

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
НАЦИОНАЛЬНЫЙ МЕДИЦИНСКИЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР
«МЕЖОТРАСЛЕВОЙ НАУЧНОТЕХНИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС «МИКРОХИРУРГИЯ
ГЛАЗА» ИМЕНИ АКАДЕМИКА С.Н. ФЕДОРОВА» МИНИСТЕРСТВА
ЗДРАВООХРАНЕНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

На правах рукописи

ХАЛЕЦКАЯ АНАСТАСИЯ АНДРЕЕВНА

МЕТОД ПРОФИЛАКТИКИ СИНДРОМА ИНТРАОПЕРАЦИОННОЙ
ДЕВИАЦИИ ИРРИГАЦИОННОГО ПОТОКА ПРИ
ФАКОЭМУЛЬСИФИКАЦИИ КАТАРАКТЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ
ИНТРАОПЕРАЦИОННОЙ ОПТИЧЕСКОЙ КОГЕРЕНТНОЙ
ТОМОГРАФИИ

3.1.5 – Офтальмология

Диссертация на соискание ученой степени

кандидата медицинских наук

Научный руководитель:

Малюгин Борис Эдуардович

доктор медицинских наук, профессор,

член-корреспондент РАН

Москва – 2024

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	3
ГЛАВА 1. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ.....	9
1.1 Строение стекловидного тела в аспекте витрео-лентикулярного интерфейса.....	9
1.2 Интраоперационная оптическая когерентная томография: возможности метода и его использование в хирургии катаракты.....	15
1.3 Интраоперационные осложнения хирургии катаракты; синдром интраоперационной девиации ирригационного потока: клинические признаки, методы профилактики.....	25
ГЛАВА 2. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ.....	31
2.1. Материалы и методы математического моделирования.....	31
2.2. Дизайн исследования.....	32
2.3. Материалы клинико-функциональных исследований.....	33
2.4. Характеристика пациентов группы исследования №1.....	34
2.5. Характеристика пациентов группы №2 А.....	35
2.6. Характеристика пациентов группы №2 Б.....	35
2.7. Методы клинико-функциональных исследований.....	36
2.8. Методы статистических исследований.....	38
ГЛАВА 3. ДИАГНОСТИЧЕСКИЕ ВОЗМОЖНОСТИ иОКТ И ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОЕ ПРИМЕНЕНИЯ ДЛЯ ОЦЕНКИ СТРУКТУР ПЕРЕДНЕГО ОТРЕЗКА ГЛАЗА ВО ВРЕМЯ ФАКОЭМУЛЬСИФИКАЦИИ КАТАРАКТЫ.....	39
3.1. Последовательность применения иОКТ при ультразвуковой факоэмульсификации катаракты с имплантацией ИОЛ.....	39
3.2. Интраоперационные клинические результаты группы исследования №1.....	47

ГЛАВА 4. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ.....	49
4.1. Разработка математической модели.....	49
4.2. Математическое моделирование ирригационного потока, проходящего сквозь Циннову связку в норме.....	52
4.3. Математическое моделирование ирригационного потока, проходящего через нарушенный связочный аппарат хрусталика	54
4.4. Математическое моделирование ирригационного потока, проходящего сквозь Циннову связку при блокировке этой зоны раствором вискоэластика	56
4.5. Экспериментальное моделирование СИДИП на изолированных глазах свиньи.	58
ГЛАВА 5. РАЗРАБОТКА НОВОГО ХИРУРГИЧЕСКОГО МЕТОДА ПРОФИЛАКТИКИ СИДИП ПРИ ФАКОЭМУЛЬСИФИКАЦИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДИСПЕРСИВНОГО ВИСКОЭЛАСТИКА (ВИСКОБЛОК) И АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ЛЕЧЕНИЯ.....	63
5.1. Общая характеристика пациентов до операции.....	63
5.2. Разработка и апробация в клинике метода «Вискоблок» для профилактики СИДИП при факоэмульсификации катаракты	67
5.3. Анализ интраоперационных особенностей в опытной и контрольной группах.....	70
5.4. Анализ клинико-функциональных результатов в послеоперационном периоде.....	74
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	79
ВЫВОДЫ.....	88
ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ.....	91
СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ.....	92
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	93

