОЛ, количественное определение псевдофакодонеза у пациентов с имеющимся подвывихом хрусталика в разные сроки после операции позволяют не только проанализировать динамику данных изменений и определить тактику ведения пациента, но и оценить влияние техники операции на связочный аппарат хрусталика.

Таким образом, резюмируя данные литературного обзора, следует заключить, что ФСЛ с помощью программного обеспечения под контролем ОСТ, благодаря которому возможно четкое позиционирование всех резов, важнейшие операции – круговой выполняет этапы центрированный капсулорексис и факофрагментацию без вскрытия передней камеры глаза на стабилизированном после аппланации глазном яблоке, что при подвывихе позволяет сделать операцию более предсказуемой, добиться уменьшения внутриглазных манипуляций и щадяще воздействовать на ослабленные связки. При этом также снижается риск возможных осложнений и дислокации ИОЛ. Однако все это требует своего клинического обоснования, оптимизации энергетических параметров ФСЛ во время лазерного этапа и накопления убедительных данных о том, является ли ФЛАЭК столь же безопасной, как

40

традиционные методики, и может ли обеспечить существенно лучшие результаты при подвывихе хрусталика.

Исходя из всего вышеизложенного, показана перспективность и актуальность данных исследований, необходимость совершенствования хирургических методов и разработки дополнительных технологий с применением ФСЛ у пациентов с несостоятельностью связочного аппарата хрусталика для обеспечения наилучшего хирургического и клинического результатов.

### ГЛАВА 2 МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

#### 2.1 Дизайн исследования

В настоящем исследовании разработана оптимизированная технология ФЛАЭК при подвывихе хрусталика I степени, проведен анализ клиникофункциональных результатов и положения ИОЛ, интраоперационных энергетических и гидродинамических параметров в сравнительном аспекте с технологией стандартной ФЭК (Рисунок 1).

Работа выполнена на базе отделения хирургии хрусталика и интраокулярной коррекции ФГАУ «НМИЦ «МНТК «Микрохирургия глаза» им. акад. С.Н. Фёдорова» Минздрава России (зав. отделом, доктор медицинских наук Копаев С.Ю., зав. отделением кандидат медицинских наук Пантелеев Е.Н.) и катарактального отделения Чебоксарского филиала ФГАУ «НМИЦ «МНТК «Микрохирургия глаза» им. акад. С.Н. Фёдорова» Минздрава России (директор филиала доктор медицинских наук Поздеева Надежда Александровна).

## Дизайн исследования



Рисунок 1 – Дизайн исследования

#### 2.2 Общая характеристика материала исследований

Исследование выполнено в полном соответствии с требованиями этических стандартов Хельсинкской декларации 1975 года с дополнениями 2000 года. Все пациенты подписали добровольное согласие на обследование, лечение и обработку персональных данных.

Критерии включения пациентов в исследование:

Наличие подвывиха хрусталика I степени по Паштаеву Н.П. (2006)
[38].

2. Плотность катаракты II–IV степени по Buratto L. (1998) [58].

Критерии исключения пациентов из исследования до операции:

Наличие подвывиха хрусталика II–III степени по Паштаеву Н.П.
(2006) [34].

2. Плотность катаракты V степени по Buratto L. (1998) [58].

3. Узкий зрачок перед операцией.

4. Рубцы и помутнения роговицы.

5. Тяжелое общее соматическое состояние пациента, не позволяющее проводить лечение.

6. Глаукома III–IV стадии.

7. ПЭС III–IV стадии.

8. Наличие выраженной сопутствующей патологии глаза (отслойка сетчатки, дистрофия роговицы, патология сетчатки и зрительного нерва и др.); наличие инфекционных и вирусных заболеваний.

9. Имплантация незапланированной ИОЛ.

Степень подвывиха хрусталика определялась по классификации Паштаева Н.П. (2006), разработанной для практического применения [34].

 Первая степень. Хрусталик не имеет бокового смещения по отношению к оптической оси глаза. Волокна цинновой связки частично сохранены и равномерно распределены по всей окружности хрусталика. Возможны незначительные смещения вдоль оптической оси глаза. Наблюдается равномерное изменение глубины передней камеры, факодонез, иридодонез.

- Вторая степень. Хрусталик имеет боковое смещение по отношению к оптической оси глаза. Край хрусталика не заходит за оптическую ось. Ограниченный разрыв цинновой связки ведет к смещению хрусталика в сторону оставшихся волокон. Могут наблюдаться неравномерное углубление передней камеры, выраженный факодонез, иридодонез.
- Третья степень. Край хрусталика смещается за оптическую ось глаза. Циннова связка разорвана более чем на половину своей окружности. Нередко наблюдаются неравномерное углубление передней камеры, выраженный факодонез, иридодонез. Хрусталик, оторванный от цинновой связки на значительном протяжении, помимо бокового смещения подвижен в передне–заднем направлении и может значительно отклониться в стекловидное тело.

В исследование вошли 136 пациентов: 60 пациентов (60 глаз) – в группу ФЛАЭК и 76 пациентов (76 глаз) – в группу ФЭК.

В соответствии с поставленными задачами и видом выполняемой операции пациенты, оставшиеся в исследовании, были разделены на две группы: 1-я основная группа (60 пациентов, 60 глаз), где была проведена ФЛАЭК, 2-я группа сравнения (76 пациентов, 76 глаз), где была проведена ФЭК. Характеристика пациентов в группах представлена в Таблицах 1 и 2.

Таблица 1 – Данные по пациентам	1-й	основной	группы	(ФЛАЭК)
---------------------------------	-----	----------	--------	---------

Параметр	Данные
Количество пациентов/глаз	60/60
Возраст, (лет), М±δ (диапазон)	67,88 ± 9,15 (45,23–86,71)
Пол (М/Ж)	29/29
Подвывих хрусталика I степени	60/60

Параметр	Данные
Количество пациентов/глаз	76/76
Возраст, (лет), М±б (диапазон)	71,80 ± 10,33 (44,55–82,23)
Пол (М/Ж)	35/31
Подвывих хрусталика I степени	76/76

Таблица 2 – Данные по пациентам 2-й группы сравнения (ФЭК)

Пациенты с подвывихом хрусталика в обеих группах были сопоставимы по исходным данным и по характеру и частоте сопутствующей патологии. В основной группе по данным ультразвукового сканирования имела место умеренная деструкция стекловидного тела в 22 случаях (37,94%), а также незначительная деструкция или норма – в 36 случаях (62,07%). В группе сравнения по данным ультразвукового сканирования наблюдалась умеренная деструкция стекловидного тела в 27 случаях (40,91%), незначительная деструкция или норма – в 39 случаях (59,09%).

В основной группе 9 (15,51%), в группе сравнения 8 (12,12%) пациентов имели в анамнезе антиглаукоматозные операции (микроинвазивная хирургия шлеммова канала, в том числе с аллодренированием, лазерная комбинированная иридэктомия, селективная трабекулопластика). У всех остальных пациентов глаукома была компенсирована медикаментозно.

В основной группе у 5 (8,62%), в группе сравнения у 4 (9,09%) пациентов в анамнезе имела место ограничительная коагуляция сетчатки. Хирургия катаракты у всех пациентов была выполнена не ранее одного года после других операций.

#### 2.3 Клинико-функциональные методы исследования

Всем пациентам перед операцией и в сроки на 4-й день (на момент выписки), через 3 месяца, 6 месяцев и 1 г. после операций проводилось комплексное офтальмологическое обследование, включающее стандартные и специальные методы исследований.

#### 2.3.1 Стандартное диагностическое обследование

Комплексное клинико-функциональное обследование после проведенной операции всем пациентам включало в себя:

1. Визометрию без коррекции и с максимальной очковой коррекцией на рефрактометре (Торсоп, Япония). Для корректного подсчета показателей средней остроты зрения использовали геометрическое среднее (по LogMAR). Поскольку в стандартных проекторах и фороптерах, использованных нами, размеры букв в каждой линии следуют в арифметической прогрессии, для получения объективных показателей средней остроты зрения использовали геометрическое среднея, в этом случае все показатели остроты зрения преобразовывали в LogMar, затем обратно – в привычные для нашей страны единицы (decimal). Для статистического анализа и оценки остроты зрения использовали средние данные по LogMar [98].

2. Офтальмометрию и рефрактометрию с помощью автоматического авторефрактометра RC-5000 (Тотеу, Япония) и оптического когерентного томографа (Casia 2, Tomey, Япония). В послеоперационном периоде на всех сферического контрольных сроках оценивались показатели И цилиндрического компонентов рефракции, среднее значение кератометрических данных.

3. Периметрию на автоматизированном компьютерном анализаторе

поля зрения (Humphrey, CША).

4. Тонометрию с помощью пневмотонометра (Торсоп, Япония). При необходимости для определения основных показателей гидродинамики глаза использовался пневмотонограф Metronic (США).

5. Биомикроскопию переднего отрезка глаза с использованием щелевой лампы BQ 900 (Haag-Streit, Швейцария), позволяющей производить фото- и видеосъемку.

6. Биометрию с помощью оптической биометрии на аппарате Lenstar LS 900 (Haag-Streit, США).

7. Расчет ИОЛ, который выполняли с использованием формулы Barret Universal II. Учитывали длину передне-задней оси глаза, кератометрию в сильном и слабом меридиане роговицы, глубину передней камеры, толщину нативного хрусталика.

8. Определение степени плотности ядра хрусталика. Проводили по классификации L. Buratto (1998) [58]. Классификация включает пять степеней плотности хрусталика:

- первая степень (I) – мягкое ядро, прозрачное или светло-серого оттенка, с кортикальными или субкапсулярными помутнениями, появившимися, как правило, недавно. Такое ядро особенно часто встречается в случае пресенильной метаболической катаракты;

- вторая степень (II) – ядро малой плотности, ядерная катаракта серого с желтым или светло-серого оттенка. При этом если ядро прозрачно, то оно имеет консистенцию малой плотности;

- третья степень (III) – ядро средней плотности, характерное для классической возрастной катаракты желтого цвета. Серый цвет ядра характерен для катаракт с кортикокапсулярным компонентом, которые встречаются у пациентов в возрасте после 60–65 лет;

- четвертая степень (IV) – плотное ядро янтарно-жёлтого цвета, встречающееся в случае перезрелых возрастных катаракт со значительным увеличением ядерной части, что свидетельствует о длительном процессе помутнения;

- пятая степень (V) – очень плотное ядро, имеющее темный цвет, оттенки которого могут изменяться от янтарного до чёрного. При этом ядро занимает практически весь объем хрусталика.

9. Непрямую офтальмоскопию глазного дна с помощью щелевой лампы с использованием высокодиоптрийной асферической линзы с оптической силой 78 дптр (Osher Max Field, Ocular, США).

10. Ультразвуковое А- и В-сканирование на аппарате E-Z Scan A/B-5500+ (Sonomed, США). Измеряли следующие параметры: глубину передней камеры, толщину хрусталика, величину передне-задней оси глазного яблока. В ходе исследования исключали патологию сетчатки и стекловидного тела.

11. Методы оценки функционального состояния сетчатки и зрительного нерва. Электролабильность (Гц) и порог электрической чувствительности (мкА) определялись с помощью микропроцессорного устройства (ЭСОМ – КОМЕТ, Россия). При исследовании пассивный электрод держится в руке пациента, а активный электрод устанавливается на височную область закрытого века исследуемого глаза. Сначала определяли минимальную силу тока, при котором появляется электрофосфен (порог электрической чувствительности), а затем, увеличивая частоту тока, регистрировали критическую частоту исчезновения мельканий фосфена (электролабильность). Электрофизиологические исследования (ЭФИ) проводились с помощью системы (ЕР-1000 Multifocal, Тотеу, Япония).

Электроретинографию и регистрацию вызванных зрительных потенциалов проводили по требованиям стандартного протокола Международного общества клинической электрофизиологии зрения ISCEV [McCulloch, D. L. ISCEV Standard for full-field clinical electroretinography (2015 update) / D.L. McCulloch, M.F. Marmor, M. G. Brigell et al. // Doc. Ophthalmol. – 2015, Feb. – N 130 (1). – P. 1–12].

Помимо комплексного клинико-функционального офтальмологического исследования всем пациентам для исключения тяжелой соматической патологии до операции проводили общее клиническое обследование.

# 2.3.2 Методы специальных и дополнительных диагностических исследований

1. Ультразвуковая биомикроскопия. Для объективной оценки положения хрусталика и определения его возможного смещения при слабости волокон цинновой связки до операции была использована УБМ (P-40, PARADIGM, США, датчик UBM Accutome, США). Волокна цинновой связки анализировались в четырех позициях – на 12, 15, 18 и 21 ч. По данным УБМ дефекты волокон цинновой связки варьировали от 15 до 40 градусов в обеих группах (см. Рисунок 2).

2. ОСТ переднего отрезка глаза для определения пахиметрии и глубины ПК выполнялась с помощью прибора Visante (Carl Zeiss, Германия); ОСТ заднего отрезка глаза для оценки средней центральной фовеолярной толщины с помощью прибора Cirrus HD-OCT 5000 (Carl Zeiss Meditec, Германия). Исследования выполняли в режиме Macula Cube, размер изображения желтого пятна 512 x 128 или 200 x 200; а для оценки диска зрительного нерва – в режиме Optic Disc Cube, размер изображения 200 x 200. Учитывали нормы, приведенные в руководстве к используемому прибору.

3. Определение положения ИОЛ в капсульном мешке с визуализацией переднего сегмента глаза с помощью ОСТ выполнялось по разработанному нами методу (патент № 2683932), изложенному в главе 4, п.4.3.1.

4. Анализ изображений Пуркинье – определение псевдофакодонеза с помощью изображений Пуркинье.



Рисунок 2 – Данные УБМ левого глаза пациента М., 70 лет, до операции: *А*, *Б*, *В*, *Г*– снимки на 12, 15, 18, 21 ч соответственно.

Изображения Пуркинье – это отражения от передней (PI) и задней (PII) поверхностей роговицы, а также от передней (PIII) и задней (PIV) поверхностей нативного либо искусственного хрусталика (Рисунок 3). Из четырех названных изображений единственно инвертированным изображением является PI, в то время как другие являются вертикальными изображениями из-за того, что отражаются от внутренней поверхности линзы. Первое и второе изображения Пуркинье почти полностью наложены друг на друга, поэтому обычно только первое изображение Пуркинье используется для обнаружения фиксации глаза, поскольку оно более яркое. PIII больше других изображений, в то время как PIV меньше, но ярче, чем PIII. Для диагностики обычно используются изображения PI и PIV.



Рисунок 3 – Схема, изображающая четыре отражения изображений Пуркинье (By Jessica Morales, ECE '17)

В нашем исследовании изображения Пуркинье анализировались с помощью цифровой видеощелевой лампы. Изображения Пуркинье 1 (PI) и Пуркинье 2 (PII) представляют собой отражение света щелевой лампы от передней и задней поверхностей роговицы; они были видны перекрытыми, четкими и яркими. Изображение Пуркинье 4 (PIV) – это отражение света от внутренней поверхности ИОЛ; оно было менее интенсивным, перевернутым и диффузным. В целях исследования колебаний ИОЛ в капсульном мешке пациента просили производить горизонтальные саккадические движения в пределах 10 градусов.

Движение изображений записывалось на видеощелевую лампу при фокусировке на целевое освещение в течение примерно 30 с. Данные видео обрабатывались с помощью программы для редактирования (Pinnacle Studio 15) в Windows 10. Для каждого случая снимались по три видеофрагмента, или таймфрейма (ТФ). С каждого фрагмента в 30 с методом рандомизации захватывалось по одному кадру с PIV и PI. Полученные изображения (ТФ) в формате JPEG анализировались с помощью программы ImageJ для вычисления расстояния от PIV до PI. На всех изображениях было выбрано масштабирование, где 1,0 мм был эквивалентен 200 пикселям. После этого при помощи линейного инструмента замерялось расстояние от PIV до PI (Рисунок 4).



Рисунок 4 – Фотографии глаза пациента К., 59 лет, после операции: положение PIV (красный круг) по отношению к PI (желтый круг) с измерением расстояния между ними на трех таймфреймах (TF), положение PIII (зеленый круг)

5. Определение плотности клеток ЗЭР с помощью анализатора клеток ЕМ-3000 (Тотеу, Япония).

6. Аберрометрия проводилась с помощью аберрометра OPD-Scan (Nidek, Япония).

Периодичность комплексного офтальмологического обследования, включающего основные стандартные и специальные методы исследований, представлена в Таблице 3. Ряд обследований (ЦТР, ЗЭР) проводили дополнительно через 1 месяц после операции.

#### 2.4. Предоперационная подготовка

Предоперационная подготовка начиналась с беседы хирурга с пациентом и установления психологического контакта объяснением характера вмешательства, результатов и возможных осложнений. Успех операции во

многом зависел от этих факторов и качества подготовки к вмешательству. Осмотр терапевта с определением общесоматического статуса, осмотр анестезиолога с контролем жизненных показателей проводились всем пациентам. По показаниям назначалась дополнительная гипотензивная терапия.

Помимо стандартной подготовки глаз, назначения антибиотиков и антисептиков, за 20 минут до операции выполняли 2-кратную инстилляцию комбинированного мидриатика (Phenylephrine 0,5%+ Tropicamide 0,08%) с интервалом в 10 минут.

Для профилактики миоза во время операции в основной группе на этапе предоперационной подготовки, помимо вышеперечисленного, всем пациентам за один день до операции и в день операции проводили однократные инстилляции нестероидного противовоспалительного препарата (0,09% раствора бромфенака) [22; 23; 3]. Для выполнения фемтоэтапа операции и осуществления качественного капсулорексиса медикаментозно обеспечивался диаметр зрачка не менее 5,0 мм.

Анестезиологическая подготовка начиналась с премедикации за 30 минут до операции. Выполнялось внутримышечное введение обезболивающих и антигистаминных препаратов, седативных средств и нестероидного противовоспалительного препарата. Дозировки препаратов определялись в соответствии с возрастом, весом и эмоциональным состоянием пациента. Всем пациентам были проведены 3-кратные инстилляции 0,5% раствора проксиметакаина.

# Таблица 3 – Периодичность исследования функциональных и

морфометрических параметров оперированного глаза

Исследование	До операции	4-й день после операции	3 мес. после операции	б мес. после операции	1 год после операции
Авторефрактокератометрия	•	•	•	•	•
Визометрия (НКОЗ, КОЗ)	•	•	•	•	•
Тонометрия, мм рт. ст.	•	•	•	•	•
Биомикроскопия, офтальмоскопия	•	•	•	•	•
Оптическая биометрия, мм	•	•	•	•	•
Периметрия	•				
Ультразвуковое сканирование глаза, А-В-режим, ЭФИ, лабильность зрительного нерва	•				
Ультразвуковая биомикроскопия	•	•	•	•	•
Оптическая когерентная томография: -переднего отрезка глаза (пахиметрическая карта), мкм, (дополнительно ч/з 1 месяц); -макулярной области, мкм	•	•	•		•
Оптическая когерентная томография переднего отрезка глаза: - определение положения ИОЛ с помощью замеров и расчетов в мануальном режиме;		•	•		•
Оптическая когерентная томография переднего отрезка глаза - определение положения ИОЛ в автоматическом режиме (Tilt, градусы; Decentration, мм);		•	•		
Оптическая когерентная томография переднего отрезка глаза -определение ACD, мм; HOAs, мкм; SA, мкм		•	•		
Анализатор плотности клеток заднего эпителия роговицы (ЗЭР), кл/мм <sup>2</sup>	•		•		•
Аберрометрия (роговичные и внутренние НОА), мкм	•	•	•	•	•
Анализ изображений Пуркинье, мм		•		•	•

#### 2.5 Техника ФЭК у пациентов с подвывихом хрусталика I степени

ФЭК выполнялась с учетом наличия подвывиха хрусталика и слабости цинновой связки. Для предупреждения осложнений использовались различные общепринятые для данной ситуации приемы с соразмерным снижением давления ирригации, вакуума и аспирации, тщательной гидродиссекцией, использованием ВКК и др. [36; 25; 6; 16; 97].

После 2-кратной обработки хирургического поля 0,5% раствором хлоргексидина накладывали металлический блефаростат. Парацентезы шириной 1 мм выполнялись на 2 и 9 ч. В переднюю камеру был введен дисперсный вискоэластик (Viscoat, Alcon, США). Далее выполнялся тоннельный роговичный разрез шириной 2,2 мм на 10 ч. Далее через парацентез на 9 ч при помощи капсульного цангового пинцета с разметкой выполняли круговой непрерывный капсулорексис размером 4,8-5,1 мм. Гидродиссекцию и гидроделинеацию выполняли с учетом наличия подвывиха хрусталика без излишнего давления. Факоэмульсификация проводилась на приборе Infiniti (Alcon, США) с применением методики горизонтального чопа. Ирригацию – аспирацию выполняли бимануально с учетом слабости цинновой связки, при удалении кортикальных масс натяжение было направлено преимущественно в сторону поврежденных связок с целью их сохранения. Переднюю камеру заполняли вискоэластиком (Provisc, Alcon, CША). При помощи инжектора вводили внутрикапсульное кольцо (НЭП, Москва, Россия) диаметром 12 мм, затем имплантировали ИОЛ (Alcon, США). Далее гидратировали роговичные разрезы. По завершении операции выполняли антибиотика субконъюнктивальную инъекцию стероидного И противовоспалительного препарата (Dexamethazon 0,3 ml + Gentamycin 0,2 ml).