ВВЕДЕНИЕ

Витрео-лентикулярный интерфейс является зоной контакта анатомически сложных структур глаза, а именно капсульно-связочного аппарата хрусталика и переднего гиалоида стекловидного тела. Согласно традиционной концепции, витрео-лентикулярный интерфейс формируется задней капсулой хрусталика спереди и ПГ сзади, между которыми находится узкое пространство, называемое пространством Бергера. Это пространство ограничено связкой Вигера, известной также как кольцо гиалоидно-капсулярной адгезии, за которой располагается щелевидный канал Пети. Первоначальное описание структур ВЛИ было сделано в работах Wieger G., Berger E. и Egger A. в XIX веке.

Пространство Бергера часто называют «возможным» поскольку его изучение *in vivo* у пациентов вызывает трудности. Однако, при патологическом скоплении жидкости в нем и/или гиперрефлективного материала при слабости Цинновой связки его визуализация становится допустимой (Bergua A., Kuchle M. 2002). Учитывая, что базовое анатомическое строение было установлено в XIX веке, витрео-лентикулярный интерфейс продолжает оставаться малоисследованным из-за сложности его визуализации.

С возникновением метода оптической когерентной томографии открылись новые возможности более детальной диагностики ВЛИ в до-, интра- и послеоперационном периоде (Егорова Е.В. и соавт. 2020, Шаимова В.А. и соавт. 2021). А интегрированная в микроскоп ОКТ-система позволила подтвердить классическое строение ретролентального пространства (Tassignon M. 2011). Благодаря высокой скорости и разрешению интраоперационной оптической когерентной томографии появилась возможность детального изучения разных структур глаза во время факоэмульсификации катаракты. Пространство Бергера не визуализируется или имеет щелевидный профиль в случае, если наблюдается плотная

взаимосвязь между передними кортикальными слоями стекловидного тела и задней капсулой хрусталика. Чаще всего оно просматривается, как гипорефлективное пространство, но при развитии синдрома интраоперационной девиации ирригационных потоков в него могут попадать инородные частицы через зонулярную связку с током ирригационной жидкости (Анисимова Н.С. и соавт., 2020). Фактором риска данного синдрома является выраженная несостоятельность связочного аппарата, поддерживающего хрусталик в правильном положении.

Факоэмульсификация катаракты с последующей имплантацией интраокулярной линзы приводит к изменению капсульно-связочного аппарата хрусталика (Гринев А.Г., 2008, Егорова Э.В. с соавт., 2011). В результате таких изменений происходит сдвиг задней капсулы хрусталика вперед - это является особенностью интра- и послеоперационной трансформации структур витрео-лентиккулярного интерфейса. Тем не менее, клинические исследования ретролентального пространства в доступной отечественной и мировой литературе весьма скудны.

Вышеизложенное делает акцент на необходимости поиска современных методов хирургического лечения с целью профилактики возникновения синдрома интраоперационной девиации ирригационного потока во время факоэмульсификации катаракты у пациентов с нарушением связочного аппарата хрусталика, что позволяет сформулировать цель и задачи настоящего исследования.

Цель исследования

На основе всестороннего экспериментального, математического и клинического анализа состояния витрео-лентиккулярного интерфейса, при помощи интегрированного в операционный микроскоп оптического когерентного томографа, разработать метод факоэмульсификации катаракты, обеспечивающий профилактику синдрома интраоперационной девиации ирригационного потока.

Задачи исследования

1. На основании клинической оценки структур переднего отрезка глаза во время факоэмульсификации катаракты изучить диагностические возможности, клиническую значимость и последовательность применения метода интраоперационной оптической когерентной томографии.

2. Разработать математическую модель гидродинамических закономерностей взаимодействия ирригационного потока во время ультразвуковой факоэмульсификации с витрео-лентиккулярным интерфейсом при целостном и нарушенном связочном аппарате хрусталика.

3. На основании гистологического строения витрео-лентиккулярного интерфейса разработать экспериментальную модель синдрома интраоперационной девиации ирригационного потока на изолированных свиных глазах.

4. Разработать метод ультразвуковой факоэмульсификации с имплантацией ИОЛ, обеспечивающий профилактику синдрома интраоперационной девиации ирригационных потоков.

5. С использованием интраоперационной оптической когерентной томографии изучить интраоперационные особенности состояния витрео-лентиккулярного интерфейса, частоту встречаемости отслойки переднего гиалоида и признаки синдрома интраоперационной девиации ирригационных потоков.

6. На основании сравнительного анализа клинико-функциональных результатов пациентов, прооперированных стандартным способом факоэмульсификации катаракты и с использованием разработанного метода, доказать эффективность его применения в клинической практике.

Научная новизна

1. Впервые разработана математическая модель, описывающая закономерности гидродинамики и воздействия ирригационных потоков на витрео-лентиккулярный интерфейс во время ультразвуковой факоэмульсификации при целостном и нарушенном связочном аппарате хрусталика. Обоснована возможность рестрикции проникновения ирригационной жидкости сквозь Циннову связку в пространство Бергера с использованием защитного слоя дисперсивного вискоэластика для обеспечения профилактики отслойки переднего гиалоида и сохранения интактным пространства Бергера.

2. Впервые детально изучены структуры витрео-лентиккулярного интерфейса посредством интраоперационной оптической когерентной томографии в режиме реального времени, и предложена последовательность применения данного метода для оценки структур переднего отрезка глаза во время факоэмульсификации.

3. Впервые разработан оригинальный хирургический метод разобщения переднего и заднего отрезков глазного яблока с использованием дисперсивного вискоэластика (Вискоблок), целесообразный для применения при факоэмульсификации с имплантацией ИОЛ для профилактики синдрома интраоперационной девиации ирригационных потоков у пациентов группы риска.

Практическая значимость

1. Определена последовательность применения интраоперационной оптической когерентной томографии для оценки структур переднего отрезка глаза во время ультразвуковой факоэмульсификации с имплантацией ИОЛ, обеспечивающая снижение интраоперационных осложнений, что позволяет рекомендовать его использование в клинической практике.

2. Разработанный хирургический метод профилактики синдрома интраоперационной девиации ирригационных потоков с использованием

дисперсивного вискоэластика при ультразвуковой факоэмульсификации с имплантацией ИОЛ под контролем интраоперационной оптической когерентной томографии является безопасным и эффективным, позволяя предотвратить развитие признаков СИДИП у пациентов с нарушением связочного аппарата хрусталика, что снижает риск развития интра- и послеоперационных осложнений.

Основные положения, выносимые на защиту

Разработанный на основе математического моделирования и изученный клинически метод хирургической профилактики синдрома интраоперационной девиации ирригационных потоков при ультразвуковой факоэмульсификации с имплантацией ИОЛ, заключающийся во введении дисперсивного вискоэластика под радужку над Цинновой связкой на протяжении 360 угловых градусов под контролем интраоперационной оптической когерентной томографии, обеспечивает профилактику осложнений у пациентов с нарушениями связочного аппарата хрусталика и целесообразен для использования в клинической практике у пациентов группы риска.

Внедрение в практику

Разработанная методика внедрена в практическую деятельность головной организации и филиалов ФГАУ НМИЦ «МНТК «Микрохирургия глаза» им. акад. С.Н. Федорова» МЗ РФ. Результаты и положения работы используются в учебном процессе Института непрерывного профессионального образования ФГАУ «НМИЦ «МНТК «Микрохирургия глаза» им. акад. С.Н. Фёдорова» МЗ РФ.

Апробация работы

Основные положения диссертации доложены и обсуждены на научно-практических конференциях МНТК «Микрохирургия глаза», на XXII-м и XXIII-м Всероссийском конгрессе с международным участием «Современные технологии катарактальной, рефракционной и роговичной хирургии» (Москва, 2022, 2023).