В послеоперационном периоде всем пациентам выполнялись инстилляции антибиотика 4 раза в день в течение 7–10 дней, стероидного

противовоспалительного препарата – 4 раза в день с постепенным снижением кратности инстилляций по схеме в течение 4 недель, нестероидного противовоспалительного препарата – 1 раз в день в течение 2 недель, также назначались кератопротекторы 3 раза в день в течение 4 недель.

#### 2.6 Статистическая обработка данных

Статистическую обработку данных проводили с использованием компьютерных программ Statistica 12 (StatSoft, CША) и Microsoft Office Excel 2010 (Microsoft, США). Переменные были проверены на нормальность распределения по критерию Колмогорова – Смирнова. Использовали традиционные показатели описательной статистики: число наблюдений (n), среднее арифметическое (M), стандартное отклонение ( $\delta$ ) и категориальные данные (в процентах). Для сравнения данных до и после операции использовали t-критерий Стьюдента для зависимых выборок. Для сравнения независимых выборок между группами в связи с несоответствием нормальному распределению в выборках использовали непараметрический критерий Манна – Уитни ( $p_{m-u}$ ). Различия между показателями выборок считали достоверными при уровне значимости меньше 0,05.

# ГЛАВА З ОПТИМИЗАЦИЯ ТЕХНИКИ ФЕМТОЛАЗЕР-АССИСТИРОВАННОЙ ЭКСТРАКЦИИ КАТАРАКТЫ ПРИ ПОДВЫВИХЕ ХРУСТАЛИКА

Целью данной главы является разработка эффективных и безопасных параметров технологии ФЛАЭК для неосложненного выполнения капсулорексиса, фрагментации ядра хрусталика и роговичных разрезов у пациентов с подвывихом хрусталика I степени.

#### 3.1 Техника ФЛАЭК у пациентов с подвывихом хрусталика

Система LenSx (Alcon, США) предназначена для проведения хирургии катаракты. Использование по назначению предполагает выполнение передней капсулотомии, факофрагментации и формирование разрезов в роговице. Лазер LenSx создает разрезы посредством плотно сфокусированных лазерных импульсов, по длительности соизмеримых с фемтосекундами, которые рассекают ткань с точностью до микрона. Срез формируется последовательными сериями микрофотовзрывов, управляемых с помощью компьютеризированной системы доставки [35]. Лазер фокусирует в глаз луч из низкоэнергетических импульсов инфракрасного спектра. Каждый импульс энергии создает в фокусе луча фотовзрыв микрообъема ткани. В результате последовательных проходов лучом из единичных выстрелов формируется единый шаблон непрерывного резания. Промежуток между точками фотовзрывов задается пользователем. Типичный разрез состоит из совокупности миллионов микроразрывов. Разрезы формируются путем задания размера, формы и размещения шаблона проходов. Следует отметить, что в случае Nd:YAG лазера для возникновения эффекта фотодеструкции при выполнении передней капсулотомии требуется в 100 раз больше энергии за импульс, чем для фемтосекундного лазера [10].

Выполнение передней капсулотомии заключается в цилиндрическом иссечении, которое начинается ниже поверхности капсулы и продолжается капсулу микрон переднюю через на несколько В камеру глаза. Факофрагментация заключается в формировании двух и более вертикально ориентированных плоскостей в форме эллипса, которые пересекаются в центре хрусталика. Максимальная глубина среза должна быть, по крайней мере, на 500 мкм выше задней капсулы. Разрезы начинаются от самой глубокой точки и перемещаются вверх, заканчиваясь ниже передней капсулы.

Согласно рекомендациям производителя, технические характеристики фемтосекундной лазерной платформы LenSx позволяют варьировать энергией в импульсе от 0,27 до 15 мкДж с погрешностью ± 1,5 мкДж, размером между импульсами от 3 до 14 мкм по горизонтали и от 2 до 14 мкм по вертикали с шагом 1 мкм, частотой повторения импульсов 50 кГц. В то же время энергетические параметры любой лазерной установки должны быть настроены таким образом, чтобы энергия и расстояние между импульсами были адекватно подобраны. В противном случае слишком большая энергия в импульсе без четкой соразмерности расстояния между импульсами может приводить к незначительному отклонению лазерного луча от заданного направления, что недопустимо. В инструкции по эксплуатации лазера указано, что промежуток между точками фотовзрывов (импульсами) подбирается и задается пользователем индивидуально.

Как любом И при хирургическом вмешательстве, существует вероятность осложнений. Потенциальными осложнениями, которые могут место, следующие: децентрация капсулотомии, иметь являются факофрагментации и разрезов роговицы; наличие грубых перемычек в сформированном капсулорексисе; разрыв капсулы; повреждение внутриглазных структур. Потенциальные осложнения не ограничиваются

59

вышеперечисленными. Этими осложнениями можно управлять, в том числе с помощью подобранных энергетических режимов лазерного воздействия.

Таким образом, одной из задач настоящей работы являлась разработка эффективных и безопасных технических параметров для применения ФСЛ в определённых энергетических режимах при выполнении капсулорексиса, фрагментации ядра хрусталика, роговичных разрезов и, в итоге, оптимизация ФЛАЭК хрусталика технологии при подвывихе использованием С фемтосекундной лазерной платформы LenSx. Выбор параметров лазерного излучения выполнялся в период с 2014 по 2018 год на анализе 800 операций и был основан на интраоперационной оценке врачом-офтальмологом после фемтоэтапа качества манипуляций на этапе факоэмульсификации катаракты пациентов с подвывихом хрусталика и по клинической картине V оперированного глаза на следующий день после операции.

Следует отметить, что разработанные энергетические параметры фемтоэтапа могут значимо отличаться от параметров для выполнения ФЛАЭК в случаях проведения хирургии в стандартных условиях на стабильном хрусталике различной плотности. Кроме этого, каждый хирург вправе варьировать указанными данными в рамках своего опыта и в зависимости от клинической ситуации. Указанные ниже параметры технические фемтотехнологии были подобраны и разработаны прежде всего для выполнения вмешательства на сублюксированном хрусталике <sup>1</sup> с учетом нестабильности его положения и слабости цинновой связки глаза для предупреждения возможных осложнений.

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup> Пат. 2665678 Российская Федерация, МПК А61F 9/008. Способ факоэмульсификации катаракты при подвывихе хрусталика / Паштаев Н.П., Куликов И.В.; заявитель и патентообладатель ФГАУ МНТК «Микрохирургия глаза» им.акад. С. Н. Федорова (RU). - № 2017138225; заявл. 02.11.2017. опубл. 03.09.2018, Бюл. № 25. – 9 с.

# 3.1.1 Фемтолазерный этап операции для выполнения капсулорексиса, факофрагментации и роговичных разрезов

Подготовка пациентов к операции описана в главе 2, п. 2.4. Всем пациентам в предоперационном периоде, помимо антибиотика и антисептика, за 1 день и за 20 минут до операции проводили инстилляции нестероидного противовоспалительного препарата (Bromfenacum 0,09% раствор) И мидриатика (Phenylephrine 0.5% + Tropicamide 0.08%). После выполнения всех подготовительных мероприятий пациент укладывался на хирургическую кушетку фемтосекундного лазера. Под местной анестезией после установки векорасширителя на глаз пациента накладывали мягкий интерфейс лазера. Под контролем монитора и ОСТ после докинга и набора вакуума выполняли настройки прецизионных лазерных разрезов капсулы, ядра хрусталика и роговицы. При контакте интерфейса с роговицей проверяли центрирование интерфейса по данным ОСТ. На мониторе отображалось потоковое («живое») видеоизображение аппланированного глаза и индикатор, оповещающий об активности ОСТ. После этого хирург задавал положение выбранных и запланированных шаблонов относительно тканей глаза (выполнялось Pattern Positioning). Общий порядок позиционирования шаблонов и регулирования центровки фемтолазерного воздействия после аппланации включает в себя следующее: центрацию воздействия по лимбу и ОСТ, выбор положения передней капсулотомии и диаметра шаблона фрагментации хрусталика (раскол и/или цилиндр), задание глубины и границ разрезания капсулы, выравнивание положения капсулы и хрусталика, размещение основного и вспомогательных роговичных разрезов (парацентезов), определение толщины роговицы в зоне разрезов. С помощью ОСТ определялись точно заданные границы капсулы, числовые значения отклонений вверх и вниз, указанные на этапе планирования капсулотомии, которые в ходе операции по желанию хирурга могли быть всегда изменены. После аппланации центрация капсулотомии осуществлялась автоматически по лимбу. Однако последующее совмещение границ капсулы с положением шаблона хрусталика позволяло соотнести их формы, положение, наклон и размер, обозначить плоскости и центрацию воздействия по данным ОСТ-скана.

При смещении хрусталика смещался и центр капсулотомии. Если параметры передней капсулотомии были выбраны корректно, на изображении монитора появлялась пунктирная линия, отображающая ось наклона хрусталика и завершался очередной этап (Capsule Range). Определение границ капсулы позволяло задать положение шаблона фрагментации хрусталика, для соответствия их форме, размеру и положению хрусталика. Обозначалась плоскость, соответствующая задней и передней границам между капсулой и хрусталиком. Полученный линейный ОСТ-скан отображался в соответствии с углом наклона хрусталика, определенным на предыдущем этапе. Устанавливали опорные точки на нижней границе передней капсулы (Ant. Capsule) и на верхней границе задней капсулы (Post. Capsule). В завершение настраивали толщину для основного И вспомогательного разрезов роговицы в зависимости от данных кератометрии и/или кератотопографии. По завершении всех этапов позиционирования на мониторе появлялся краткий отчет по заданным шаблонам. После ознакомления с отчетом хирург приступал к операции. Границы разреза капсулы на глубину 250–300 мкм с диаметром в среднем 5,1 мм (4,8–5,3 мм), являющимся оптимальным для последующей эвакуации хрусталиковых масс и стабильного положения заднекамерной ИОЛ, выполняли с энергией импульса 4–5 мкДж с расстоянием между лазерными импульсами от 3 до 5 мкм. В соответствии с размерами зрачка, видом имплантируемой ИОЛ и другими причинами диаметр капсулорексиса мог задаваться хирургом в определенном диапазоне (от 4,5 до 5,5 мм) (Рисунок 5, А). Для фрагментации ядра узко направленным пучком лазера выполняли прецизионные разрезы с запрограммированным отступом от передней и задней капсул (на 400-800мкм) на глубину 90% толщины хрусталика (максимально до 8000 мкм).

Паттерн для фрагментации ядра хрусталика представлял собой 4 цилиндрических и 4 радиальных реза по типу spider web. При этом диаметр фрагментации должен быть на 0,5 мм меньше диаметра зрачка и в среднем составлять 4,3–4,6 мм с энергией в пределах 5–10 мкДж и расстоянием между лазерными импульсами от 6 до 10 мкм (Рисунок 5, *Б*).

Основной роговичный разрез выполняли на 130 градусах шириной 2,2мм, длиной 2,0 мм с энергией импульса 4–5 мкДж в трех плоскостях: 1-я плоскость – 40% глубины, угол среза 70 градусов; 2-я плоскость – 100% глубины, угол среза 15 градусов; 3-я плоскость – 120% глубины, угол среза 80 градусов. Затем формировали два дополнительных разреза (парацентеза) в двух позициях от основного на усмотрение хирурга (как правило, на 15 и 170 градусах); 120% глубины с углом среза 30 градусов и шириной 1,5 х 1,4мм в соответствии со стандартными размерами рукоятки для ирригацииаспирации с трапециевидным профилем, сужающимся кнутри на 0,1 мм. Точная и настраиваемая форма разрезов, которые самостоятельно герметизировались по окончании операции, позволяла хирургу выполнять передней камере без ее опорожнения, манипуляции в что также способствовало завершению операции в безопасном и щадящем режиме (Рисунок 5, *B*).

#### 3.1.2 Этап факоэмульсификации катаракты

По окончании фемтолазерного этапа пациент транспортировался на хирургический стол, где этап факоэмульсификации осуществлялся следующим образом. Шпателем вскрывали основной и дополнительные роговичные разрезы, созданные ФСЛ. Затем с помощью капсульного пинцета удаляли переднюю капсулу в зоне сформированного разреза по кругу. Далее проводили дозированную гидродиссекцию. После этого по прецизионным разрезам техникой faco chop выполняли фрагментацию ядра хрусталика. На вкладке чоп для раскола хрусталика использовали непрерывный режим продольного ультразвука 0–30%, торсионный ультразвук 0%, ВГД 55 мм рт. ст., вакуум 150–475 мм рт. ст., аспирацию 22 см<sup>3</sup>/мин. На вкладке квадрант для удаления хрусталиковых масс применяли режим ультразвука вспышка, продольный ультразвук 0%, время паузы 1000–0, торсионный ультразвук 60%, время вкл. 70 мс, ВГД 55 мм рт. ст., вакуум 200–550 мм рт. ст., аспирацию 22 см<sup>3</sup>/мин. На вкладке кортекс для эвакуации кортикальных масс устанавливали ВГД 55 мм рт. ст., вакуум 0–500 мм рт. ст., аспирацию 24 см<sup>3</sup>/мин. На вкладке полировка для удаления остаточного кортекса применяли ВГД 55 мм рт. ст., вакуум 0–24 мм рт. ст., аспирация 0-14 см<sup>3</sup>/мин. На вкладке виско для удаления вискоэластика из полости глаза использовали ВГД 55 мм рт. ст., вакуум 650мм рт. ст., аспирацию 0-50 см<sup>3</sup>/мин. Фрагменты хрусталика удаляли небольшим ультразвуком и аспирацией с помощью факоэмульсификатора.

Энергия ультразвука в среднем сокращалась на 30%, время действия аспирации в среднем меньше на 29% по сравнению с ФЭК. Далее выполняли ирригацию-аспирацию при максимально щадящих настройках и имплантацию заднекамерной ИОЛ по традиционной методике, с использованием ВКК. Общее время операции составляло в среднем 20–25 минут. Послеоперационное ведение пациентов осуществляли по общепринятой схеме [5; 39]. Схема ФЛАЭК с предоперационной подготовкой представлена на Рисунке 6.



Рисунок 5 – Фото монитора фемтосекундного лазера LenSx: *А* – настройка параметров капсулотомии; *Б* – настройка параметров фрагментации хрусталика; *В* – настройка параметров роговичных разрезов



Рисунок 6 – Алгоритм предоперационной подготовки и технологии ФЛАЭК

при подвывихе хрусталика

Таким образом, в данной главе представлен разработанный алгоритм предоперационной подготовки и технологии ФЛАЭК при подвывихе хрусталика. Он позволяет выполнить операцию с минимальной энергетической нагрузкой на ткани глаза. В итоге это выводит результаты вмешательства на новый качественный уровень, сокращая риск возможных осложнений и способствуя получению высоких зрительных функций.

## ГЛАВА 4 РЕЗУЛЬТАТЫ СРАВНИТЕЛЬНЫХ КЛИНИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Целью данной главы является выполнение сравнительного анализа ультразвуковых и гидродинамических параметров факоэмульсификации, клинико-функциональных результатов, а также осложнений после ФЛАЭК и ФЭК.

#### 4.1 Анализ ультразвуковых и гидродинамических параметров

Обследовано 136 пациентов, которые были разделены на две группы:

- 1-я группа – 60 пациентов (60 глаз) со средним возрастом 67,65 ± 8,01 лет (от 49 до 80 лет), где выполняли ФЛАЭК;

- 2-я группа – 76 пациентов (76 глаз) со средним возрастом 72,27 ± 11,85 лет (от 40 до 79 лет), где проводилась традиционная ФЭК.

Подвывих хрусталика I степени по Паштаеву Н.П. (2006) [34] диагностирован у всех пациентов. Плотность катаракты по Buratto L. (1998) [58] в 1-й группе в 25 случаях (41,66%) была II–III степени и в 35 случаях (58,34%) – IV степени, во 2-й группе в 36 случаях (47,37 %) – II–III степени и 40 случаях (52,63%)\_ IV степени. Исследовали параметры В факоэмульсификации: общее время ультразвука (с), продольный И торсионный ультразвук в положении педали 3 факоэмульсификатора (пп3, с), эквивалентную мощность (%), потраченную кумулятивную энергию (кДж), время действия аспирации (с), общее затраченное количество (мл) и время операции (с).

Операции ФЛАЭК и ФЭК выполнены тремя опытными хирургами под местной анестезией. Техника операции ФЭК с указанием использованного оборудования описана в главе 2, п. 2.4, ФЛАЭК – в главе 3. Все операции, вошедшие в данное исследование, прошли без осложнений; всем пациентам

имплантировали ИОЛ. Технические параметры факоэмульсификации выбирали в зависимости от плотности катаракты. Ультразвуковые и гидродинамические параметры факоэмульсификации в группах представлены в Таблице 4.

Таблица 4 – Показатели технических параметров факоэмульсификации в сравниваемых группах (*M* ± δ, *n* = 136)

Показатель	1-я группа ( <i>n</i> = 60, ФЛАЭК)	2-я группа ( <i>n</i> = 76, ФЭК)	р <sub>т-и</sub>
Общее время УЗ, с	$80,\!37 \pm 39,\!81*$	$127,11 \pm 105,74*$	0,044996
Продольный УЗ в пп3, с	$10,84 \pm 13,55$	$11,81 \pm 15,82$	0,688017
Торсионный УЗ в пп3, с	82,81 ± 49,02*	113,29 ± 95,61*	0,047493
Эквивалентная мощность, %	$19,22 \pm 6,92$	$20,81 \pm 10,19$	0,592780
Потраченная кумулятивная энергия, кДж	$20,44 \pm 15,31$	$30,\!61 \pm 27,\!82$	0,065647
Время действия аспирации, с	198,29 ± 90,52*	258,35 ± 157,61*	0,041402
Общее потраченное количество жидкости, мл	62,41 ± 29,01	$76,71 \pm 58,47$	0,102346
Время факоэмульсификации, с	$1131,91 \pm 653,71$	$1257,38 \pm 679,27$	0,467523

\*Разница между группами статистически значима,  $p_{m-u} < 0.05$ .

Таким образом, по результатам данного исследования ультразвуковые и гидродинамические интраоперационные параметры в 1-й группе были ниже и статистически значимо отличались от данных во 2-й группе: общее время ультразвука было снижено в среднем на 37%, время торсионного ультразвука– на 27%, время действия аспирации – на 23%. В 1-й группе отмечена тенденция к меньшим значениям потраченной кумулятивной энергии на 33%. По другим параметрам этапа факоэмульсификации достоверных отличий между группами не выявлено.

# 4.2 Клинико-функциональные результаты 4.2.1 Операционные и послеоперационные осложнения

Анализ осложнений, выявленных у пациентов, вошедших в исследование на начальном этапе, во время и после операции в течение всего периода наблюдения, представлен в Таблице 5.

Таблица 5 – Осложнения в исследуемых группах у 136 пациентов (n/%)

	1-я основная группа	2-я группа сравнения
Осложнения	(n = 60, ФЛАЭК)	( <i>n</i> = 76, ФЭК)
Разрыв задней капсулы	1 (1,66)	2 (2,63)
Отек роговицы в раннем послеоперационном	4 (6,66)	7 (9,21)
периоде, выявляемый при биомикроскопии		
Дислокация ИОЛ	-	1 (1,31)
Отек макулы в раннем послеоперационном	-	1 (1,31)
периоде		
Антиглаукоматозные операции в отдаленном	1 (1,66)	1 (1,31)
послеоперационном периоде (в течение 1		
года после операции)		
Всего	6 (10,00)	12 (15,79)

У пациентов с разрывами задней капсулы была имплантирована ИОЛ – модель РСП-3 (НЭП, Микрохирургия глаза, Россия). Отек роговицы разной степени выраженности купировался в течение 4–5 дней с помощью медикаментозной терапии у всех пациентов. В одном случае после ФЭК выполнена замена ИОЛ через 9 месяцев в связи с ее дислокацией; в связи с повышением ВГД через 1,5 месяца выполнена микроинвазивная непроникающая глубокая склерэктомия в одном случае. После ФЛАЭК через 1 месяц была выполнена селективная трабекулопластика для купирования повышения ВГД.

Таким образом, в основной группе зарегистрировано 6 (10%), в группе сравнения – 12 (15,79%) осложнений, одно из которых (отек макулы) привело к значительному снижению зрительных функций (1,31%). В остальных случаях в обеих группах осложнения не привели к потере зрительных функций.