Публикации

По теме диссертации опубликована 1 печатная работа в журнале, рекомендованном ВАК РФ, принята к печати 1 работа в журнале, рекомендованном ВАК РФ, получено 2 патента РФ на изобретение: «Способ фактоэмульсификации катаракты, обеспечивающий профилактику и купирование синдрома интраоперационной девиации ирригационного потока» №2754517 от 27.01.2021г., «Способ фактоэмульсификации катаракты у пациентов с помутнениями роговицы» №2758027 от 02.04.2021г.

Объем и структура диссертации

Диссертационное исследование изложено на 113 страницах машинописного текста, иллюстрировано 31 рисунком, 8 таблицами. Работа состоит из введения, обзора литературы, материалов и методов, глав собственных исследований, заключения, выводов, практических рекомендаций и списка литературы, включающего 136 источников, из них: 23 отечественных и 113 зарубежных.

Работа выполнена на базе отдела трансплантационной и оптико-реконструктивной хирургии переднего отрезка глаза ФГАУ НМИЦ «МНТК «Микрохирургия глаза» им. акад. С.Н. Федорова» Минздрава РФ под руководством заместителя генерального директора по научной работе ФГАУ «НМИЦ «МНТК «Микрохирургия глаза» им. акад. С.Н. Федорова» Минздрава РФ, доктора медицинских наук, профессора, член-корреспондента РАН, заслуженного деятеля науки РФ Малюгина Б.Э.

ГЛАВА 1. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

1.1. Строение стекловидного тела в аспекте витрео-лентиккулярного интерфейса

Стекловидное тело является одной из самых загадочных и сложных структур глазного яблока, которое заполняет до 80% его объема. Долгое время стекловидное тело (СТ) оставалось недооцененным с точки зрения его роли в развитии глазных болезней [113]. Это связано с тем, что прозрачность и гелеобразная консистенция СТ делают его труднодоступным для визуализации и усложняют возможности изучения. Первые попытки были предприняты в XVIII веке, а более активный анализ СТ прослеживается с конца XX начала XXI века, когда современные методы исследования стали более доступными и эффективными. По мере изучения анатомического строения СТ, выдвигались разные теории о его строении: в 1741 г. «альвеолярная» (P. Demours) [52], «ламеллярная» в 1780 г. (J.G. Zinn) [135], теория «радиальных секторов» в 1845 г. (A. Hannover) [71] и лишь «фибриллярная» теория W. Bowman в 1848 г. отразила в большей мере современное представление об организации СТ [41]. E. Redslob использовал щелевую лампу и анатомическую микроскопию в темном поле для более полного изучения структуры СТ [104].

СТ анатомически разделяют на три части: собственно СТ, пограничную мембрану и Клокетов канал. Условно для ориентации в клинической практике принято выделять переднюю, центральную и заднюю части [20].

СТ ограничено хрусталиком и цилиарным телом спереди, сетчаткой на всем остальном протяжении. СТ имеет передние и задние кортикальные слои (передний и задний гиалоид). Интерфейс между СТ и окружающей его средой состоит из стекловидных кортикальных фибрилл и базальных пластинок прилегающих тканей [40]. Задний гиалоид (ЗГ) прикрепляется к внутренней пограничной мембране сетчатки, которая образована в основном базальной пластинкой клеток Мюллера [112] и состоит из коллагена I и IV типов, протеогликанов, фибронектина и ламинина [73,28]. СТ имеет несколько

участков, где плотно фиксировано к сетчатке. Одним из участков является область вокруг диска зрительного нерва (ДЗН), другим - фиксация вдоль зубчатой линии (*ora serrata*) [109].