Согласно критериям исключения пациентов из исследования из 1-й группы был исключен 1 пациент, из 2-й группы были исключены 4 пациента. Последующий анализ клинико-функциональных результатов операций был выполнен у 131 пациента (131 глаз): 59 пациентов (59 глаз) после ФЛАЭК и 72 пациента (72 глаза) после ФЭК.

#### 4.2.2 Рефракционные и кератометрические показатели

Данные рефрактометрии и офтальмометрии в группах в разные сроки после операции представлены в Таблицах 6 и 7.

Как видно из Таблицы 6, в 1-й основной группе сферический компонент рефракции статистически значимо отличался от исходных данных на 4-й день (p < 0,001) и через 3 месяца (p = 0,009) после операции. Сферический компонент рефракции в 1-й основной группе статистически значимо не изменился через 6 месяцев (p = 0,055) и 1 год (p= 0,116) по отношению к данным через 3 месяца после операции. В 1-й основной группе цилиндрический компонент рефракции значимо не изменился после операции по отношению к исходным данным, в тоже время была отмечена тенденция к изменению цилиндра через 3 месяца (p=0,059) по отношению к данным через 1 месяц. Тем не менее статистически значимых изменений в цилиндрическом компоненте рефракции в 1-й группе не обнаружено. Таблица 6 — Сравнительные показатели сферического и цилиндрического компонентов рефракции в группах до и после операции ( $M \pm \delta$ , диапазон, D, n = 131)

Показатель	1-я основная группа	2-я группа сравнения
	(n = 59, ФЛАЭК)	( <i>n</i> = 72, ФЭК)
Сфера до операции	-3,80 ± 4,99 (-12,50 +2,50)**	-3,67 ± 5,97 (-19,00 +10,00)
Сфера на 4-й день	-0,44 ± 0,84 (-1,0 +1,25) **	-0,50 ± 0,77 (-1,25 +1,00) **
Сфера через 3 мес.	0,12 ± 0,66 (-0,50 +1,50) **	-0,28 ± 1,00 (-1,50 +1,75) **
Сфера через 6 мес.	0,12 ± 0,59 (-0,75 +1,00)	0,19 ± 0,21 (-0,5 +0,75)
Сфера через 1 год	$0,10 \pm 0,57 (-0,75 \dots +0,75)$	0,27 ± 0,95 (-1,05 +1,25)**
Цилиндр до операции Угол (градусы)	$\begin{array}{c} -1,60 \pm 0,86 \; (-4,00 \dots -0,25) \\ 81,97 \pm 50,62 \; (3,00 - 178,00) \end{array}$	$-1,62 \pm 0,90 (-5,00 \dots -0,25)$ $92,14 \pm 45,52 (1,00 - 180,00)$
Цилиндр на 4-й день Угол (градусы)	-1,38 ± 1,16 (-6,500,15) 84,88 ± 43,15(4,00 -173,00)	$-1,30 \pm 0,92 (-3,70+0,50)$ $79,89 \pm 47,23 (3,00 - 164,00)$
Цилиндр через 3 мес. Угол (градусы)	$-1,26 \pm 1,02 (-2,00+1,25)$ $104,10 \pm 31,90 (15,00 - 180,00)$	-1,64 ± 1,18 (-5,15 +0,50) 105,51 ± 29,59 (15,00 –162,00)
Цилиндр через 6 мес. Угол (градусы)	$\begin{array}{c} -1,01 \pm 0,69 \ (-2,00 \ \dots \ +1,55) \\ 99,25 \pm 43,37 \ (1,00 - 185,00) \end{array}$	-1,13 ± 0,71 (-3,250,19) 100,68 ± 32,57 (34,00 –173,00)
Цилиндр через 1 год Угол (градусы)	$-1,21 \pm 0,62 (-2,250,50)$ 86,71 ± 41,98 (1,00 – 187,00)	$-1,36 \pm 0,71 (-2,950,50)$ 76,47 $\pm$ 30,45 (2,00 $-$ 106,00)

\*\* Разница между данными в группе статистически значима, *p* < 0,05.

В группе сравнения показатели сферического компонента статистически значимо отличались от исходных данных на 4-й день (p < 0,001) и через 3 месяца (p = 0,009) после операции аналогично результатам в основной группе. Выявлена тенденция к различию в данных сферического компонента рефракции через 12 месяцев по отношению к данным через 6 месяцев после операции во 2-й группе (p = 0,057), что говорит о некоторой нестабильности сферического компонента рефракции в этот период. По цилиндру статистически значимых отличий за весь период наблюдения во 2-й группе не найдено (p < 0,05).
Показатель	1-я основная группа $(n - 50, \phi \Pi A \Im K)$	2-я группа сравнения $(n - 72, \Phi 2K)$
	$(n = 39, \Psi JIA JK)$	$(n - 72, \Psi 3 \mathrm{K})$
До операции		
Кср	43,25 ± 3,31 (43,00–47,75)	$43,70 \pm 1,91$ (35,25–47,00)
ax	$99,23 \pm 57,01 \ (1,00-180,00)$	$98,95 \pm 57,88 \ (1,00-180,00)$
4-й день		
Кср	$42,75 \pm 3,54$ (41,50–49,50)	$43,14 \pm 2,00$ (37,25–49,50)
ax	$75,55 \pm 48,17$ (1,00–179,00)	$77,31 \pm 46,44 \ (1,00-179,00)$
Через 3 мес.		
Кср	$43,55 \pm 2,01$ (40,15–47,25)	$43,15 \pm 1,51$ (39,75–46,00)
ax	87,45 ± 51,23 (1,00–180,00)	$77,44 \pm 51,07 \ (2,00 - 180,00)$
Через 6 мес.		
Кср	$43,82 \pm 1,78$ (37,50–48,75)	$43,59 \pm 1,42$ (40,00–47,00)
ах	$104,91 \pm 44,26 (5,00-179,00)$	$104,28 \pm 43,22 \ (11,00-179,00)$
Через 1 год		
Кср	43,29 ± 1,81 (39,00–46,00)	$43,45 \pm 1,21$ (41,75–46,00)
ax	91,46 ± 63,23 (4,00-180,00)	86,85 ± 68,52 (4,00–180,00)

Таблица 7 – Сравнительные показатели средних значений кератометрии (Кср, D) и оси преломления (ах, градусы) в группах ( $M \pm \delta$ , диапазон, n = 131) \*

\*Разница в данных между группами и в группе статистически не значима ( $p_{m-u} > 0,05; p > 0,05$ ).

В сравнительном аспекте статистически значимых различий между группами исследования по анализируемым рефракционным показателям не выявлено (Таблица 6). Достоверных различий в показателях кератометрии в группах и между группами не найдено (Таблица 7).

#### 4.2.3 Острота зрения

Данные по остроте зрения в разные сроки в исследуемых группах после операции представлены в Таблице 8 и на Рисунках 7, 8.

В связи с тем, что для российских исследователей более привычна система измерения остроты зрения по таблицам Сивцева Д.А. и Головина С.С., где острота зрения записывается в виде десятичных дробей, в Таблице 8 средние значения НКОЗ и КОЗ представлены в десятичной системе измерения, затем – в LogMAR. Поскольку для корректного подсчета средней остроты

зрения использовали геометрическое среднее в LogMAR по таблице Бейли и Лоуви (Bailey, Lovie, 1976), являющейся наиболее точной среди всех методов [98], данные в Таблице 8 и на Рисунках 11 и 12 для лучшего восприятия представлены в виде двух систем измерения.

Таблица 8 — Сравнительные показатели НКОЗ и КОЗ в группах до и после операций ( $M \pm \delta$ , Decimal, LogMAR, диапазон, n = 131)

Показатель	1-я группа	2-я группа
	( <i>n</i> = 59, ФЛАЭК)	$(n = 72, \Phi \Im K)$
НКОЗ до операции		
Decimal	0,05	0,07
LogMAR	$1,30 \pm 0,01 \ (+3,50 - +0,50)$	$1,20 \pm 0,12 \; (1,00 \pm 0,56)$
НКОЗ на 4-й день		
Decimal	0,56 **	0,42 **
LogMAR	$0,28 \pm 0,23 \ (0,00-1,00)$	$0,37 \pm 0,29 \; (0,00 - 1,00)$
НКОЗ через 3 мес.		
Decimal	0,63 *	0,42*
LogMAR	$0,23 \pm 0,11 \ (0,00-0,39)$	$0,38 \pm 0,29 \ (0,00 - 0,81)$
НКОЗ через 6 мес.		
Decimal	0,56 *	0,37 *
LogMAR	$0,25 \pm 0,22 \ (0,00 - 0,70)$	$0,44 \pm 0,25 \ (0,04-0,90)$
НКОЗ через 1 год		
Decimal	0,79 *	0,48 *
LogMAR	$0,16 \pm 0,10 (0,00-0,30) **$	$0,35 \pm 0,12 (0,04 - 0,50) **$
КОЗ до операции		
Decimal	0,12	0,11
LogMAR	$1,00 \pm 0,10 (1,30-0,30)$	$1,10 \pm 0,14$ (2,0–0,40)
КОЗ на 4-й день		
Decimal	0,85 **	0,78 **
LogMAR	$0,14 \pm 0,10 \ (0,00 - 0,30)$	$0,17 \pm 0,11 \ (0,00 - 0,39)$
КОЗ через 3 мес.		
Decimal	1,00 *	0,79 *
LogMAR	$0,09 \pm 0,07 \ (0,00 - 0,30)$	$0,16 \pm 0,09 \ (0,00 - 0,30)$
КОЗ через 6 мес.		
Decimal	1,00 *	0,74 *
LogMAR	$0,08 \pm 0,05 \ (0,00 - 0,20)$	$0,18 \pm 0,10 \ (0,00 - 0,30)$
КОЗ через 1 год		
Decimal	1,00**	1,00 **
LogMAR)	$0,06 \pm 0,05 \ (0,00 - 0,18)$	$0,08 \pm 0,08 \ (0,00 - 0,30)$

\*Разница между группами статистически значима,  $p_{m-u} < 0.05$ .

\*\* Разница между данными в группе статистически значима, *p* < 0,05.

В обеих группах на 4-й день показатели НКОЗ и КОЗ статистически значимо и ожидаемо повысились и отличались от исходных, дооперационных, значений (p < 0,001) (Таблица 8, Рисунки 7, 8). Затем в 1-й основной группе показатели КОЗ и НКОЗ в период от 3 месяцев до 1 года после ФЛАЭК постепенно улучшались; КОЗ статистически значимо (p < 0,001) повысилась в среднем на 0,07 ± 0,13 (LogMAR), НКОЗ – на 0,11 ± 0,28 (LogMAR) (p < 0,001) по сравнению с данными на 4-й день после ФЛАЭК.

Во 2-й группе сравнения в течение года острота зрения также повысилась в период от 6 месяцев до 1 года. КОЗ статистически значимо (p = 0,0001) повысилась на 0,07 ± 0,15 (LogMAR), HKO3 – на 0,13 ± 0,32 (LogMAR) (p = 0,001) по сравнению с данными на 4-й день после ФЭК (Таблица 8, Рисунки 7,8).

При сравнении визуальных результатов в группах выявлена статистически значимая разница в данных НКОЗ через 3 месяца ( $p_{m-u} = 0,0375$ ), 6 месяцев ( $p_{m-u} = 0,0005$ ) и 1 год ( $p_{m-u} = 0,0207$ ), в данных КОЗ – через 3 месяца ( $p_{m-u} = 0,0029$ ) и 6 месяцев ( $p_{m-u} < 0,001$ ) с более высокими показателями в 1-й основной группе (ФЛАЭК). В таблице 8 перед значениями остроты зрения в LogMAR приведены более привычные для нашей страны показатели – в десятичной системе.



Рисунок 7 – Сравнительные показатели КОЗ в группах в единицах LogMAR (критерий Манна – Уитни, *n* = 131)



Рисунок 8 – сравнительные показатели НКОЗ в группах в единицах LogMAR (критерий Манна – Уитни, *n* = 1361)

### 4.2.4 Аберрации высшего порядка

Сравнительные данные по роговичным и внутренним аберрациям высшего порядка в группах исследования, полученные с помощью аберрометра (OPD-Scan Nidek, Япония) представлены – в Таблицах – 9, 10 и на Рисунке 9 (n=136).

Таблица 9 — Сравнительные данные роговичных аберраций высшего порядка до и в разные сроки после операций ( $M \pm \delta$ , диапазон, мкм) (n = 131)

Роговичные НОА, зона обследования	1-я группа ( <i>n</i> = 59, ФЛАЭК)	2-я группа ( <i>n</i> = 72, ФЭК)
3,0 мм до операции	0,196 ± 0,424 (0,023–2,849)	0,248 ± 0,432 (0,032–2,387)
3,0 мм на 4-й день	0,281 ± 0,275 (0,054–1,895) *	0,206 ± 0,154 (0,051–0,923)
3,0 мм через 3 мес.	0,139 ± 0,136 (0,049–0,711) *	0,151 ± 0,235 (0,055–1,260)
3,0 мм через 1 год	0,087 ± 0,027 (0,036–0,157) *	0,135 ± 0,120 (0,054–0,553)
6,0 мм до операции	0,644 ± 0,976 (0,075–4,818)	0,885 ± 1,749 (0,17 -9,207)
6,0 мм на 4-й день	0,985 ± 1,431 (0,104–0,104) *	0,859 ± 0,669 (0,029–2,703)
6,0 мм через 3 мес.	0,542 ± 0,265 (0,211–1,439) *	0,877 ± 1,172 (0,222–5,772) *
6,0 мм через 1 год	0,455 ± 0,148 (0,267–0,804) *	0,549 ± 0,528 (0,124–2,318) *

\* Разница между данными в группе статистически значима, p < 0.05.

В 1-й основной группе (Таблица 9, Рисунок 9, *A*) отмечалась вариабельность роговичных НОА в 3,0 - и 6,0 - миллиметровых зонах в течение года после операции. Роговичные НОА в 3,0 - миллиметровой зоне статистически значимо отличались через 3 месяца от данных на 4-й день и

через 1 год – от данных через 3 месяца, а именно уменьшились на 0,141  $\pm$  0,320 (p = 0,001) и 0,052  $\pm$  0,139 (p = 0,001) мкм. Роговичные НОА в 6,0миллиметровой зоне также статистически значимо отличались через 3 месяца от данных на 4-й день и через 1 год – от данных через 3 месяца – уменьшились на 0,443  $\pm$  1,486 (p = 0,027) и 0,086  $\pm$  0,0326 (p = 0,047) мкм соответственно. В основе этих данных по роговичным НОА, мы полагаем, лежит появление отека в раннем послеоперационном периоде в области парацентезов, выполненных ФСЛ, с последующим его снижением к 3-му месяцу и отсутствием через 1 год после операции. В целом, в группе ФЛАЭК при вариабельности данных в течение года, обусловленных преходящим отеком роговицы в области парацентезов, роговичные НОА в 3,0- и 6,0- миллиметровых зонах через 1 год статистически значимо не отличались от данных до операции.

Таблица 10 — Сравнительные данные внутренних аберраций высшего порядка до и в разные сроки после операций ( $M \pm \delta$ , диапазон, n = 131)

Внутренние НОА,	1-я группа	2-я группа
зона обследования	(n = 59, ФЛАЭК)	$(n = 72, \Phi \Im K)$
3,0 мм до операции	0,301 ± 0,400 (0,065–2,981) **	0,325 ± 0,397 (0,047–2,375) **
3,0 мм на 4-й день	0,296 ± 0,327 (0,066–2,036) **	0,216 ± 0,154 (0,05–0,822) **
3,0 мм через 3 мес.	0,156 ± 0,204 (0,051–0,959) **	0,138 ± 0,121 (0,049–0,699)
3,0 мм через 1 год	0,120 ± 0,124 (0,051–0,754) *	0,184 ± 0,248 (0,045–0,834) *
6,0 мм до операции	1,452 ± 1,971 (0,31–12,411)	1,506 ± 1,292 (0,303–5,797) **
6,0 мм на 4-й день	1,179 ± 1,897 (0,208–10,089) **	0,921 ± 0,727 (0,266–3,491) **
6,0 мм через 3 мес.	0,452 ± 0,312 (0,188–1,506) **	0,640 ± 0,677 (0,16–3,022) **
6,0 мм через 1 год	0,399 ± 0,260 (0,189–2,126) *	0,937 ± 0,808 (0,162–2,657) *, **

\*Разница между группами статистически значима,  $p_{m-u} < 0.05$ .

\*\* Разница между данными в группе статистически значима, *p* < 0,05.



Рисунок 9 – Сравнительные показатели роговичных (*A*) и внутренних (*Б*) НОА в группах в 3,0 и 6,0 миллиметровых зонах (критерий Манна – Уитни, мкм, *n* =

Внутренние НОА в группе ФЛАЭК (Таблица 10, Рисунок 9, *Б*) в 3,0- и 6,0- миллиметровых зонах отличались статистически значимыми различиями на всех сроках наблюдения. Имело место статистически значимое различие данных в 3,0- и 6,0- миллиметровых зонах через 3 месяца по отношению к данным на 4-й день – уменьшение НОА на 0,139  $\pm$  0,387 (p = 0,008) и 0,726  $\pm$  1,943 (p = 0,006) мкм соответственно, что объясняется как уменьшением исходных НОА в результате операции по поводу катаракты, так и стабилизацией положения ИОЛ в эти сроки после операции.

В целом, в группе ФЛАЭК внутренние НОА в 3,0 - и 6,0миллиметровых зонах уменьшились в течение всего периода наблюдения и через 1 год статистически значимо отличались от исходных значений на 0,18  $\pm 0,42$  (p = 0,002) и 1,05  $\pm 1,98$  (p = 0,00001) мкм соответственно. Во 2-й группе сравнения, ФЭК, значимых изменений роговичных НОА в 3,0- и 6,0миллиметровых зонах в течение всего периода наблюдения не выявлено.

В итоге, в группе ФЭК внутренние НОА статистически значимо уменьшились в течение всего периода наблюдения и через 1 год отличались от исходных значений на 0,140  $\pm$  0,473 (p = 0,01) и 0,584  $\pm$  1,549 (p = 0,004) мкм в 3,0- и 6,0- миллиметровых зонах соответственно (Таблица 11, Рисунок 9, *Б*). В тоже время было отмечено статистически значимое увеличение внутренних НОА в 6,0 - миллиметровой зоне на 0,296  $\pm$  1,002 (p = 0,01) в период от 3 месяцев до 1 года после операции, что объясняется возможным смещением ИОЛ в капсульном мешке.

При сравнительном анализе между исследуемыми группами получено статистически значимое различие между внутренними НОА в 6,0 - миллиметровой зоне, что связано, мы полагаем, с положением ИОЛ. Через 1 год после операции в группе ФЭК внутренние НОА в 6,0- миллиметровой зоне были в среднем на -0,51 ± 0,87 мкм ( $p_{m-u}$ <0,001) выше по сравнению с группой ФЛАЭК (Таблица 10, Рисунок 9, *Б*).

## 4.2.5 Показатели центральной толщины роговицы и глубины передней камеры глаза

В Таблице 11 и на Рисунке 14 представлены сравнительные результаты по центральной толщине роговицы (ЦТР), в Таблице 12 – по глубине ПК в исследуемых группах по данным ОСТ Visante (Carl Zeiss, Германия) в разные сроки после операций.

Таблица 11 — Сравнительные данные ЦТР до и в разные сроки после операций  $(M \pm \delta,$ диапазон, мкм, n = 131)

ЦТР, срок исследования	1-я группа ( <i>n</i> = 59, ФЛАЭК)	2-я группа ( <i>n</i> = 72, ФЭК)
До операций	527,94 ± 31,07 (474,00-609,00)	525,18 ± 31,65 (474,00–637,00)
На 4-й день	597,75 ± 57,56 (506,00–793,00)*,**	636,86 ± 90,77 (489,00–900,00) *,**
Через 1 мес.	530,08 ± 29,22 (488,00-600,00)	535,64 ± 31,38 (489,00-612,00)
Через 3 мес.	527,42 ± 28,03 (478,00-588,00)	524,56 ± 30,09 (451,00–584,00)
Через 1 год	522,56 ± 24,15 (486,00–572,00)	524,01 ± 21,95 (482,00-561,00)

\*Разница между группами статистически значима, *p*<sub>*m*-*u*</sub> <0,05.

\*\* Разница между данными в группе статистически значима, *p* <0,05.

В обеих исследуемых группах на 4-й день после операций, по данным оптической когерентной томографии, ЦТР статистически значимо отличалась от исходных данных – увеличилась на  $69,81 \pm 65,81$  мкм в 1-й группе (p < 0,001) и на  $110,68 \pm 99,50$  мкм во 2-й группе (p < 0,001). Сравнительная разница в показателях ЦТР между группами на  $38,29 \pm 96,19$  мкм была статистически значима ( $p_{m-u} < 0,001$ ) (Таблица 11 и Рисунок 10). К 1-му месяцу показатели ЦТР снизились до исходных значений в обеих группах и значимо не менялись в течение всего периода наблюдения (Таблица 11 и Рисунок 10).

Таблица 12 – Сравнительные данные глубины передней камеры до и в разные сроки после операций (*M* ± δ, диапазон, мкм, *n* = 131)

ПК, срок исследования	1-я группа ( <i>n</i> = 59, ФЛАЭК)	2-я группа ( <i>n</i> = 72, ФЭК)
До операций	3,17 ± 0,49 (2,28–4,94)	3,06 ± 0,44 (2,28–4,22) **
На 4-й день	3,83 ± 0,76 (2,02–5,24)	3,78 ± 0,85 (1,78–5,46) **
Через 3 мес.	3,92 ± 0,55 (1,87–5,46)	3,89 ± 0,74 (2,0 -5,50)
Через 6 мес.	3,84 ± 0,71 (2,32–5,20) **	3,86 ± 0,78 (2,44–5,55) **
Через 1 год	4,11 ± 0,49 (2,32–5,07) **, *	4,20 ± 0,43 (3,67–5,07) **, *

\*Разница между группами статистически значима, *p<sub>m-u</sub>* < 0,05.

\*\* Разница между данными в группе статистически значима, *p* < 0,05.



Рисунок 10 – Сравнительные данные ЦТР по ОСТ в группах в разные сроки после операций (критерий Манна – Уитни, мкм, *n* =131).

В группах исследования в сроки от 6 месяцев до 1 года отмечено статистически значимое увеличение глубины ПК на 0,35 ± 0,74 мм (p = 0,001) в 1-й группе и на 0,48 ± 0,83 мм (p = 0,001) – во 2-й группе. Также во 2-й группе отмечено увеличение глубины на 4-й день после операции на 0,69 ± 0,83 (p < 0,001) по сравнению с исходными данными (Таблица 12). При сравнительном анализе через 3 месяца после ФЭК ПК статистически значимо была глубже на 0,42 ± 1,01 мм ( $p_{m\cdot u} = 0,003$ ) по сравнению с данными в группе ФЛАЭК. При сравнительном анализе, по данным замеров, сделанных по ОСТ вручную (Таблица 12), глубина ПК после ФЭК через 1 год статистически достоверно отличается и была глубже на 0,39 ± 0,74 мм по сравнению с ПК после ФЛАЭК ( $p_{m\cdot u} = 0,001$ ). Таким образом, во 2-й группе сравнения диагностированы более значительные изменения в глубине ПК в течение всего периода наблюдения.

#### 4.2.6 Показатели центральной толщины сетчатки

Данные по центральной толщине сетчатки в макулярной зоне (ЦТС) в исследуемых группах представлены в Таблице 13.

Таблица 13 – Сравнительные данные ЦТС до и в разные сроки после операций ( $M \pm \delta$ , диапазон, мкм, n = 131) \*

ЦТС, срок исследования	1-я группа ( <i>n</i> = 59, ФЛАЭК)	2-я группа (n = 72, ФЭК)
До операций	247,115 ± 38,5280	$266,455 \pm 28,1691$
	(248,000–311,000)	(217,000–343,000)
На 4-й день	247,067 ± 26,5628	$262,880 \pm 33,9120$
	$(190,000 \pm 296,000)$	(211,000–343,000)
Через 3 мес.	$253,500 \pm 20,1026$	$258,867 \pm 31,8294$
	(232,000–296,000)	(236,000–327,000)
Через 1 год	$249,583 \pm 11,2044$	$259,\!692\pm18,\!7811$
	(233,000–274,000)	(236,000–297,000)

\*Разница в данных между группами и в группе статистически не значима  $(p_{m-u} > 0.05; p > 0.05).$ 

Не отмечено статистической разницы между средними значениями ЦТС в группах (p > 0,05) и между группами ( $p_{m-u} > 0,05$ ) в течение всего периода наблюдения (Таблица 13).

### 4.2.7 Показатели внутриглазного давления

Показатели ВГД в исследуемых группах после операций представлены в Таблице 14.

Таблица 14 — Сравнительные данные ВГД до и в разные сроки после операций ( $M \pm \delta$ , диапазон, мм рт ст, n = 131)\*

ВГД, мм рт. Ст.	1-я группа ( <i>n</i> = 59, ФЛАЭК)	2-я группа ( <i>n</i> = 72, ФЭК)
По операций	$20.01 \pm 8.50(13.00-25.05)$	$18.64 \pm 2.99(12.00-22.05)$
до операции	20,01 ± 0,50 (15,00 25,05)	$10,04 \pm 2,00$ (12,00 22,00)
На 4-й день	17,07 ± 3,18 (13,00–23,21)	18,97 ± 1,77 (16,00–20,00)
Через 3 мес.	18,27 ± 2,91 (13,50–25,00)	17,58 ± 2,62 (12,50–23,00)
Через 6 мес.	18,55 ± 2,01 (15,00-25,00)	18,00 ± 3,01 (13,15–23,50)
Через 1 год	19,22 ± 3,62 (12,00–23,00)	18,91 ± 2,90 (13,00–22,00)

\*Разница в данных между группами и в группе статистически не значима

 $(p_{m\text{-}u}\!>\!0,\!05;\,p>0,\!05)$ 

Не отмечено статистической разницы между средними значениями ВГД в группах (p > 0,05) и между группами ( $p_{m-u} > 0,05$ ) в течение всего периода наблюдения (Таблица 14).

#### 4.2.8 Плотность клеток заднего эпителия роговицы

Данные по плотности клеток ЗЭР в исследуемых группах представлены в Таблице 15.

Таблица 15 — Сравнительные показатели плотности клеток ЗЭР в группах после операций ( $M \pm \delta$ , кл/мм<sup>2</sup>, диапазон, n = 131)

ЗЭР,	1-я группа	2-я группа
срок исследования	(n = 59, ФЛАЭК)	( <i>n</i> = 72, ФЭК)
По оцераций	$2406,01 \pm 404,86^{**}$	2425,89 ± 483,79**
до операции	(1526,00–3027,00)	(1607,00–3120,00)
Harran 1 waa	2289,01 ± 391,79**,*	2210,01 ± 503,22**,*
через 1 мес.	(1439,00–2958,00)	(1387,00–2752,00)
Uener ? Mec	$2271,\!64 \pm 301,\!91$	$2208,67 \pm 342,51$
Tepes 5 Mee.	(1524,00–2988,00)	(1463,00–3097,00)
Uanas 1 rou	2251,41 ± 276,41	$2200,78 \pm 361,37$
терез і тод	(1591,00–2869,00)	(1425,00–2797,00)

\*Разница между группами статистически значима, *p<sub>m-u</sub>* < 0,05.

\*\* Разница между данными в группе статистически значима, *p* < 0,05.

Показатели плотности клеток ЗЭР статистически значимо изменились в обеих группах после операций: плотность клеток ЗЭР в 1-й группе уменьшилась на 121,19 ± 311,71 (5,02 %) кл/мм<sup>2</sup> через 1 месяц (p = 0,000424) и на 136,35 ± 287,31 кл/мм<sup>2</sup> (5,65%) через 3 месяца (p = 0,000110), во 2-й группе сравнения плотность клеток ЗЭР уменьшилась на 211,47 ± 345,52 (8,70%) (p = 0,000001) и на 216,70 ± 491,71 кл/мм<sup>2</sup> (8,90%) соответственно по отношению к дооперационным значениям (Таблица 15).

Через 1 год данные ЗЭР в 1-й группе были снижены на 157,19 ± 211,71 (6,52%) кл/мм<sup>2</sup> (p = 0,004240), во 2-й группе – на 200,33 ± 315,52 (8,25%) кл/мм<sup>2</sup> (p = 0,000010) по отношению к исходным значениям (Таблица 15). При

сравнительном анализе было выявлено, что плотность клеток ЗЭР через 1 месяц после операций во 2-й группе сравнения на 3,45 % была ниже по сравнению с 1-й группой (на 79,09 ± 112,53 кл/мм<sup>2</sup>) ( $p_{m-u} = 0,032287$ ). По нашему мнению, это обусловлено техникой ФЭК и более высокой энергетической нагрузкой на роговицу во время факоэмульсификации, как представлено в п. 4.1.1. Следует отметить, что в течение последующего периода наблюдения статистической разницы в данных ЗЭР между исследуемыми группами не обнаружено ( $p_{m-u} > 0,05$ ).

#### 4.3 Определение положения ИОЛ в капсульном мешке

Целью данного раздела являлась оценка положения интраокулярной линзы после операции. Это дало возможность не только проанализировать в динамике изменение показателей наклона, децентрации, псевдофакодонеза, но и оценить, хотя и опосредованно, качество капсулорексиса и влияние техники операции на связочный аппарат хрусталика.

# 4.3.1 Определение наклона и децентрации ИОЛ по данным ОСТ с помощью замеров и расчетов по авторской методике

Исследование проводили по разработанному нами методу (патент №2683932 от 2.04.2019)<sup>2</sup>.

Изучение данных показателей проводилось с использованием ОСТ с длиной волны 1300 нм (Visante, Carl Zeiss Meditec, Германия). Угол наклона оптической части линзы определяли с использованием линейных и угловых

<sup>&</sup>lt;sup>2</sup> Пат. 2683932 Российская Федерация, МПК А61В 3/00, А61В 5/107. Способ определения положения интраокулярной линзы / Паштаев Н.П., Тимофеева Н.С., Куликов И.В., Пикусова С.М.; заявитель и патентообладатель ФГАУ «НМИЦ «МНТК «Микрохирургия глаза» им. акад. С.Н. Федорова (RU). - №2018113423; заявл. 13.04.2018; опубл. 02.04.2019. Бюл. №10.–8 с.

замеров, децентрацию – по формуле, вычисляющей разницу смещения оптической части ИОЛ относительно анатомических образований переднего отрезка глаза. После расширения зрачка на приборе ОСТ проводили сканирование переднего отдела глазного яблока методом оптической когерентной томографии в режиме Anterior Quard и/или Double, что позволяло четкое изображение получить топографического расположения анатомических структур переднего отрезка глаза И ИОЛ В ДВУХ взаимоперпендикулярных плоскостях (Рисунок 11). Оптическая ось глаза (1) прибором автоматическом выставлялась самим В режиме. После идентификации склеральной шпоры (2)определяли расположение фронтальной плоскости, обозначающейся как базовая линия (3) и проходящей через ee диаметрально противоположные точки, соответствующие склеральным шпорам. Замеряли расстояние между крайними точками (5) оптической части ИОЛ (4), которое должно было совпадать с техническими параметрами диаметра оптической части данной модели ИОЛ, и по диаметру проводили горизонтальную линию через оптический центр линзы (6), соответствующую продольной оси линзы по расположению плоскости сканирования. Затем от крайних точек оптической части проводили перпендикулярные отрезки до пересечения с базовой линией (7). Децентрация ИОЛ была равна половине разницы между длинами отрезков базовой линии от склеральной шпоры до точки пересечения с перпендикулярной линией. Полученный результат отражал величину дислокации ИОЛ (децентрации) относительно оптической оси глаза в каждом из взаимоперпендикулярных исследуемых меридианов и выражался в мм (Рисунок 11 и 12).

Децентрация ИОЛ = (отрезок базовой линии, соединяющий точку, соответствующую склеральной шпоре, И точку пересечения с перпендикулярной линией, проведенной от края оптической части ИОЛ с стороны) (отрезок базовой линии, соединяющий одной точку, пересечения соответствующую склеральной шпоре, точку с И

перпендикулярной линией, проведенной от края оптической части ИОЛ с другой стороны) / 2 (мм).

Для определения угла наклона ИОЛ в градусах относительно плоскости сканирования проводили линию, параллельную базовой от края оптической части линзы до пересечения с горизонтальной линией, определяющей продольную ось линзы. Количественное измерение угла в градусах осуществлялось автоматически, благодаря встроенному программному обеспечению.



Рисунок 11 – Схема анатомических структур переднего отрезка глаза и ИОЛ: 1 – оптическая ось глаза; 2 – склеральная шпора; 3 – базовая линия; 4 – оптическая часть ИОЛ; 5 – крайние точки оптической части ИОЛ; 6 – оптический центр ИОЛ; 7 – точка соединения перпендикулярной линии от края оптической части ИОЛ с базовой линией Децентрация ИОЛ = (AB – A1B1) / 2





Б

Рисунок 12 – Снимок ОСТ переднего отрезка глаза пациента М., 60 лет, до операции (*A*) и с расчетами по положению ИОЛ при выписке после операции (*Б*)

При проведении ОСТ осуществлялся контроль по наличию контакта ИОЛ с радужной оболочкой глаза (Таблица 16).

Результаты по измерению положения ИОЛ в капсульном мешке, а именно децентрации и наклона линзы в горизонтальной и вертикальной плоскостях, выполненные с помощью оптической когерентной томографии, представлены в Таблицах 17 и 18. Угол наклона оптической части линзы определяли с использованием линейных и угловых замеров, децентрацию – по формуле вычисления разницы смещения оптической части ИОЛ относительно анатомических образований переднего отрезка глаза.

Таблица 16 – Данные ОСТ по контакту ИОЛ с радужкой в группах после операций (*n*=131)

Срок	1-я основная группа ( <i>n</i> = 59, ФЛАЭК)	2-я группа сравнения ( <i>n</i> = 72, ФЭК)
На 4-й день	-	8 (26,67)
Через 3 мес.	1(3,34)	9 (30,00)
Через 6 мес.	3 (10,00)	9 (30,00)
Через 1 год	4 (13,34)	11(36,67)

На момент выписки по данным ОСТ контакт ИОЛ с радужной оболочкой и капсульным мешком был отмечен в 26,67% наблюдений во 2-й группе сравнения ФЭК и ни одного случая в 1-й основной группе. Через год после операций контакт с радужкой отмечен в 13,34% наблюдений в 1-й основной группе (ФЛАЭК) и в 36,67% во 2-й группе сравнения (ФЭК) (Таблица 16).

Таблица 17 – Показатели децентрации ИОЛ на 4-й день, через 3 месяца и 1
год после операции в группах ФЛАЭК и ФЭК ( $M \pm \delta$ , диапазон, $n = 131$ , мм)

Пока Деце	затель – нтрация ИОЛ	1-я основная группа ( <i>n</i> = 59, ФЛАЭК)	2-я группа сравнения ( <i>n</i> = 72, ФЭК)
ная	На 4-й день	0,11 ± 0,10 (0,00–0,47)	0,13 ± 0,09 (0,01–0,46) **
икалн	Через 3 мес.	0,12 ± 0,11 (0,04–0,65) *	0,20 ± 0,25 (0,00–0,92) *
Bepri	Через 1 год	0,11 ± 0,09 (0,01–0,23) *	0,18 ± 0,12 (0,02–0,45) *, **
ная	На 4-й день	0,13 ± 0,22 (0,01–0,69)	0,17 ± 0,11 (0,00–0,53) **
Горизонталь	Через 3 мес.	0,17 ± 0,14 (0,01–0,47)	0,17 ± 0,15 (0,01–0,54)
	Через 1 год	0,15 ± 0,16 (0,02–0,57)	0,13 ± 0,09 (0,01–0,29)**

\*Отличие данных между группами статистически значимо,  $p_{m-u} < 0.05$ .

\*\* Отличие данных в группе статистически значимо, p < 0.05.

Таблица 18 — Показатели наклона ИОЛ в группах ( $M \pm \delta$ , диапазон, n = 131, градусы)

Показатель – Наклон ИОЛ		1-я основная группа ( <i>n</i> = 59, ФЛАЭК)	2-я группа сравнения ( <i>n</i> = 72, ФЭК)
Вертикальный	На 4-й день	1,33 ± 1,10 (0,00–4,40)	$0,95 \pm 0,68 \ (0,20 - 3,30)$
	Через 3 мес.	0,90 ± 0,73 (0,00–3,40)	$0,82 \pm 0,45 \ (0,20 - 2,10)$
	Через 1 год	1,09 ± 0,72 (0,20–2,40)	1,20 ± 0,84 (0,20–3,10)
Горизонтальный	На 4-й день	0,80 ± 0,64 (0,00–2,70)	0,86 ± 0,59 (0,00–2,50)
	Через 3 мес.	$0,70 \pm 0,54 \ (0,10 - 1,90)$	0,65 ± 0,63 (0,10–2,90)
	Через 1 год	0,82 ± 0,59 (0,30–2,40)	0,98 ± 0,55 (0,00–2,00)

\*Отличие данных между группами статистически не значимо,  $p_{m-u} > 0,05$ .

\*\* Отличие данных в группе - статистически не значимо, p > 0,05.

По итогам исследования, представленного в Таблице 17, было выявлено следующее. В 1-й основной группе ФЛАЭК, несмотря на некоторую вариабельность данных децентрации и наклона ИОЛ в течение года, статистически значимых различий в исследуемых показателях через год после операции по отношению к данным на 4-й день не найдено (p > 0,05). Во 2-й группе сравнения ФЭК средние показатели горизонтальной (p = 0,01) и вертикальной децентрации (p = 0,001) через 1 год статистически значимо отличались от данных на 4-й день после операции: вертикальная децентрация увеличилась на 27,7%, горизонтальная децентрация к году уменьшилась на 23,5%. По вертикальному и горизонтальному наклонам отличий в группе в указанный срок не обнаружено (Таблица 18).

В сравнительном контексте по данным настоящего исследования выявлена статистически значимая разница между 1-й и 2-й группами в показателях вертикальной децентрации через 3 месяца ( $p_{m-u} = 0,01$ ) и через 1 год ( $p_{m-u} = 0,001$ ) в среднем на 0,11 ± 0,36 (40%) и 0,10 ± 0,23 мм (38%) соответственно с меньшими значениями данного показателя в 1-й основной группе. По наклону ИОЛ отличий между исследуемыми группами не выявлено.

Клинические примеры пациентов, где с помощью ОСТ проводили замеры по разработанной нами методике в мануальном режиме, приведены на Рисунках 13 и 14.



Рисунок 13 – ОСТ после ФЛАЭК, пациент М., 70 лет. Показатели наклона и децентрации ИОЛ в разные сроки после операции, расчеты по разработанному нами методу. *А* – при выписке: децентрация горизонтальная 0,135 мм, вертикальная – 0,205 мм, наклон горизонтальный 0,9°, вертикальный – 0,9°. *Б* – через 1 месяц: децентрация горизонтальная 0,052 мм, вертикальная – 0,079 мм, наклон горизонтальный 0,3°, вертикальный – 0,9°. *В* – через 3 месяца: децентрация горизонтальная 0,041 мм, вертикальная – 0,010 мм, наклон горизонтальный 0,4°, вертикальный – 0,7°



Рисунок 14 – ОСТ после ФЭК, пациент М., 80 лет. Показатели наклона и децентрации ИОЛ в разные сроки после операции, расчеты по разработанному нами методу. *А* – при выписке: децентрация горизонтальная 0,049 мм, вертикальная – 0,115 мм, наклон горизонтальный 1,5°, вертикальный – 0,7°. *Б* – через 3 месяца: децентрация горизонтальная 0,009мм, вертикальная – 0,080 мм, наклон горизонтальный 0,1°, вертикальный – 0,9°. *В*– через 3 месяца: децентрация горизонтальная 0,192 мм, вертикальная – 0,147 мм, наклон горизонтальный 0,1°, вертикальный – 0,6°

## 4.3.2 Определение псевдофакодонеза ИОЛ с помощью анализа изображений Пуркинье

Измерение величины наклона ИОЛ в группах специального исследования, связанного с псевдофакодонезом, проводилось на основе анализа изображений Пуркинье 1 (PI) и Пуркинье 4 (PIV) на таймфреймах (ТФ) (Таблица 19, Рисунок 15).

Таблица 19 — Средние значения расстояния между PI и PIV на трех таймфреймах (ТФ) в группах ( $M \pm \delta$ , диапазон, мм, n = 40)

Показатели	1-я основная группа ( <i>n</i> = 20, ФЛАЭК)	2-я группа сравнения ( <i>n</i> = 20, ФЭК)	рт-и
ТФ 1 на 4-й день	0,42 ± 0,19 (0,0–0,92) *	0,55 ± 0,15 (0,24–0,84) *	0,019
ТФ 2 на 4-й день	0,46 ± 0,16 (0,15–0,87) *	0,56 ± 0,13 (0,23–0,86) *	0,026
ТФ 3 на 4-й день	0,42 ± 0,14 (0,16–0,83) *	0,53 ± 0,18 (0,20–0,92) *	0,031
ТФ 1 через 6 мес.	0,51 ± 0,11 (0,35–0,77)	0,49 ± 0,13 (0,24–0,65)	0,469
ТФ 2 через 6 мес.	0,50 ± 0,10 (0,38–0,73)	0,49 ± 0,16 (0,29–0,66)	0,750
ТФ 3 через 6 мес.	0,50 ± 0,12 (0,32–0,77)	0,51 ± 0,15 (0,30–0,65)	0,408
ТФ 1 через 1 год	0,51 ± 0,11 (0,35–0,75)	0,49 ± 0,14 (0,24–0,77)	0,718
ТФ 2 через 1 год	0,50 ± 0,10 (0,38–0,73)	0,50 ± 0,16 (0,22–0,81)	0,972
ТФ 3 через 1 год	0,50 ± 0,12 (0,32–0,75)	0,52 ± 0,15 (0,22–0,80)	0,742

\*Отличие данных между группами статистически значимо,  $p_{m-u} < 0.05$ .