Так, СТ представляет собой высокогидратированный прозрачный внеклеточный матрикс, содержащий от 98 до 99% воды [39]. Его гелевая структура поддерживается трехмерной сетью случайно расположенных неразветвленных коллагеновых фибрилл, окруженных гиалуроновой кислотой и другими макромолекулами. Концентрация коллагена в СТ достаточно низкая, около 300 мкг/мл [50], при этом основным компонентом является коллаген II типа [34,63]. Его распределение внутри глаза неравномерно, наибольшая концентрация наблюдается в основании СТ, затем в задней коре и в ядре [50]. Эта сеть коллагеновых волокон обеспечивает СТ механическую прочность, позволяя ему выдерживать удары и передавать тракционные силы на поверхность сетчатки [39]. СТ человека имеет концентрацию гиалуроновой кислоты в диапазоне от 65 до 400 мкг/мл с самой высокой концентрацией в задней кортикальной части [44]. Взаимодействие гиалуроновой кислоты с коллагеном обеспечивает правильную гидратацию и пространство, тем самым уменьшая количество рассеивания света и повышая прозрачность. Они также обеспечивают вязкоупругие свойства СТ [26,38,48,51]. Другие молекулы, такие как оптицин, также присутствуют в СТ человека и способствуют дальнейшей стабилизации его структуры [48,114]. СТ бесклеточное, за исключением редкой популяции гиалоцитов, мононуклеарных клеток, имеющих форму от овальной до веретенообразной, с диаметром 10–15 мкм. Эти фагоцитирующие клетки в основном сосредоточены у основания СТ и прилегают к заднему полюсу [17,26,48,123]. Они участвуют в синтезе таких компонентов СТ, как коллагеновые фибриллы, гиалуроновая кислота и другие макромолекулы, а также могут быть вовлечены в ряд патологических состояний глаза [116].

Макроскопически определить архитектонику СТ позволило препарирование, что стало основой для всех дальнейших исследований

макроскопической структуры СТ, а именно Worst и соавт. в 1977 г., разработав методы уникального препарирования СТ по типу «цветка», «окна» и «гамака», внесли неоценимый вклад в изучение СТ. Также авторы путем введения контрастного вещества в СТ проводили оценку его организации и доказали, что при выделении СТ из глаза, оно полностью сохраняет свой изначальный вид [134,133]. После чего было предположено, что СТ имеет свою собственную капсулу, также благодаря контрастированию доказали наличие цистерн (экваториальные, лепестковые и ретроцилиарные) в СТ, каналов (лентико-макулярный и оптико-цилиарный) и премакулярной сумки. Ретроцилиарные цистерны представляют собой анатомические структуры, образующие кольцо в проекции цилиарного тела, а экваториальные и лепестковые цистерны располагаются в толще кольца, ориентируясь вокруг каналов. Каналы, в свою очередь, предположительно контролируют движение жидкости в СТ, отвечают за метаболизм и гидродинамику.

Позднее, в 2006 г. Махачевой З.А. было описано более детальное строение премакулярной сумки, которая имеет переднюю стенку (решетчатая мембрана) и заднюю стенку (пограничная мембрана) [12]. В последующих исследованиях J. Worst пришел к выводу, что между ретролентальным пространством и премакулярной сумкой есть непосредственная связь посредством Клокетова канала.

Для изучения СТ применялись разные контрастные вещества, а именно водорастворимые, триамцинолон ацетонид и «Magic color», но все они давали лишь возможность оценить строение СТ в целом. Росла необходимость в возможности получения анатомических срезов для более детального гистологического исследования. Помимо отсутствия подходящего красителя, также не было последовательного алгоритма извлечения СТ без нарушения его цельности. Так, Кислицыной Н.М. и соавт. был разработан метод макромикроскопического исследования СТ под названием «Шаг за шагом» («Step by step») и предложен ступенчатый алгоритм препарирования СТ в ходе витреоконтрастографии. Благодаря этой

методике стало возможным детальное изучение СТ и структур ВЛИ, а также проведение анализа полученных образцов с помощью световой микроскопии [11]. Изучая среды СТ Рева Г.В. и соавт. показали, что СТ представляет собой соединительную ткань, в межклеточном веществе которой находятся фибриллы. Гелеобразное состояние основного вещества обеспечивают растворенные коллаген и гиалуроновая кислота, которые играют роль «мягкого скелета» витреума. В межфибрилярном веществе СТ были выделены гиалоциты, играющие важную роль в развитии и функционировании СТ, а также глазного яблока в целом [17].