Сравнительный анализ полученных результатов выявил статистически значимую разницу между группами в раннем послеоперационном периоде в положении Пуркинье IV с наилучшими показателями в 1-й основной группе в среднем на  $0,13 \pm 0,11$  мм по трем изображениям ( $p_{m-u} < 0,05$ ), показывающими меньшее колебание заднекамерной ИОЛ в капсульном мешке после ФЛАЭК по сравнению с ФЭК. В последующих наблюдениях эта разница нами не

выявлена ( $p_{m-u} > 0,05$ ), что, возможно, отчасти объясняется морфологическими изменениями капсулы хрусталика. Клинические примеры с анализом изображений Пуркинье на 4-й день после операций приведены на Рисунке 15.



Рисунок 15 – Фото глаз пациентов после ФЭК (А) и ФЛАЭК (Б) с данными среднего значения расстояния между PI и PIV на 4-й день после операции:

$$A$$
 (ТФ1 = 0,506 мм, ТФ2 = 0,501мм, ТФ3 = 0,494 мм);  
 $E$  (ТФ1 = 0,383 мм, ТФ2 = 0,397 мм, ТФ3 = 0,390 мм)

Таким образом, резюмируя исходы исследований по определению наклона и децентрации ИОЛ по данным ОСТ и анализа изображений Пуркинье, следует заключить следующее. Получены доказательства более устойчивого положение ИОЛ в капсульном мешке у пациентов 1-й основной группы (ФЛАЭК). Изменения положения ИОЛ во 2-й группе сравнения (ФЭК) были обусловлены как децентрацией ИОЛ, так и псевдофакодонезом.

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработка технологий инновационных хирургии катаракты обусловлена социальной значимостью задачи минимизации осложнений и получения высоких функциональных результатов лечения одного из наиболее распространенных заболеваний органа зрения. Больных с подвывихом хрусталика исследователи относят к наиболее сложной категории, лечение которых требует не только высокой квалификации хирурга, но и особых технологий. Дефекты и разрывы цинновой связки различного генеза предопределяют возможные осложнения при выполнении ультразвуковой факоэмульсификации катаракты (ФЭК), которые, в свою очередь, являются одной из причин смещения ИОЛ. Качественное выполнение капсулорексиса и сохранение капсульного мешка при подвывихе хрусталика являются основными условиями предупреждения осложнений и получения высоких функциональных результатов.

Внедрение в офтальмологию фемтосекундного лазера (ФСЛ) с длиной 1053 волны HM явилось большим достижением этой области. В Преимуществами данной технологии являются скорость, с которой работает лазер, короткая продолжительность импульса, составляющая 10<sup>-15</sup> сек, что минимизирует тепловой эффект и повреждение тканей. Уникальной особенностью ФСЛ является его способность создавать неосложненную капсулотомию точно заданного диаметра и центрации, фрагментировать хрусталик в закрытой камере, минимизируя внутриглазные манипуляции и воздействие на измененные связки хрусталика при подвывихе.

В ранее выполненных исследованиях было показано, что фемтолазерассистированная экстракция катаракты (ФЛАЭК) обеспечивает капсулотомию более точной формы и локализации [38; 134; 140; 86; 156; 107], лучшую центрацию ИОЛ [116], сокращение времени факоэмульсификации [178], снижение мощности и времени работы ультразвука [64; 43], значительное уменьшение частоты послеоперационных воспалительных процессов и отеков роговицы [47] и более быструю функциональную реабилитацию [86; 53]. Несмотря на это, имеют место опубликованные данные, что клиникофункциональные показатели ФЛАЭК значимо не отличаются от ФЭК [43; 74; 154; 43] и нередко встречаются разного рода осложнения, связанные с использованием ФСЛ [128; 121; 168; 138].

Первые результаты по применению технологии ФЛАЭК у пациентов со слабостью связочного аппарата хрусталика различного генеза и степени выраженности были успешны [97; 69]. Было показано, что ФСЛ выполняет капсулорексис и факофрагментацию без вскрытия передней камеры глаза на стабилизированном глазном яблоке, что при подвывихе несет реальные возможности сделать операцию более щадящей и предсказуемой, добиться манипуляций, уменьшения внутриглазных осложнений И щадяще воздействовать на ослабленные связки [60; 88; 164]. Несмотря на то, что ФСЛ поднял технологию факоэмульсификации на качественно новый уровень, все преимущества данной процедуры с точки зрения безопасности и результатов до конца еще не изучены [92; 46]. Все это требовало клинического обоснования, оптимизации технических параметров лазерного этапа и накопления убедительных данных о том, является ли ФЛАЭК столь же безопасной, как традиционные методики, и может ли обеспечить существенно лучшие результаты при подвывихе хрусталика. В связи с вышесказанным совершенствование хирургии катаракты при подвывихе хрусталика продолжает оставаться одной из сложных, малоизученных и актуальных проблем в офтальмологии. Целью настоящей работы являлась разработка оптимизированной технологии ФЛАЭК у пациентов с подвывихом хрусталика I степени. Для достижения цели были поставлены и решались следующие задачи: 1. Разработаны технические параметры лазерного этапа фемтолазерассистированной экстракции катаракты с подвывихом хрусталика I степени. 2. Выполнен анализ интраоперационных энергетических параметров этапа факоэмульсификации ФЛАЭК в сравнении с ФЭК. 3. Проведен анализ осложнений. 4. Проанализирована динамика клинико-функциональных результатов в зависимости от применяемой хирургической технологии. 5. Проведена сравнительная оценка стабильности положения ИОЛ с помощью оптической когерентной томографии и анализа изображений Пуркинье в раннем и отдаленном периодах после ФЛАЭК и ФЭК. На основании проведенных исследований разработана технология ФЛАЭК и выработаны практические рекомендации для пациентов с подвывихом хрусталика I степени.

В соответствии с поставленными задачами и видом выполняемой операции пациенты были разделены на две группы: 1-я основная группа (60 пациентов, 60 глаз), где была проведена ФЛАЭК; 2-я группа сравнения (76 пациентов, 76 глаз), где была проведена ФЭК. Степень подвывиха хрусталика определялась по классификации Паштаева Н.П. (2006), разработанной для практического применения [34]. Пациенты с подвывихом хрусталика в обеих группах были сопоставимы по исходным данным, по характеру и частоте сопутствующей патологии. Комплексное обследование после проведенной операции всем пациентам включало в себя стандартные (визометрия, офтальмометрия, рефрактометрия, периметрия, тонометрия, биомикроскопия, биометрия, непрямая офтальмоскопия глазного дна, фоторегистрация глаз, ультразвуковое А- и В-сканирование и др.) и специальные (ультразвуковая биомикроскопия, ОСТ переднего отрезка глаза, определение положения ИОЛ по данным ОСТ, пуркиньеметрия, аберрометрия и др.) методы исследования. По данным УБМ дефекты волокон цинновой связки варьировали от 15 до 40 градусов в обеих группах. Определение степени плотности ядра хрусталика проводили по классификации Buratto L. (1998) [58].

При подвывихе хрусталика качественно выполненный капсулорексис имеет первостепенное значение для сохранения мешка и успешной факоэмульсификации с имплантацией ИОЛ [28; 36; 97; 29; 32; 11; 9; 16; 83]. При анатомической сохранности связочного аппарата хрусталика выполнение переднего капсулорексиса не вызывает затруднений. Основным недостатком традиционной пинцетной техники выполнения переднего капсулорексиса является риск разрыва передней капсулы хрусталика вследствие повышения его подвижности [4; 125]. Другими недостатками являются отсутствие возможности четкой центрации капсулорексиса при выполнении его мануальным способом, большая продолжительность операции по времени, использование высокой энергии ультразвука и нестабильность передней камеры во время операции за счет выполнения роговичных разрезов традиционной техникой [38; 116; 143; 145; 6; 176; 96]. Неосложненное выполнение центрированного капсулорексиса, сохранение капсульного мешка и уменьшение энергетической нагрузки на ослабленную цинновую связку во время факоэмульсификации являются ведущими звеньями в осложнений и качественной зрительной реабилитации профилактике пациентов с подвывихом хрусталика.

Метод ФЛАЭК проводился поэтапно: сначала – лазерный этап, где формировались передняя капсулотомия, фрагментации ядра и роговичные разрезы, затем – стандартная факоэмульсификация с имплантацией ИОЛ. Применение энергии ФСЛ позволяет автоматизировать основные этапы операции. В то же время энергетические параметры любой лазерной установки должны быть настроены таким образом, чтобы энергия и расстояние между импульсами были адекватно подобраны. Кроме этого, слишком большая энергия в импульсе без четкой соразмерности расстояния между импульсами может приводить к незначительному отклонению лазерного луча от заданного направления, что недопустимо. Возможными осложнениями, которые могут иметь место, являются следующие: децентрация зоны капсулотомии, факофрагментации и разрезов роговицы; наличие грубых перемычек в сформированном капсулорексисе; разрыв капсулы; повреждение внутриглазных структур [124; 3; 138; 44]. Потенциальные осложнения не ограничиваются вышеперечисленными. Этими осложнениями можно управлять, в том числе с помощью подобранных энергетических режимов лазерного воздействия, что являлось одной из задач настоящей работы.

Технические характеристики фемтосекундной лазерной платформы LenSx с длиной волны 1030 нм дают возможность варьировать энергией в импульсе от 0,27 до 15 мкДж с погрешностью ± 1,5 мкДж, размером между импульсами от 3 до 14 мкм по горизонтали и от 2 до 14 мкм по вертикали с шагом 1 мкм, частотой повторения импульсов 50 кГц. Разработанные нами технические и энергетические параметры лазерного этапа ФЛАЭК были следующие: с помощью программного обеспечения выполняли передний круговой капсулорексис с центрацией воздействия по данным оптической когерентной томографии с диаметром 4,8–5,3 мм на глубину 250–300 мкм с энергией импульса 4 – 5 мкДж с расстоянием между лазерными импульсами 3-5 мкм, фрагментацию ядра хрусталика с энергией 5-10 мкДж на глубину 90% толщины хрусталика с расстоянием между лазерными импульсами 6–10 мкм и роговичные разрезы. Основной роговичный разрез выполняли на 130 градусах шириной 2,2 мм, длиной 2,0 мм с энергией импульса 4–5 мкДж в трех плоскостях: 1-я плоскость – 40% глубины, угол среза 70 градусов; 2-я плоскость – 100% глубины, угол среза 15 градусов; 3-я плоскость – 120% глубины, угол среза 80 градусов. Затем формировали два дополнительных разреза (парацентеза) в двух позициях от основного на усмотрение хирурга (как правило, на 15 и 170 градусах); 120% глубины с углом среза 30 градусов и шириной 1,5 x 1,4 мм в соответствии со стандартными размерами рукоятки для ирригации-аспирации с трапециевидным профилем, сужающимся кнутри на 0,1 мм. Точная и настраиваемая форма разрезов позволяла хирургу выполнять манипуляции в передней камере без ее опорожнения, что также

способствовало завершению операции в безопасном и щадящем режиме. выполнялся этап факоэмульсификации, Затем при котором энергия ультразвука в среднем сокращалась на 30%, время действия аспирации в среднем меньше на 29% в сравнении с традиционной ФЭК. После выполнения ирригации-аспирации имплантировалась ИОЛ заднекамерная ПО традиционной технологии, с использованием внутрикапсульного кольца (Патент РФ №2665678, А61F9/008, Бюл. №25).

Лазер под контролем монитора и видеоизображения внутренних структур позволил на стабилизированном глазном яблоке после аппланации определенных энергетических режимах неосложненный выполнить В передний круговой капсулорексис точно заданного диаметра, центрированного с учетом положения сублюксированного хрусталика по данным ОСТ, провести предварительную фрагментацию хрусталика и минимизировать последующую энергетическую нагрузку на внутренние среды глаза во время факоэмульсификации, что свело риск осложнений к При традиционной технике выполнение такой точности минимуму. хирургических манипуляций не представляется возможным, что согласуется с данными публикаций [136; 116; 117; 77]. Ряд авторов отмечали преимущества ФСЛ в формировании центрированного кругового капсулорексиса на сублюксированном хрусталике и существенное снижение риска возможных осложнений в данных случаях [88; 164]. При анализе осложнений было выявлено следующее. В 1-й и 2-й группах исследования имели место разрыв задней капсулы в 1,66 и 2,63%, отек роговицы – в 6,66 и 9,21% случаях соответственно. Кроме этого, во 2-й группе диагностирована дислокация ИОЛ в 1 (1,31%), отек макулы в 1 (1,31%) случаях. Эти показатели согласуются с опубликованными данными по снижению риска интраоперационных осложнений после ФЛАЭК до 1,80% [63] и сохранению капсульного мешка у пациентов с выраженным подвывихом хрусталика до 90% случаев [60].

У пациентов с разрывами задней капсулы после передней витрэктомии была имплантирована ИОЛ РСП-3 (НЭП, Микрохирургия глаза, Россия). Отек роговицы разной степени выраженности купировался в течение 4-5 дней с помощью медикаментозной терапии у всех пациентов. Это согласуется с данными, что ФЛАЭК обеспечивает меньшее послеоперационное воспаление переднего сегмента, значительное уменьшение частоты отеков роговицы и более быструю функциональную реабилитацию за счет снижения мощности ультразвука [1; 43]. В одном случае после ФЭК выполнена замена ИОЛ через 9 месяцев в связи с ее дислокацией; из-за повышения ВГД через 1,5 месяца у открытоугольной глаукомой пациента с В анамнезе выполнена микроинвазивная непроникающая глубокая склерэктомия в одном случае. После ФЛАЭК через 1 месяц была выполнена селективная трабекулопластика для купирования повышения ВГД.

В целом, в основной группе было зарегистрировано 6 (10,00 %), в группе сравнения – 12 (15,79%) осложнений, одно из которых (отек макулы) привело к значительному снижению зрительных функций (1,31%). В остальных случаях в обеих группах осложнения не привели к потере зрительных функций. Последующий клинико-функциональный анализ был выполнен у пациентов в соответствии с критериями исключения из исследования. Данные по осложнениям в группах не противоречат исследованиям других авторов, демонстрирующим преимущества фемтоэтапа у данной категории пациентов [141; 69; 99; 61; 60; 88; 164].

Был проведен сравнительный интраоперационных анализ И энергетических, ультразвуковых гидродинамических параметров оперативных вмешательств в сравнительном аспекте между ФЛАЭК и ФЭК, которого ультразвуковые ПО результатам И гидродинамические интраоперационные параметры в 1-й группе были ниже и статистически значимо отличались от данных во 2-й группе: общее время ультразвука было снижено в среднем на 37% ( $p_{m-u} = 0.044996$ ), время торсионного ультразвука —

на 27% ( $p_{m-u} = 0,047493$ ), время действия аспирации – на 23% ( $p_{m-u} = 0,041402$ ). В 1-й группе отмечена тенденция к меньшим значениям потраченной кумулятивной энергии на 33% ( $p_{m-u} = 0,065647$ ). По другим параметрам этапа факоэмульсификации достоверных отличий между исследуемыми группами не получено. Литературные данные по этому вопросу при хирургии неосложненной катаракты несколько противоречивы [94; 74; 75; 128; 45]. Однако имеют место публикации, показывающие, что по данным ультразвуковых и гидродинамических параметров ФЛАЭК выигрывает по сравнению с ФЭК [178; 62; 160; 53; 137; 134; 133; 139; 8; 5]. При этом показано, что именно фемтолазерная факофрагментация значительно снижает затраты ультразвука при делении и удалении ядра хрусталика [137; 134; 133; 139; 8; 5]. На основе рандомизированных контролируемых исследований Chen X. и соавт. (2015) показали, что ФЭК по сравнению с ФЛАЭК значительно снижает энергию ультразвука и эффективное время факоэмульсификации [64]. Аналогичные данные были получены и другими авторами [91; 38]. Эти результаты соответствуют данным нашего исследования, хотя следует отметить, что они получены у пациентов с неосложненной катарактой.

В обеих исследуемых группах на 4-й день после операций по данным оптической когерентной томографии ЦТР статистически значимо отличалась от исходных цифр: увеличилась на  $69,81 \pm 65,81$  мкм в 1-й группе (p < 0,001) и на  $110,68 \pm 99,50$  мкм во 2-й группе (p < 0,001). Сравнительная разница в показателях ЦТР между группами на  $38,29 \pm 96,19$  мкм была статистически значима (p < 0,001). К 1-му месяцу показатели ЦТР снизились до исходных значений в обеих группах и значимо не менялись в течение всего периода наблюдения, что не противоречит данным литературы, согласно которой ФЛАЭК обеспечивает значительное уменьшение частоты отеков роговицы и более быструю функциональную реабилитацию за счет снижения мощности ультразвука [1; 43].

В сроки от 6 месяцев до 1 года после операций отмечено статистически

значимое увеличение глубины ПК в обеих группах: на 0,35 ± 0,74 мм (p = 0,001) в группе ФЛАЭК и на 0,48 ± 0,83 мм (p = 0,001) в группе ФЭК. В отличие от ФЛАЭК, на 4-й день после ФЭК отмечено увеличение глубины ПК на 0,69 ± 0,83 мм по сравнению с исходными данными (p < 0,001). Через 3 месяца ПК статистически значимо была глубже на 0,42 ± 1,01 мм ( $p_{m-u} = 0,003$ ) после ФЭК по сравнению с данными в группе ФЛАЭК. При сравнительном анализе через 1 год глубина ПК после ФЭК статистически достоверно была глубже на 0,39 ± 0,74 мм ( $p_{m-u} = 0,003$ ). Таким образом, в группе ФЭК диагностированы более значительные изменения в глубине ПК и ее нестабильность в течение всего периода наблюдения, что, по нашему мнению, обусловлено большим механическим воздействием на циннову связку в группе ФЭК. Это согласуется с данными других исследователей [137; 116].

При анализе клинико-функциональных результатов отмечена тенденция к различию в данных сферического компонента рефракции через 12 месяцев по отношению к данным через 6 месяцев (p=0,057) в группе ФЭК, что говорит о некоторой нестабильности сферического компонента рефракции в этот период после операции. В сравнительном аспекте статистически значимых различий между группами исследования по анализируемым рефракционным данным не выявлено. Более высокие зрительные функции и предсказуемость рефракционных показателей описана и другими авторами в отдаленном периоде после ФЛАЭК по сравнению с ФЭК, что объясняется стабильностью глубины ПК глаза, а также эффективной и устойчивой позицией ИОЛ в капсульном мешке за счет фемтолазерного сопровождения капсулорексиса [38; 138; 117]. Достоверных различий в показателях кератометрии в группах и между группами найдено не было. В то же время при сравнении визуальных результатов в группах выявлена статистически значимая разница в данных НКОЗ через 3 месяца ( $p_{m-u} = 0,0375$ ), 6 месяцев ( $p_{m-u} = 0,0005$ ) и 1 год ( $p_{m-u}$ 0,001) с более высокими показателями в группе ФЛАЭК. Эти данные совпадают с рядом публикаций по хирургии неосложненной катаракты, где в разные сроки после операций показаны боле высокие зрительные функции после ФЛАЭК по сравнению с ФЭК [64; 138; 117; 118]. Авторы объясняют это, помимо устойчивой позиции ИОЛ, меньшими аберрациями высшего порядка после ФЛАЭК.

На момент выписки по данным ОСТ контакт ИОЛ с радужкой капсульным мешком был отмечен в 26,67% наблюдений во 2-й группе сравнения ФЭК и ни одного случая в 1-й основной группе. Через год после операций контакт с радужкой отмечен в 13,34% наблюдений в группе ФЛАЭК и в 36,67% в группе сравнения ФЭК. Это, как мы считаем, является результатом излишнего воздействия на циннову связку во время ФЭК. Стабильное положение ИОЛ после ФЭК, влияние смещений ИОЛ на рефракционные данные и качество зрительных функций являются одними из актуальнейших проблем офтальмохирургии [130; 131; 175; 87; 103; 166; 49]. Оценка положения ИОЛ после операции дает возможность не только проанализировать в динамике изменение показателей наклона, децентрации, псевдофакодонеза, но и определить, хотя и опосредованно, качество капсулорексиса и влияние техники операции на связочный аппарат хрусталика.

При анализе роговичных и внутренних НОА посредством аберрометрии в 3,0 - и 6,0 - миллиметровых зонах в течение года после операций в исследуемых группах были получены следующие результаты. В группе ФЛАЭК в течение года имела место вариабельность данных, обусловленная преходящим отеком роговицы в области парацентезов. При этом через 1 год роговичные НОА в 3,0- и 6,0- миллиметровых зонах статистически значимо не отличались от данных до операции (p > 0,05). Внутренние НОА в 3,0 - и 6,0 миллиметровых зонах уменьшались в течение всего периода наблюдения и через 1 год статистически значимо отличались от исходных значений на 0,18 ± 0,42 (p = 0,002) и 1,05 ± 1,98 (p = 0,00001) мкм соответственно. В группе ФЭК значимых изменений роговичных НОА в 3,0- и 6,0- миллиметровых зонах в течение всего периода наблюдения не выявлено. Внутренние НОА уменьшались в течение всего периода наблюдения и через 1 год статистически значимо отличались от исходных значений на 0,140  $\pm$  0,473 (p = 0,01) и 0,584  $\pm$  1,549 (p = 0,004) мкм в 3,0- и 6,0- миллиметровых зонах соответственно. Однако было отмечено статистически значимое увеличение внутренних НОА в 6,0 - миллиметровой зоне на 0,296  $\pm$  1,002 мкм (p = 0,01) в период от 3 месяцев до 1 года после операции, что объясняется возможным смещением ИОЛ, структурным изменением капсульного мешка и ослаблением связочного аппарата хрусталика. При сравнительном анализе через 1 год после операции в группе ФЭК внутренние НОА в 6,0 - миллиметровой зоне были в среднем на -0,51  $\pm$  0,87 мкм ( $p_{m-u} < 0,001$ ) выше по сравнению с группой ФЛАЭК.

Полученные результаты близки к выводам ряда исследователей [142; 116; 129] и позволяют сделать заключение, что погрешности в выполнении капсулорексиса традиционным способом неизменно сказываются на положении ИОЛ и неизбежно приводят к увеличению аберраций высшего порядка.

При определении наклона и децентрации ИОЛ по данным ОСТ в мануальном режиме с помощью замеров и расчетов по разработанному нами методу (патент РФ № 2683932, А61В 3/00, А61В 5/107, Бюл. № 10) было следующее. В группе ФЛАЭК, несмотря на некоторую выявлено вариабельность данных в течение года, статистически значимых различий в децентрации и наклоне ИОЛ через 1 год после операции по отношению к данным на 4-й день не найдено (p > 0.05). В группе ФЭК средние показатели горизонтальной (p = 0,010) и вертикальной (p = 0,001) децентраций через 1 год статистически значимо отличались от данных на 4-й день после операции: 27,7%, вертикальная децентрация увеличилась на горизонтальная децентрация к году уменьшилась на 23,5%. В сравнительном контексте по данным исследования выявлена статистически значимая разница между группами в показателях вертикальной децентрации через 3 месяца ( $p_{m-u} = 0,01$ ) и через 1 год ( $p_{m-u} = 0,001$ ), которая в среднем на  $0,11 \pm 0,36$  (40%) и  $0,10 \pm 0,23$ мм (38%) соответственно была больше в группе ФЭК.

Помимо ранней дислокации, обусловленной интраоперационными осложнениями, поздняя дислокация ИОЛ все больше привлекает внимание офтальмологов, поскольку при этом нередки случаи повторных вмешательств [131; 87; 68]. В доступной литературе имеются разные данные по измерению положения ИОЛ различными способами в хирургии неосложненной катаракты. Эти показатели значительно варьируют, что обусловлено многими причинами, в том числе разными системами измерения. Известно, что дислокация ИОЛ может быть обусловлена фиброзированием капсульного мешка и прогрессирующими со временем дефектами цинновой связки хрусталика. Риск этого осложнения выше у пациентов пожилого возраста [49], с синдромом псевдоэксфолиации [93] и подвывихом хрусталика [65]. В публикациях последних лет при исследовании разных моделей заднекамерных ИОЛ наклон варьировал от 2,32 до 3,26 градусов, смещение – от 0,23 до 0,29 мм при стабильных показателях в течение 12 месяцев после операции [54]. Ряд авторов показали, что через год после ФЛАЭК и ФЭК вертикальный и горизонтальный наклоны составляли  $2,15 \pm 1,41$  и  $1,53 \pm 1,05; 4,34 \pm 2,40$  и 2,75± 1,67 градусов, а децентрация – 230,27 ± 111,54 и 334,91 ± 169,67 мкм соответственно, с лучшими результатами в группе ФЛАЭК [117].

Следует отметить, что наши результаты по наклону и децентрации у пациентов с подвывихом хрусталика в группе ФЛАЭК сопоставимы или лучше, а в группе ФЭК – хуже представленных выше литературных данных. На наш взгляд это объясняется во-первых, влиянием используемой техники операций на ослабленный связочный аппарат хрусталика, и, во - вторых, качеством сформированного переднего капсулорексиса.
По исследованиям псевдофакодонеза на основе анализа изображений Пуркинье была выявлена статистически значимая разница между группами в раннем послеоперационном периоде в положении Пуркинье IV с наилучшими показателями в группе ФЛАЭК в среднем на  $0,13 \pm 0,11$  мм по трем изображениям ( $p_{m-u} < 0,05$ ), показывающим меньшее колебание заднекамерной ИОЛ в капсульном мешке после ФЛАЭК по сравнению с ФЭК.

Резюмируя исходы по определению наклона и децентрации ИОЛ по данным ОСТ и анализу изображений Пуркинье в исследуемых группах, следует подчеркнуть, что получены статистически значимые различия и доказательства более устойчивого положение ИОЛ в капсульном мешке у пациентов в группе ФЛАЭК. Изменения положения ИОЛ в группе ФЭК были обусловлены как децентрацией, так и наклоном.

Не отмечено статистически достоверных различий между средними значениями ЦТС и ВГД в исследуемых группах (p > 0,05) и между ними ( $p_{m-u} > 0,05$ ) в течение всего периода наблюдения.

Показатели плотности клеток ЗЭР статистически значимо изменились в обеих группах после операций: плотность клеток ЗЭР в основной группе уменьшилась на 121,19 ± 311,71 (5,02 %) через 1 месяц (p = 0,000424) и на 136,35 ± 287,31 кл/мм<sup>2</sup> (5,65%) через 3 месяца (p = 0,000110), в группе сравнения на 211,47 ± 345,52 (8,70 %) (p = 0,000001) и на 216, 70 ± 491,71 кл/мм2 (8,90%) соответственно по отношению к дооперационным значениям. Через 1 год данные ЗЭР в группе ФЛАЭК были снижены на 157,19 ± 211,71 кл/мм<sup>2</sup> (6,52%) (p = 0,004240), в группе ФЭК – на 200,33 ± 315,52 кл/мм<sup>2</sup> (8,25%) (p = 0,000010) по отношению к исходным значениям. При сравнительном анализе было выявлено, что плотность клеток ЗЭР через 1 месяц после операций в группе ФЭК на 3,45 % была ниже по сравнению с группой ФЛАЭК (на 79,09 ± 112,53 кл/мм<sup>2</sup>) ( $p_{m-u} = 0,032287$ ). По нашему мнению это обусловлено техникой ФЭК и более высокой энергетической нагрузкой на роговицу во время факоэмульсификации и совпадает с данными

других авторов [67; 67]. В ранних исследованиях результатов ФЭК было обнаружено, что ультразвук и избыточное движение жидкости в передней камере негативно влияют на структуры глаза [85]. Продолжительность работы ультразвука авторы увязывают с повышенной потерей эндотелиальных клеток [78;118]. Тем не менее ряд авторов отмечает, что не смотря на лучшие параметры факоэмульсификации при ФЛАЭК требуются более углубленные исследования по влиянию операции на задний эпителий роговицы [78].

Таким образом, нами была оптимизирована технология ФЛАЭК при фемтосекундной хрусталика использованием лазерной подвывихе С платформы LenSx и разработаны технические параметры лазерного этапа, обусловливающие неосложненное выполнение переднего кругового капсулорексиса, центрированного с учетом положения сублюксированного хрусталика по данным ОСТ, выполнение предварительной фрагментации хрусталика, снижение энергетической нагрузки на внутренние среды глаза во время факоэмульсификации, щадящее воздействие на цинновую связку хрусталика и сведение риска возможных операционных и послеоперационных осложнений к минимуму.

обеспечивает ФЛАЭК Доказано, что статистически значимое уменьшение общего времени работы продольного и торсионного ультразвука, а также аспирации на этапе эвакуации хрусталика, что приводит к меньшему послеоперационному отеку роговицы и потере ЗЭР, а также к более быстрой зрительной реабилитации пациентов по сравнению с традиционной ФЭК. Более устойчивое положение и центрация ИОЛ в капсульном мешке после ФЛАЭК, в отличие от ФЭК, подтвержденные данными ОСТ, данными роговичных, внутренних, общих и сферической аберраций, стабильностью ПК и показателями Пуркиньеметрии, обусловливают стабильные показатели сферического компонента рефракции, более высокие показатели КОЗ в сроки от 3 до 6 месяцев и НКОЗ до года после вмешательства.

110

Резюмируя вышесказанное, можно заключить, что применение фемтолазерных технологий в катарактальной хирургии способствует получению высоких клинико-функциональных результатов и более качественной зрительной реабилитации пациентов с подвывихом хрусталика.

## выводы

- 1. Эффективными и безопасными техническими параметрами лазерного этапа фемтолазер-ассистированной экстракции катаракты при подвывихе хрусталика на установке LenSx являются энергия импульса 4-5 мкДж с расстоянием между лазерными импульсами 3-5 мкм при формировании капсулорексиса и роговичных разрезов, энергия 5–10 мкДж с расстоянием между лазерными импульсами 6–10 мкм при выполнении фрагментации ядра хрусталика. Лазер под контролем монитора и видеоизображения внутренних структур глаза позволяет стабилизировать сублюксированный хрусталик во время аппланации глаза, провести в определенных энергетических режимах неосложненное выполнение переднего капсулорексиса точно заданного диаметра и центрированного с учетом положения сублюксированного хрусталика по данным оптической когерентной томографии, выполнить фрагментацию предварительную хрусталика И минимизировать последующую энергетическую нагрузку на внутренние среды глаза во время факоэмульсификации.
- 2. Ультразвуковые и гидродинамические интраоперационные параметры при фемтолазер-ассистированной экстракции катаракты были ниже И статистически значимо отличались OT данных после стандартной факоэмульсификации: общее время ультразвука было снижено в среднем на 37% ( $p_{m-u} = 0,044$ ), время торсионного ультразвука — на 27% ( $p_{m-u} = 0,047$ ), время действия аспирации – на 23% ( $p_{m-u} = 0,041$ ).
- 3. Операционные (разрыв задней капсулы) и послеоперационные (отек роговицы, дислокация ИОЛ, отек макулы) осложнения после факоэмульсификации составили 15,79% случаев и более чем в 1,5 раза превысили таковые после фемтолазер-ассистированной экстракции катаракты (10,00%). В раннем послеоперационном периоде центральная толщина роговицы была статистически значимо выше на 38,29 ± 96,19 мкм в группе

факоэмульсификации ( $p_{m-u} < 0,001$ ).

- 4. Сравнительный анализ клинико-функциональных данных показал лучшие результаты по некорригированной (через 3, 6 месяцев) остроте зрения после фемтолазер-ассистированной экстракции катаракты (*p<sub>m-u</sub>* < 0,05). Отмечено статистически значимое увеличение внутренних аберраций высшего порядка в 6,0-миллиметровой зоне на -0,51 ± 0,87 мкм в период от 3 месяцев до 1 года после факоэмульсификации в отличие от стабильных показателей после фемтолазерассистированной экстракции катаракты (*p<sub>m-u</sub>* < 0,001). Получено статистически значимое различие в данных плотности клеток заднего эпителия роговицы через 1 месяц (*p<sub>m-u</sub>* < 0,05) с более низкими показателями после факоэмульсификации (на 3,45%).</p>
- 5. Фемтолазер-ассистированная экстракция катаракты позволяет стабилизировать положение сублюксированного хрусталика, что сопровождается меньшей вариабельностью глубины передней камеры по сравнению с факоэмульсификацией (*p<sub>m-u</sub>* < 0,05) по данным оптической когерентной томографии.
- 6. Фемтолазер-ассистированная экстракция катаракты обеспечивает выполнение качественного капсулорексиса и щадящее воздействие на связочный аппарат хрусталика по сравнению с факоэмульсификацией, после которой колебания ИОЛ в капсульном мешке, наклон и децентрация по анализу изображений Пуркинье и данным оптической когерентной томографии в сроки от 3 месяцев до 1 года более выражены (*p<sub>m-u</sub>* < 0,05).</p>

## ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

 При подвывихе хрусталика I степени целесообразно использовать технологию ФЛАЭК с выполнением лазерного этапа в определенных энергетических режимах:

а) границы разреза капсулы устанавливать на глубину 250–300 мкм с диаметром в среднем 5,1 мм (4,8–5,3 мм), энергия импульса 4–5 мкДж с расстоянием между лазерными импульсами от 3 до 5 мкм;

б) фрагментации ядра выполнять с запрограммированным отступом от передней и задней капсул (на 400-800 мкм) на глубину 90% толщины собой хрусталика; применять паттерн, представляющий 4 цилиндрических и 2 радиальных реза по типу spider web; диаметр фрагментации должен быть на 0,5 мм меньше диаметра зрачка и в среднем составлять 4,3-4,6 мм с применяемой энергией в пределах 5-10мкДж и расстоянием между лазерными импульсами от 6 до 10 мкм; в) основной роговичный разрез выполнять на 130 градусах шириной 2,2 мм, длиной 2,0 мм с энергией импульса 4 – 5 мкДж в трех плоскостях: 1-я плоскость – 40% глубины, угол среза 70 градусов; 2-я плоскость – 100% глубины, угол среза 15 градусов; 3-я плоскость – 120% глубины, угол среза 80 градусов; два дополнительных разреза (парацентеза) формировать в двух позициях от основного на 15 и 170 градусах, на 120% глубины с углом среза 30 градусов и шириной 1,5 х 1,4 мм с трапециевидным профилем, сужающимся кнутри на 0,1 мм.

2. Для уменьшения общего времени работы ультразвука и энергетической нагрузки на внутренние среды глаза применять следующие параметры факоэмульсификатора:

а) на вкладке чоп для раскола хрусталика использовать непрерывный режим продольного ультразвука 0–30%, торсионный ультразвук 0%, ВГД 55 мм рт. ст., вакуум 150–475 мм рт. ст., аспирацию 22 см<sup>3</sup>/мин;

б) на вкладке квадрант для удаления хрусталиковых масс применять режим ультразвука вспышка, продольный ультразвук 0%, время паузы 1000-0, торсионный ультразвук 60%, время вкл. 70 мс, ВГД 55 мм рт.ст., вакуум 200–550 мм рт. ст., аспирацию 22 см<sup>3</sup>/мин;

в) на вкладке кортекс для эвакуации кортикальных масс установить ВГД
 55 мм рт. ст., вакуум 0–500 мм рт. ст., аспирацию 24 см<sup>3</sup>/мин;

г) на вкладке полировка для удаления остаточного кортекса установить ВГД 55 мм рт. ст., вакуум 0–24 мм рт. ст., аспирацию 0–14 см<sup>3</sup>/мин;

д) на вкладке виско для удаления вискоэластика из полости глаза использовать ВГД 55 мм рт. ст., вакуум 650 мм рт. ст., аспирацию 0–50 см<sup>3</sup>/мин.

- На этапе предоперационного обследования применять критерии включения, исключения и данные УБМ для определения показаний к применению оптимизированной технологии ФЛАЭК у пациентов с подвывихом хрусталика.
- 4. При планировании операции соблюдать предложенную предоперационную медикаментозную подготовку для профилактики миоза во время фемтоэтапа. Всем пациентам в предоперационном периоде, помимо антибиотика и антисептика, за 1 день и за 20 минут до операции проводили инстилляции нестероидного противовоспалительного препарата (Bromfenacum 0,09% раствор) и мидриатика (Phenylephrine 0,5% + Tropicamide 0,08%).
- 5. Ведение пациентов после операции выполнять по общепринятой стандартной схеме.

## ЛИТЕРАТУРА

- Аветисов, С. Э. Морфологические изменения при несостоятельности связочно – капсулярного аппарата хрусталика / С. Э. Аветисов, Д. В. Липатов, А. А. Федоров // Вестник офтальмологии. – 2002. – Т. 118, № 4. – С. 22 – 23.
- Андреев, Ю. В. Лазерная экстракция катаракты: автореф. дис.... д–ра мед. наук : 14.00.08 / Андреев Юрий Владиславович. – М., 2007. – 50 с.
- Анисимова, С. Ю. Клинический анализ осложнений факоэмульсификации с фемтоллазерным сопровождением и особенности проведения факоэмульсификации после фемтоэтапа / С. Ю. Анисимова, Н. С. Анисимова, К. М. Авсинеева и др. // Офтальмохирургия. – 2014. – № 4. – С.14–20.
- Анисимова, С. Ю. Факоэмульсификация катаракты с фемтолазерным сопровождением. Первый отечественный опыт / С. Ю. Анисимова, С. И. Анисимов, В. Н. Трубилин, И. В. Новак // Катарактальная и рефракционная хирургия. – 2012. – № 12. – С.7–10.
- Анисимова, С. Ю. Фемтолазерное сопровождение хирургии катаракты : методическое пособие / С. Ю. Анисимова, С. И. Анисимов, В. Н. Трубилин, А.В. Трубилин. – М., 2013. – 15 с.
- Батьков, Е. Н. Имплантация эластичной заднекамерной интраокулярной линзы при несостоятельности капсульно-связочного аппарата хрусталика: дис. ... канд. мед наук : 14.00.08 / Батьков Евгений Николаевич. – Чебоксары, 2010. – С.12–34, 68–72.
- Белоноженко, Я. В. Частота подвывиха хрусталика I степени у пациентов с катарактой / Я. В. Белоноженко, Н. В. Поступаева, Е. Л. Сорокин, Ю. А. Терещенко // Катарактальная и рефракционная хирургия. – 2013. – Т 13, № 4. – С. 10–14.
- 8. Бикбов, М. М. Фемтолазер-ассистированная хирургия катаракты / М. М.

Бикбов, Ю. К. Бурханов, Э. Л. Усубов // Медицинский вестник Башкортостана. – 2014. – Т. 9, № 6. – С. 117–118.

- Виговский, А. В. Хирургические технологии экстракции катаракты и интраокулярной коррекции при подвывихе хрусталика : дис. ... канд. мед наук: 14.00.08 / Виговский Александр Владимирович. – М., 2002. – С.12– 20.
- Вудвард П. М. передняя капсулотомия с использованием неодим YAG лазера. // П. М. Вудвард. // Woodward, P. M. Anterior capsulotomy using a neodymium YAG laser. / P.M.Woodward // Ann Ophthalmol.- 1984.- Vol.16, № 6. С. 536-539.
- Головин, А. В. Клинико функциональные результаты микроинвазивной технологии факоэмульсификации с имплантацией интраокулярной линзы: дис.... канд. мед наук: 14.01.07 / Головин Андрей Владимирович. – М., 2011. С. 35–38.
- 12. Джаши, Б. Г. Имплантация капсульных колец в хирургии катаракты на фоне дистрофических изменений и повреждения связочного аппарата хрусталика / Б. Г. Джаши, И. А. Исакова // Современные технологии катарактальной и рефракционной хирургии : Сб. науч. ст. – М., 2013. – С.59–62.
- Егоров, В. В. Ультразвуковая биомикроскопия в предоперационной диагностике слабости цинновых связок у пациентов с сочетанием возрастной катаракты и псевдоэксфолиативного синдрома / В.В. Егоров, С. В. Тонконогий, О.В. Данилов // Новые технологии диагностики и лечения заболеваний органа зрения в Дальневосточном регионе: сб. науч. работ. Хабаровск, 2013. С. 142–147.
- Иошин, И. Э. Внутрикапсульное кольцо в хирургии катаракты при подвывихе хрусталика (опыт 15 лет имплантаций) / И. Э. Иошин // Вестник офтальмологии. – 2012. – № 2. – С. 43–49.
- 15. Иошин, И. Э. Внутрикапсульное кольцо профилактика осложнений

экстракции катаракты при подвывихе хрусталика / И. Э. Иошин, Э. В. Егорова и др. // Офтальмохирургия. – 2002. – №1. – С.25 – 28.

- 16. Иошин, И. Э. Факоэмульсификация катаракты при подвывихе хрусталика/ И. Э. Иошин, Э. В. Егорова, А. И. Толчинская, А. В. Виговский // Новые технологии в эксимерлазерной хирургии и факоэмульсификации. – М., 2001. – С. 45.
- Иошин, И. Э. Хирургическое лечение повреждений хрусталика с различной степенью абсорбции / И. Э. Иошин, Э. Г. Алиев // Катарактальная и рефракционная хирургия. – 2006. – Т. 6, № 1. – С. 26–29.
- Копаева, В. Г. Обобщение 15-летнего опыта лазерной хирургии катаракты / В. Г. Копаева, С. Ю. Копаев // Практическая медицина. 2013. Т. 70, № 1–3. С. 7–9.
- 19. Копаева, В. Г. Экстракция катаракты с использованием лазерной энергии
  / В. Г. Копаева, Ю. В. Андреев, С. Ю. Копаев // ARS Medica (Беларусь). –
  2011. № 16.– С. 123–125.
- 20. Костенев, С. В. Фемтосекундная лазерная хирургия: Принципы и применение в офтальмологии / С. В. Костенев, К. В. Черных. – Новосибирск : Наука, 2012. – 142 с.
- Курышева, Н. И. Псевдоэксфолиативный синдром / Н. И. Курышева // Вестник офтальмологии. – 2001. – № 3. – С. 47–50.
- 22. Малюгин, Б. Э. Особенности диафрагмальной функции радужки при фемтосекундном лазерном сопровождении факоэмульсификации на фоне применения различных нестероидных противовоспалительных средств / Б. Э. Малюгин, Н. С. Анисимова, Н. П. Соболев // Офтальмохирургия. 2018. № 1. С. 6–12.
- Малюгин, Б. Э. Экспрессия про- и противовоспалительных факторов при фемтосекундном лазерном сопровождении факоэмульсификации на фоне применения различных нестероидных противовоспалительных средств / Б. Э. Малюгин, Н. С. Анисимова, Н. П. Соболев, С. В. Петричук, Ю. А.

Комах, С. А. Борзенок // Офтальмохирургия. – 2018. – № 2. – С. 16–22.

- 24. Малюгин, Б. Э. Интраокулярная линза с фиксацией на край капсулорексиса / Б. Э. Малюгин // 7-й Съезд офтальмологов России: тез. докл. - Ч.1. – М., 2000. – С. 59.
- 25. Малюгин, Б. Э. Медико-технологическая система хирургической реабилитации пациентов с катарактой на основе ультразвуковой факоэмульсификации с имплантацией интраокулярной линзы : автореф. дис. ... д-ра мед. наук : 14.00.08 / Малюгин Борис Эдуардович. М.-2002.-48 с.
- 26. Малюгин, Б. Э. Проблемы хирургии катаракты и интраокулярной коррекции: достижения отечественной школы и современные тенденции развития / Б. Э. Малюгин, Л. Ф. Линник, Э. В. Егорова и др. // Вестник Российской Академии медицинских наук. 2007. № 8. С. 9–16.
- Малюгин, Б. Э. Проблемы хирургического лечения катаракты и интраокулярной коррекции афакии. По результатам 20–летней работы МНТК «Микрохирургия глаза» / Б. Э. Малюгин, Э. В. Егорова, В. Г. Копаева, А. И. Толчинская // Офтальмохирургия. – 2007. – № 1. – С. 10– 17.
- Малюгин, Б. Э. Хирургия катаракты и интраокулярная коррекция на современном этапе развития офтальмохирургии / Б. Э. Малюгин // Вестник офтальмологии. 2014. № 6. С. 80–88.
- 29. Надыргулова, А. Р. История развития хирургии катаракты / А. Р. Надыргулова, О. А. Невейцева // Вестник Совета молодых ученых и специалистов. 2016. № 3. С. 14.
- 30. Нероев, В. В. Наномедицина медицина будущего / В. В. Нероев // Нанотехнологии в диагностике и лечении патологии органа зрения : материалы науч.- практ. конф. – М., 2008. – С. 5–15.
- 31. Нероев, В. В. Офтальмологическая служба России получила широкую оценку не только в нашей стране, но и за ее пределами / В. В. Нероев //

Российская офтальмология онлайн. – 2019. – № 27. Ссылка активна на 18.06.2019.

- 32. Окаша, К. Д. Лазерная экстракция катаракты при приобретённом подвывихе хрусталика: дис. ... канд. мед. наук: 14.00.08 / Окаша Камал Джуда. – М., – 2004. – 108 с.
- Паштаев, Н. П. Имплантация новой модификации переднекамерной ИОЛ при дефектах и отсутствии задней капсулы хрусталика / Н. П. Паштаев, М.А. Сидорова, Ю. Н. Елаков, Н. А. Поздеева // Офтальмохирургия. – 2002. – № 2. – С. 20–24.
- 34. Паштаев, Н. П. Хирургия подвывихнутого и вывихнутого в стекловидное тело хрусталика / Н. П. Паштаев. – Чебоксары: ГОУ ИУВ, 2006. – 82 с.
- 35. Система офтальмологическая лазерная LenSx с принадлежностями: инструкция по эксплуатации / Компания ООО «Алкон Фармацевтика».– Регистрационное удостоверение № ФСЗ 2011/11071 от 18 ноября 2011 г. – С.61
- 36. Тахчиди, Х. П. Интраокулярная коррекция в хирургии осложненных катаракт / Х. П. Тахчиди, Э. В. Егорова, А. И. Толчинская. – М.: Новое в медицине, 2004. – 176 с.
- 37. Тахчиди, Х. П. Хирургическая технология удаления катаракты при нарушении связочного аппарата хрусталика / Х. П. Тахчиди, А. Б. Зубарев// Офтальмохирургия. – 2004. – № 4. – С.16–18.
- 38. Трубилин, А. В. Сравнительная клинико-морфологическая оценка капсулорексиса при проведении факоэмульсификации катаракты на основе фемтолазерной и механических технологий : дис .... канд. мед. Наук : 14.01.07 / Трубилин Александр Владимирович. – М., 2015. – С. 14– 25, 45–50, 75–78.
- 39. Федеральные клинические рекомендации по оказанию офтальмологической помощи пациентам с возрастной катарактой / Экспертный совет по проблеме хирургического лечения катаракты; ООО

«Межрегиональная ассоциация врачей-офтальмологов». – М.: Офтальмология, 2015. – 32 с.

- 40. Шиловских, О. В. Клиника, диагностика и дифференцированная тактика хирургического лечения врожденных эктопий хрусталика: автореф. дис.... канд. мед. наук : 14.00.08 / Шиловских Олег Владимирович. – М., 2006. – С. 1–2.
- 41. Южаков, А. М. Основные направления в ликвидации устранимой слепоты в Российской Федерации / А. М. Южаков // Ликвидация устранимой слепоты: Всемирная инициатива ВОЗ : материалы Рос. Междунар. симпозиума. – Уфа, 2003. – С. 27–32.
- 42. Abell, R. G. Anterior chamber flare after femtosecond laser–assisted cataract surgery / R. G. Abell, P. L. Allen, B. J. Vote // J. Cataract. Refract. Surg. 2013.–Vol. 39, № 9. P. 1321–1326.
- 43. Abell, R. G. Effect of femtosecond laser–assisted cataract surgery on the corneal endothelium / R.G. Abell, N.M. Kerr, A.R. Howie et al. // J. Cataract. Refract. Surg. 2014. Vol. 40, № 11. P. 1777–1783.
- 44. Abell, R. G. Femtosecond laser-assisted cataract surgery versus standard phacoemulsification cataract surgery: Outcomes and safety in more than 4000 cases at a single center / R. G. Abell, E. Darian–Smith, J. B. Kan et al. // J. Cataract. Refract. Surg. 2015. Vol. 41, № 1. P. 47–52.
- 45. Abell, R. G. Anterior capsulotomy integrity after femtosecond laser-assisted cataract surgery/ R. G. Abell, P. E. J. Phelan, K. Goemann et al. // Ophthalmology. – 2013. – Vol. 121, № 1. – P. 17–24.
- 46. Abouzeid, H. Femtosecond–laser assisted cataract surgery : a review / H. Abouzeid // Acta. Ophthalmol. 2014. Vol. 92. P. 597–603.
- 47. Ang, R. E. Comparison of clinical outcomes between femtosecond laser– assisted versus conventional phacoemulsification / R. E. Ang, M. S. Quinto, E. M. Cruz et al. // Eye and Vision. – 2018. – Vol. 5. – P.8.
- 48. Aron-Rosa, D. Use of a pulsed neodymium YAG laser for anterior

capsulotomy before extracapsular cataract extraction / D. Aron–Rosa // Amer. Intra–Ocular Implant. Soc. J. – 1981. – Vol. 7. – P. 332–333.

- Ascaso, F. J. Epidemiology, Etiology, and Prevention of Late IOL–Capsular Bag Complex Dislocation: Review of the Literature / F. J. Ascaso, V. Huerva, A. Grzybowski // Journal of Ophthalmology. – 2015: 805706.
- 50. Assia, E. I. The relationship between the stretching capability of the anterior capsule and zonules / E. I. Assia, D. J. Apple, R. C. Morgan et al. / Invest. Ophthalmol. Vis. Sci. 1991. Vol. 32. P. 2835–2839.
- 51. Atchinson, D. A. Refractive error induced by displacement of intraocular lenses within the pseudophakic eye / D. A. Atchinson // Optom. Vis. Sci. – 1989. – Vol.66. – P. 146–152.
- 52. Bali, S. J. Early experience with the femtosecond laser for cataract surgery / S. J. Bali, C. Hodge, M. Lawless et al. // Ophthalmology. 2012. Vol. 119, №5.- P. 891–899.
- 53. Bascaran, L. Differences in energy and corneal endothelium between femtosecond laser–assisted and conventional cataract surgeries: prospective, intraindividual, randomized controlled trial / L. Bascaran, T. Alberdi, I. Martinez–Soroa I. et al. // International Journal of Ophthalmology. – 2018. – Vol. 11, № 8. – P. 1308–1316.
- 54. Baumeister, M. Tilt and Decentration of Three–Piece Foldable High– Refractive Silicone and Hydrophobic Acrylic Intraocular Lenses With 6–mm Optics in an Intraindividual Comparison / M. Baumeister, B. Neidhardt, J. Strobel, T. Kohnen // American. J. Ophthalmol. – 2005. – Vol. 140, № 6. – P. 1051–1058.
- 55. Bencić, G. Clinical importance of the Lens Opacities Classification System III (LOCS III) in phacoemulsification / G. Bencić, M. Zorić–Geber, D. Sarić, M. Corak, Z. Mandić // Coll. Antropol. – 2005. – Vol. 29, (Suppl 1). – P. 91–94.
- 56. Bourne, R.R. Magnitude, temporal trends, and projections of the global prevalence of blindness and distance and near vision impairment: a systematic

review and meta–analysis / R.R. Bourne, S.R. Flaxman, T. Braithwaite et al. Vision Loss Expert Group // Lancet Glob Health. – 2017 Sep. – Vol. 5, № 9. – P. 888–97.

- 57. Bueno, J. M. Purkinje imaging system to measure anterior segment scattering in the human eye / J. M. Bueno, D. De Brouwere, H. Ginis et al. // Optics Letters. 2007. Vol. 32, № 23. P. 3447.
- 58. Buratto, L. Techniques of phacoemulsification // L. Buratto, Phacoemulsification: Principles and Techniques. Slack, Thorofare, 1998. – P.71–170.
- 59. Cekic, O. The relationship between capsulorhexis size and anterior chamber depth relation / O. Cekic, C. Batman // Ophthalmic. Surg. Lasers. – 1999. – Vol.30. – P. 185–190.
- Chee, S. P. Management of Severely Subluxated Cataracts Using Femtosecond Laser–Assisted Cataract Surgery / S. P. Chee, M.H. Wong // Am. J. Ophthalmol.– 2017. – Vol. 173. – P. 7–15.
- 61. Chee, S. P. Management of traumatic severely subluxated cataracts / S. P. Chee,
  A. Jap // Am. J. Ophthalmol. 2011. Vol. 151, № 5. P. 866–871.
- 62. Chen, H. Femtosecond laser combined with non-chopping rotation phacoemulsification technique for soft-nucleus cataract surgery: a prospective study / H. Chen, H. Lin, W. Chen et al. // Sci Rep. – 2016. – Vol. 6, № 1. – P. 186–184.
- 63. Chen, M. Comparing the intraoperative complication rate of femtosecond laser–assisted cataract surgery to traditional phacoemulsification / M. Chen // Int. J. Ophthalmol. 2015. Vol. 8, № 1. P. 201–203.
- 64. Chen, X. Efficacy and safety of femtosecond laser–assisted cataract surgery versus conventional phacoemulsification for cataract: a meta–analysis of randomized controlled trials / X. Chen, W. Xiao, S. Ye et al. // Sci. Rep. 2013. Vol. 5, № 1. P. 13123.
- 65. Cionni, R. J. Surgical management of the congenitally subluxed crystalline lens

using the modified capsular tension ring // In: R. J. Cionni, R. F. Steinert, Cataract Surgery: Technique, Complications, and Management. - 2nd ed. - Philadelphia: Saunders. - 2004. - P. 305-313.

- 66. Conrad-Hengerer I, Hengerer FH, Schultz T, Dick HB. Effect of femtosecond laser fragmentation on effective phacoemulsification time in cataract surgery. / J. Refract. Surg. 2012. Vol. 28, №12.- P. 879–883.
- 67. Conrad–Hengerer, I. Corneal endothelial cell loss and corneal thickness in conventional compared with femtosecond laser–assisted cataract surgery: Three–month follow–up / I. Conrad–Hengerer, M. Al Juburi, T. Schultz, et al. // J. Cataract. Refract. Surg. 2013. Vol. 39, № 9. P. 1307–1313.
- Conway, R. M. Pseudoexfoliation syndrome: pathological manifestations of relevance to intraocular surgery / R. M. Conway, U. Schlotzer–Schrehardt, M. Kuchle, G. O. Naumann // Clin. Experiment. Ophthalmol. – 2004. – Vol. 32. – P. 199–210.
- 69. Crema, A. S. Femtosecond Laser–assisted Cataract Surgery in Patients With Marfan Syndrome and Subluxated Lens / A. S. Crema // J. Refrac. Surg. – 2015.– Vol. 31, № 5. – P. 338–341.
- 70. Crnej, A. Impact of intraocular lens haptic design and orientation on decentration and tilt / A. Crnej, N. Hirnschall, Y. Nishi et al. // J. Cataract. Refract. Surg. – 2011. – Vol. 37, №10. – P. 1768–1774.
- 71. Davis, D. Late–in–the–bag spontaneous intraocular lens dislocation; evaluation of 86 consecutive cases / D. Davis, J. Brubaker, L. Espandar et al. // Ophthalmology. 2009. Vol. 116. P. 664–670.
- 72. Davis, P. L. Cavitating microbubbles create shock waves that emulsify cataract
  // The art of phacoemulsification / Ed. by Mehta K. R., Alpar J. J. New Delhi:
  Jaypee Brothers. 2001. P. 45–50.
- 73. Davis, P. L. Mechanism of phacoemulsification (letter) / P. L. Davis // J. Cataract. Refract. Surg. 1994. Vol. 20. P. 672–673.
- 74.Day, A. C. Laser-assisted cataract surgery versus standard ultrasound

phacoemulsification cataract surgery / A. C. Day, D. Gore, C. Bunce, J. R. Evans // Cochrane Database of Systematic Reviews. – 2016. – Vol. 7. – CD010735.

- 75. Daya, S. M. Translenticular hydrodissection, lens fragmentation, and influence on ultrasound power in femtosecond laser–assisted cataract surgery and refractive lens exchange / S. M. Daya, M. A. Nanavaty, M. M. Espinosa– Lagana// J. Cataract. Refract. Surg. – 2014. – Vol. 40, № 1. – P. 37–43.
- 76. De Castro, A. Tilt and decentration of intraocular lenses in vivo from Purkinje and Scheimpflug imaging / A. De Castro, P. Rosales, S. Marcos // J. Cataract. Refract. Surg. – 2007. – Vol. 33, № 3. – 418–429.
- 77. Dick, H. B. On the way to zero phaco / H. B. Dick, T. Schultz // J. Cataract.
   Refract. Surg. 2013. Vol. 39, № 9. P. 1442–1444.
- 78. Dick, H. B. Long-term endothelial cell loss following phacoemulsification through a temporal clear corneal incision / H. B. Dick, T. Kohen, F. K. Jacobi, K. W. Jacobi // J. Cataract. Refract. Surg. 1996. Vol. 22, № 1.– P. 63–67.
- 79. Ding, X. The Repeatability Assessment of Three–Dimensional Capsule– Intraocular Lens Complex Measurements by Means of High–Speed Swept– Source Optical Coherence Tomography / X. Ding, Q. Wang, P. Chang et al. // PLOS ONE. – 2015. –Vol. 10, №11. – e0142556.
- Bureau, P. Pathophysiology of zonular diseases / P. Dureau // Curr. Opin.
   Ophthalmol. 2008. Vol. 19. P. 27–30.
- 81. Ecsedy, M. Effect of femtosecond laser cataract surgery on the macula / M. Ecsedy, K. Mihaltz, I. Kovacs et al. // J. Refract. Surg. 2011. Vol. 27, № 10. P. 717–722.
- 82. Erickson, P. Effects of intraocular lens position errors on postoperative refractive error / P. Erickson // J. Cataract. Refract. Surg. 1990. Vol. 16, № 5. P. 311.
- 83. Faria, M. Y. Management of dislocated intraocular lenses with iris suture / M.
  Y. Faria, N. P. Ferreira, M. Canastro // Eur. J. Ophthalmol. 2017. Vol. 19,

№ 1. – P. 45–48.

- 84. Filkorn, T. Comparison of IOL power calculation and refractive outcome after laser refractive cataract surgery with a femtosecond laser versus conventional phacoemulsification / T. Filkorn, I. Kovács, A. Takacs et al. // J. Refract. Surg. – 2012. – Vol. 28, № 8. – P. 540–544.
- 85. Fishkind, W. Comparative clinical trial of ultrasound phacoemulsification with and without the WhiteStar system / W. Fishkind, B. Bakewell, E.D. Donnenfeld, et al. // J. Cataract. Refract. Surg. – 2006. – Vol. 32, №1. – P. 45–49.
- 86. Friedman, N. J. Femtosecond laser capsulotomy / N. J. Friedman, D.V. Palanker, G. Schuele et al. // J. Cataract. Refract. Surg. 2011. Vol. 37, №7.– P. 1189–1198.
- 87. Gimbel, H.V. Late in–the–bag intraocular lens dislocation: incidence, prevention and man–agement / H.V. Gimbel, G. P. Condon, T. Kohnen et al. // J. Cataract. Refract. Surg. 2005. Vol. 31, №11. P. 2193–2204.
- 88. Grewal, D. S. Femtosecond laser–assisted cataract surgery in a subluxated traumatic cataract / D.S. Grewal, S. P. Basti, S. P. Singh Grewal // J. Cataract. Refract. Surg. 2014. Vol. 40, № 7. P. 1239–1240.
- Gwin, G. Vision impairment and eye care utilization among Americans 50 and older / G. Gwin, R. Khoury, J. Cross et al. // Curr. Eye Res. – 2010. – Vol. 35.– P. 451–458.
- 90. Harrer, A. Variability in angle κ and its influence on higher–order aberrations in pseudophakic eyes / A. Harrer, N. Hirnschall, J. Tabernero, P. Artal, P. Draschl, S. Maedel, O. Findl // J. Cataract. Refract. Surg. – 2017. – Vol. 43, №8.– P. 1015–1019.
- 91. Hatch, K. M. Femtosecond laser–assisted compared with standard cataract surgery for removal of advanced cataracts / K. M. Hatch, T. Schultz, J. H. Talamo, H. B. Dick // J. Cataract. Refract. Surg. 2015. Vol. 41, № 9. P.1833–1838.
- 92. Hatch, K. M. Laser-assisted cataract surgery: benefits and barriers / K. M.

Hatch, J. H. Talamo // Curr. Opin. Ophthalmol. – 2014. – Vol. 25. – P. 54–61.

- 93. Hayashi, K. Possible predisposing factors for in-the-bag and out-of-the-bag intraocular lens dislocation and outcomes of intraocular lens exchange surgery/K. Hayashi, A. Hirata, H. Hayashi // Ophthalmology. 2007. Vol. 114, № 5.–P. 969–975.
- 94. Hayashi, K. Risk factors for corneal endothelial injury during phacoemulsification / K. Hayashi, H. Hayashi, F. Nakao, F. Hayashi // J.Cataract. Refract. Surg. – 1996. – Vol. 22, № 8. – P. 1079–1084.
- 95. He, L. Femtosecond laser–assisted cataract surgery / L. He, K. Sheehy, W. Culbertson // Curr. Opin. Ophthalmol. 2011. Vol. 22, № 1. P. 43–52.
- 96. Helvaci, S. Iris–claw intraocular lens implantation: Anterior chamber versus retropupillary implantation / S. Helvaci, S. Demirduzen, H. Oksuz // Indian. J. Ophthalmol. – 2016. – Vol. 64, № 1. – P. 45.
- 97. Hoffman, R. S. Management of the subluxated crystalline lens / R. S. Hoffman, M. E. Snyder, U. Devgan et al. // J. Cataract. Refract. Surg. 2013 Vol. 39, № 12. P. 1904–1915.
- 98.Holladay, J. T. Mean visual acuity / J. T. Holladay, T. C. Prager // Am. J. Ophthalmol. 1991. Vol. 111. P. 372–373.
- 99.Holland, D. Surgical world premiere with LENSAR Femto LASER at the Augenklinik Bellevue – Marfan surgery in dislocated lens / D. Holland // ESCRS on Demand – 2015. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://escrs.conference2web.com.
- 100. Jacobi, K. W. Physical forces involved in pseudophacodonesis and iridodonesis. / K. W. Jacobi, W. S. Jagger // Archive for Clinical and Experimental Ophthalmology. – 1981. – Vol. 216, №1. – P. 49–53.
- 101. Jakobsson, G. Capsule complication during cataract surgery: Retinal detachment after cataract surgery with capsule complication / G. Jakobsson, P. Montan, M. Zetterberg et al. // J. Cataract. Refract. Surg. 2009. Vol. 35, №10. P. 1699–1705.

- 102. Jehan, F. S. Spontaneous late dislocation of intraocular lens within the capsular bag in pseudoexfoliation patients / F. S. Jehan, N. Mamalis, A. S. Crandall // Ophthalmology. – 2001. – Vol. 108. – P. 1727–1731.
- 103. Jin, G. J. Changing indications for and improving outcomes of intraocular lens exchange / G. J. Jin, A. S. Crandall, J. J. Jones // Am. J. Ophthalmol. – 2005. – Vol. 140. – P. 688–694.
- 104. Kelman, C. D. Phaco–emulsification and aspiration; a new technique of cataract removal; a preliminary report / C. D. Kelman // Am. J. Ophthalmol. – 1967. – Vol. 64. – P. 23–35.
- 105. Kim, J. S. Biometry of 3 types of intraocular lenses using Scheimpflug photography / J. S. Kim, K. H. Shyn // J. Cataract. Refract. Surg. – 2001. – Vol. 27, № 4. – P. 533–536.
- 106. Koenig, K. Nanodissection of human chromosomes with near–infrared femtosecond laser pulses / K. Koenig // Opt. Lett. – 2001. – Vol. 26, № 11. – P.819–821.
- 107. Kohnen, T. Efficacy and safety of femtosecond laser–assisted cataract surgery compared with manual cataract surgery: a meta–anaylsis of 14 567 eyes / T. Kohnen, M. Shajari et al. // Ophthalmology. 2016. Vol. 124, № 5. P. 2113–2126.
- 108. Kohnen, T. Phakic intraocular lenses / T. Kohnen, M. Shajari // Ophthalmology. 2016. Vol.113, №6. P. 529–538.
- 109. Kohnen, T. Pseudoexfoliation: impact on cataract surgery and long-term intraocular lens position [editorial] / T. Kohnen // J. Cataract. Refract. Surg. – 2010. – Vol. 36. – P. 1247–1248.
- 110. Koopman, S. Cataract Surgery Devices Global Pipeline Analysis, Competitive Landscape and Market Forecasts to 2017. – London, UK: GlobalData; Available at: https://www.asdreports.com/shopexd.asp?id=25116.
- 111. Kopayeva, V. Hard cataract removal using 1.44 mcm Nd–YAG LASER / V.
   Kopayeva, S. Kopayev, A. Zagorulko // ASCRS symposium and congress. –

SanFrancisco, 2013. – P. 27.

- 112. Kopayeva, V. Russian technique of laser cataract extraction with NdYAG
  1.44 mcm / V. Kopayeva, S. Kopayev // Congress of the ESCRS, 31 th. –
  Amsterdam, 2013.
- 113. Kopayeva, V. G. Capsulorhexis with Nd: YAG Laser 1.44 um wavelength / V.G. Kopayeva, K. P. Takhchidi, O. B. Dryagina, S. Y. Kopayev // 9–th Congress of the Black Sea Ophthalmological Society. Istanbul, 2011. P. 31.
- 114. Korynta, J. Computer modeling of visual impairment caused by intraocular lens misalignment / J. Korynta, J. Bok, J. Cendelin, K. Michalova // J. Cataract. Refract. Surg. 1999. Vol. 25, №1. P. 100–105.
- 115. Kozaki, J. Tilt and decentration of the implanted posterior chamber intraocular lens / J. Kozaki, H. Tanihara, A. Yasuda, M. Nagata // J. Cataract. Refract. Surg.– 1991. – Vol. 17. – P. 592–595.
- 116. Kranitz, K. Femtosecond laser capsulotomy and manual continuous curvilinear capsulorhexis parameters and their effects on intraocular lens centration / K. Kranitz, A.I. Takacs, I. Kovacs et al. // J. Refract. Surg. – 2011.– Vol. 27. – P. 558–563.
- 117. Kranitz, K. Intraocular lens tilt and decentration measured by Scheimpflug camera following manual or femtosecond laser–created continuous circular capsulotomy / K. Kranitz, K. Mihaltz, G.L. Sandor, et al. // J. Refract. Surg. – 2012. – Vol. 28. – P. 259–263.
- 118. Krarup, T. Endothelial cell loss and refractive predictability in femtosecond laser–assisted cataract surgery compared with conventional cataract surgery / T. Krarup, L. M. Holm, M. La Cour, H. Kjaerbo // Acta. Ophthalmol. 2014. Vol. 92, № 7. P. 617–622.
- 119. Krasnov, M. M. Laser–phakopuncture in the treatment of soft cataracts / M.
  M. Krasnov // Br. J. Ophthalmol. 1975. № 2. P. 96–98.
- 120. Kumar, D. A. Evaluation of intraocular lens tilt with anterior segment optical coherence tomography / D. A. Kumar, A. Agarwal, G. Prakash et al. // Am. J.

Ophthalmol. – 2011. – Vol. 151. – P. 406–412.

- 121. Lee, A. G. Optic neuropathy associated with laser in situ keratomileusis / A.
  Lee et al. // J. cataract. refract. surgery. 2000. Vol. 26. P. 1581–1584.
- 122. Leysen, I. Surgical outcomes of intraocular lens exchange / I. Leysen, E. Bartholomeeusen, T. Coeckelbergh, M. J. Tassignon // J. Cataract. Refract. Surg. 2009. Vol. 35, № 6. P. 1013–1018.
- 123. Lim, M. C. Late onset lens particle glaucoma as a consequence of spontaneous dislocation of anintraocular lens in pseudoexfoliation syndrome / M. C. Lim, E. A. Doe, D. T. Vroman et al. // American Journal of Ophthalmology. 2001. Vol. 132, №2. P. 261–263.
- 124. Lubahn, J. G. Operation times of experienced cataract beginning femtosecond laser-assisted cataract surgery / J. G. Lubahn, K. E. Donaldson, W.W. Culbertson, S. H. Yoo // J. Cataract. Refract. Surg. 2014. Vol. 40, №11. P. 1249.
- 125. Lundström, M. Capsule complication during cataract surgery: Background, study design, and required additional care: Swedish Capsule Rupture Study Group report 1 / M. Lundström, A. Behndig, P. Montan // J. Cataract. Refract. Surg. – 2009. – Vol.35, № 10. – P. 1679–1687.
- 126. Mayer W. J. Cell death and ultrastructural morphology of femtosecond laser-assisted anteriorcapsulotomy/ W. J. Mayer , O.K, Klaproth , M. Ostovic et al. // Invest Ophthalmol Vis Sci. 2014. Vol. 55, № 2. P. 893–898.
- 127. Masket, S. Late complications with intraocular lens dislocation after capsulorhexis in pseudoexfoliation syndrome / S. Masket, R.H. Osher // J. Cataract. Refract. Surg. – 2002. – Vol. 28, № 8. – P. 1481–1484.
- 128. Mastropasqua, L. Femtosecond laser versus manual clear corneal incision in cataract surgery / L. Mastropasqua, L. Toto, A. Mastropasqua, L. Vecchiarino, Mastropasqua R., E. Pedrotti, M. Di Nicola // J. Refract. Surg. 2014. Vol. 30, №1. P. 27–33.
- 129. Mihaltz, K. Internal aberration and optical quality after femtosecond laser

anterior capsulotomy in cataract surgery / K. Mihaltz, M. C. Knorz, J. L. Alio et al. // J. Refract. Surg. – 2011. – Vol. 27. – P. 711–716.

- 130. Mönestam, E. Frequency of intraocular lens dislocation and pseudophacodonesis, 20 years after cataract surgery – a prospective study / E. Mönestam // Am. J. Ophthalmology. – 2019. – Vol. 198. – P. 215–222.
- 131. Mönestam, E. I. Incidence of Dislocation of Intraocular Lenses and Pseudophakodonesis 10 Years after Cataract Surgery / E.I. Mönestam // Ophthalmology. – 2009. – Vol. 116, № 12. – P. 2315–2320.
- 132. Mura, J. J. Ultrasound biomicroscopic analysis of iris–sutured foldable posterior chamber intraocular lenses / J. J. Mura, C. J. Pavlin, G. P. Condon et al. // Am. J. Ophthalmol. – 2010. – Vol. 149, №2. – P.245–252.
- 133. Nagy, Z. Z. Advanced technology IOLs in cataract surgery: pearls for successful femtosecond cataract surgery / Z. Z. Nagy // Int. Ophtalmol. Clin. – 2012. – Vol. 52, № 2. – P. 103–114.
- 134. Nagy, Z. Z. Initial clinical evaluation of an intraocular femtosecond laser in cataract surgery / Z. Z. Nagy // J. Refract. Surg. – 2009. – Vol. 25. – P. 1053– 1060.
- 135. Nagy, Z. Z. 1–year clinical experience with a new femtosecond laser for refractive cataract surgery. Paper presented at: Annual Meeting of the American Academy of Ophthalmology / Z. Z. Nagy. – San Francisco, CA, USA. – 2009.
- 136. Nagy, Z. Z. Anterior segment OCT imaging after femtosecond laser cataract surgery / Z. Z. Nagy, T. Filkorn, A. I. Takacs et al. // J. Refract. Surg. – 2013. – Vol. 29. – P. 110–112.
- 137. Nagy, Z. Z. Comparison of intraocular lens decentration parameters after femtosecond and manual capsulotomies / Z. Z. Nagy // J. Refract. Surg. – 2011.– № 8. – P. 564–569.
- 138. Nagy, Z. Z. Complications of femtosecond laser–assisted cataract surgery / Z.
  Z. Nagy, A. I. Takacs, T. Filkorn, et al. // J. Cataract. Refract. Surg. 2014. –
  Vol. 40, № 1. P. 20–28.

- 139. Nagy, Z. Z. Evaluation of femtosecond laser–assisted and manual clear corneal incisions and their effect on surgically induced astigmatism and higher– order aberrations / Z. Z. Nagy // J. Refract. Surg. – 2014. – Vol. 30, № 8. – P.522–525.
- 140. Nagy, Z. Z. Intraocular femtosecond laser applications in cataract surgery / Z.
  Z. Nagy // Cataract & Refract. Surg. Today. 2009. P. 79–82.
- 141. Nagy, Z. Z. Intraocular femtosecond laser use in traumatic cataracts following penetrating and blunt trauma / Z. Z. Nagy, K. Kranitz, A. Takacs, T. Filkorn, et al. // J. Refract. Surg. – 2012. – Vol. 28. – P. 151–153.
- 142. Nagy, Z. Z. New technology update: femtosecond laser in cataract surgery /
  Z. Z. Nagy // Clin. Ophthalmol. 2014. Vol. 8. P. 1157–1167.
- 143. Narang, P. Glued intrascleral haptic fixation of an intraocular lens. Indian / P. Narang, A. Agarwal // J. Ophthalmol. 2017. Vol. 65. P. 1370–1380.
- 144. Narang, P. The "correct shake" for "handshake" in glued intrascleral fixation of intraocular lens / P. Narang, A. Agarwal // Indian. J. Ophthalmol. 2016. Vol. 64, № 11. P. 854–856.
- 145. Narang, P. Handshake riveting flanged for Yamane method of intrascleral fixation of intraocular lens / P. Narang, A. Agarwal // J. Cataract. Refract. Surg.- 2019. – Vol. 45, №12. – P. 1838–1839.
- 146. Nejima, R. A prospective, randomised comparison of single and three piece acrylic foldable intraocular lenses / R. Nejima, K. Miyata, M. Honbou et al. // Br. J. Ophthalmol. 2004. Vol. 88. P. 746–749.
- 147. Nelson, L. B. Ectopia lentis / L. B. Nelson, I. H. Maumenee // Surv. Ophthalmol. 1982. Vol. 27. P. 143–160.
- 148. Nishi, Y. Reproducibility of intraocular lens decentration and tilt measurement using a clinical Purkinje meter / Y. Nishi, N. Hirnschall, A. Crnej, et al. / J. Cataract. Refract. Surg. – 2010. – Vol. 36, №9. – P. 1529–1535.
- 149. Norrby, S. Sources of error in intraocular lens power calculation / S. Norrby//
  J. Cataract. Refract. Surg. 2008. Vol. 34, №7. P. 368–376.

- 150. Oshika, T. Ocular Higher–Order Wavefront Aberration Caused by Major Tilting Of Intraocular Lens / T. Oshika, K. Kawana, T. Hiraoka et al. // Am. J. Ophthalmol. – 2005. – Vol. 140, №4. – 744–746.
- 151. Palanker, D.V. Femtosecond laser–assisted cataract surgery with integrated optical coherence tomography / D.V. Palanker, M. S. Blumenkrantz, D. Andersen et al. // Sci. Transl. Med. – 2010. – Vol. 2. – P. 58–85.
- 152. Park, H. J. Effect of Co–Implantation of a Capsular Tension Ring on Clinical Outcomes after Cataract Surgery with Monofocal Intraocular Lens Implantation/ H. J. Park, H. Lee, W. Kim // Yonsei. Med. J. – 2016. – Vol. 57, №5. – P.42.
- 153. Phillips, P. Measurement of intraocular lens decentration and tilt in vivo / P. Phillips, H. D. Rosskothen, J. Pérez–Emmanuelli, C. J. Koester // J. Cataract. Refract. Surg. 1988. Vol. 14, № 2. P. 129–135.
- 154. Popovic, M. Efficacy and safety of femtosecond laser–assisted cataract surgery compared with manual cataract surgery: a meta–analysis of 14 567 eyes/
  M. Popovic, X. Campos–Möller, M. B. Schlenker, I. I. Ahmed // Ophthalmology. 2016. Vol. 123, № 10. P. 2113–2126.
- 155. Ravalico, G. Capsulorhexis size and posterior capsule opacification / G. Ravalico, D. Tognetto, M. Palomba, et al. // J. Cataract. Refract. Surg. 1996.– Vol. 22. P. 98–103.
- 156. Reddy, K. P. Effectiveness and safety of femtosecond laser–assisted lens fragmentation and anterior capsulotomy versus the manual technique in cataract surgery / K. P. Reddy, J. Kandulla, G. U. Auffarth // J. Cataract. Refract. Surg.– 2013. – Vol. 39, №9. – P. 1297–1306.
- 157. Roberts, T. V. Capsular block syndrome associated with femtosecond laser– assisted cataract surgery / T. V. Roberts, G. Sutton, M. A. Lawless, et al. // J. Cataract. Refract. Surg. – 2011. – Vol. 37. – P. 2068 – 2070.
- 158. Roberts, T. V. Surgical Outcomes and Safety of Femtosecond Laser Cataract Surgery / T. V. Roberts, M. Lawless, S. Bali, C. Hodge, G. Sutton //

Ophthalmology. – 2013. – Vol. 120, №2. – P. 227–233.

- 159. Rosales, P. Intraocular lens alignment from Purkinje and Scheimpflug imaging / P. Rosales, A. De Castro, I. Jiménez–Alfaro, S. Marcos // Clinical and Experimental. Optometry. – 2010. – Vol. 93, № 6. – P. 400–408.
- 160. Saeedi, O. J. Comparison of cumulative dispersed energy (CDE) in femtosecond laser–assisted cataract surgery (FLACS) and conventional phacoemulsification / J. O. Saeedi, L.Y. Chang, S. R. Ong, et al. // International Ophthalmology. – 2019. – Vol.39, №8. – P. 1761–1766.
- 161. Schargus, M. Femtosecond laser– assisted cataract surgery without OVD: a prospective intraindividual comparison / M. Schargus, N. Suckert, T. Schultz et al. // J. Refract. Surg. – 2015. – Vol. 31. – P. 146–152.
- 162. Schild, A. M. Effect of a capsular tension ring on refractive outcomes in eyes with high myopia / A.M. Schild, A. Rosentreter, M. Hellmich et al. // J. Cataract. Refract. Surg. – 2010. – Vol. 36. – P. 2087–2093.
- 163. Schultz, T. Changes in prostaglandin levels in patients undergoing femtosecond laser–assisted cataract surgery / T. Schultz, S. C. Joachim, M. Kuehn, H. B. Dick // J. Refract. surg. – 2013. – Vol. 29, №11. – P. 742–747.
- 164. Schultz, T. Femtosecond laser–assisted cataract surgery in pediatric Marfan syndrome / T. Schultz, E. Ezeanoskie, H. B. Dick // J. Refract. Surg. 2013. Vol. 29, № 9. P. 650–652.
- 165. Shigeeda, T. Spontaneous posterior dislocation of intraocular lenses fixated in the capsular bag / T. Shigeeda, M. Nagahara, S. Kato et al. // J. Cataract. Refract. Surg. – 2002. – Vol. 28, № 9. – P. 1689–1693.
- 166. Shingleton, B. J. Outcome of phacoemulsification and intraocular lens implantion in eyes with pseudoexfoliation and weak zonules / B.J. Shingleton, Y. N. Neo, V. Cvintal et al. // Acta. Ophthalmologica. 2016. Vol. 95, №2. P. 182–187.
- 167. Snyder, R. J. In vitro comparison of phacoemulsification and the erbium: YAG laser in lens capsule rupture / R. J. Snyder // Invest. Ophthalmol. Vis. Sci.

– 1994. – Vol. 35, № 4. – P. 1934.

- 168. Sperl, P. Intraocular Pressure Course During the Femtosecond Laser–Assisted Cataract Surgery in Porcine Cadaver Eyes / P. Sperl // Invest. Ophthalmol. Vis. Sci. – 2017. – Vol. 58, № 14. – P. 6457–6461.
- 169. Sugar, A. Ultrafast (femtosecond) laser refractive surgery / A. Sugar // Curr.
  Opin. Ophthalmol. 2002. Vol. 13, № 4. P. 246–249.
- 170. Taban, M. Acute endophthalmitis following cataract surgery: a systematic review of hte literature / M. Taban, A. Behrens, R.L. Newcomb et al. // Arch. Ophthalmol. 2005. Vol. 123. P. 613–620.
- 171. Takacs, A.I. Central corneal volume and endothelial cell count following femtosec-ond laser-assisted refractive cataract surgery compared to conventional phacoemulsification / A. I. Takacs, I. Kovacs, K. Mihaltz et al. // J. Refract. Surg. 2012. Vol. 28. P. 387–391.
- 172. Tirlapur, U.K. Femtosecond near–infrared laser pulse induced strand breaks in mammalian cells / U.K. Tirlapur // Cell. Mol. Biol. 2001. Vol. 47, №1. P. 131–134.
- 173. Wagoner, M. D. Intraocular lens implantation in the absence of capsular support; a report by the American Academy of Ophthalmology (Ophthalmic Technology Assessment) / M. D. Wagoner, T. A. Cox, R. G. Ariyasu, D. S. Jacobs, C.L. Karp // Ophthalmology. – 2003. – Vol. 110. – P. 840–859.
- 174. Wang, M. C. Position of poly (methyl methacrylate) and silicone intraocular lenses after phacoemulsificaxion / M. C. Wang, L. C. Woung, C. Y. Hu, H. C. Kuo // J. Cataract. Refract. Surg. – 1998. – Vol. 24, № 12. – P. 1652–1657.
- 175. Wang, X. IOL Tilt and Decentration Estimation from 3 Dimensional Reconstruction of OCT Image / X. Wang, J. Dong, X. Wang, Q. Wu // PLoS ONE. – 2013. – Vol. 8, № 3. – e59109.
- 176. Yang, C.S. Long-term outcome of combined vitrectomy and transscleral suture fixation of posterior chamber intraocular lenses in the management of posteriorly dislocated lenses / C. S. Yang, Y. J. Chao // J. Chin. Med. Assoc. –

2016. – Vol. 79, № 8. – P. 5.

- 177. Yesilirmak, N. Differences in energy expenditure for conventional and femtosecond–assisted cataract surgery using 2 different phacoemulsification systems / N. Yesilirmak, V. F. Diakonis, A. Sise et al. // J. Cataract. Refract. Surg. 2017. Vol. 43, №1. 16–21.
- 178. Yu, A. Y. Preliminary clinical investigation of cataract surgery with a noncontact femtosecond laser system / A. Y. Yu, L. Y. Ni, Q. M. Wang et al. // Lasers. Surg. Med. – 2015. – Vol. 47, № 9. P. 698–703.
- 179. Zech, J. C. Posterior chamber intraocular lens dislocation with the bag / J. C. Zech, P. Tanniére, P. Denis, C. Trepsat // J. Cataract. Refract. Surg. –1999. Vol. 25, № 8. P. 1168–1169.