С открытием метода ОКТ, возможности интерпретации структур СТ значительно расширились. В 2023 г. Ohno-Matsui К. и соавт. представили работу, в которой определяли трехмерную (3D) структуру СТ, Клокетова канала и цистерн у здоровых людей, с помощью ОКТ со сверхширокопольной визуализацией (UWF-ОСТ) и искусственного интеллекта. На ОКТ-изображениях UWF детально наблюдалась структура СТ шириной 23, площадью 5 мм. Анализ под руководством искусственного интеллекта показал сложные трехмерные структуры СТ под разными углами. Морфология и расположение цистерн различались у испытуемых, но, как правило, были одинаковыми в двух глазах одного человека. Передовые технологии позволяют детально изучать физиологическое и патологическое состояние структур ВЛИ, а также оценивать их изменения после перенесенных витреоретинальных заболеваний [55].

ВЛИ является сложной анатомической структурой, которая образована ЗКХ и ПГ СТ, между ними располагается щелевидное пространство Бергера. По бокам данное пространство ограничено циркулярной гиалоидо-капсулярной связкой Вигера, её внешней границей представлена линия Эггера [58]. За пределами связки Вигера, между ЦС спереди и ПГ сзади, располагается щелевидный канал Пети.

Исследования структур ВЛИ берут начало с XIX века. G. Wieger в 1883 г. опираясь на работу, проделанную Hasner в 1851 г., провел эксперимент,

закрывающийся во введении молока в энуклеированные глаза с целью визуализации контакта между ЗКХ и ПГ. Таким образом, автор доказал наличие фибрилл коллагена, определяющиеся ниже экватора хрусталика (около 1 мм) [132]. Позднее Е. Berger в 1887 г. визуализировал между ЗКХ и передними кортикальными слоями «щелевидное» пространство (пространство Бергера) [36] Зачастую это пространство невозможно увидеть из-за плотной адгезии структур, между которыми оно располагается. Именно поэтому его называют «потенциальным» пространством [41]. При патологическом состоянии капсульно-связочного аппарата хрусталика, отслойке ПГ и нарушении связки Вигера [39,50,63], в момент скопления жидкостей или инородных микрочастиц в пространстве, оно становится визуализируемым. Для подтверждения существования ретролентального пространства Е. Weidle в 1985 г. во время хирургии катаракты выполнял задний капсулорексис и вводил через него вискоэластик (ВЭ), тем самым получал «подушку» в пределах связки Вигера [34].

Важной анатомической структурой является связочный аппарат хрусталика, что определяет функционирование ВЛИ. Немецкий ученый Johann Gottfried Zinn в 1755 г. своим труде «*Descriptio anatomica oculi humani iconibus illustrata*» (перевод с латинского – «Иллюстрированное анатомическое описание человеческого глаза»), обрисовывая строение глазного яблока человека исходя из собственных экспериментов и наблюдений, впервые дал описание пространства между цилиарной короной и хрусталиком в виде системы трубчатых микрофибрилл [136]. С момента первого полного описания этой зоны, для нее использовалось несколько терминов, в том числе цилиарная связка, ресничная связка или ресничный пояс, Циннова или зонулярная связка.

Строение ресничного пояса включает трехмерный комплекс микрофибрилл. Эти фибриллы представляют собой неколлагеновые образования размером около 10 нм, проходящие от внутренней поверхности цилиарного тела к внешней поверхности капсулы хрусталика, а также

дополнительно прикрепляясь к ПГ [101]. Длительное время считалось, что волокна ЦС являются коллагеновыми, но с развитием технологий было доказано, что главным компонентом этих микроволокон является гликопротеин фибриллин, а сами волокна являются прочными и эластическими образованиями. Волокна ресничного пояса окружены оболочкой, состоящей из нефибриллярных компонентов, которые действуют как барьер для макромолекул. Состав такого покрытия включает гликозаминогликаны, протеогликианы, ламинин, фибронектин, коллаген IV [61,115].

В 1972 г. В. Daiker и G. Eishner в 1973 г. описали строение связочного аппарата хрусталика более детально [61,89,115]. Большая часть волокон Цинновой связки берет начало в плоской части цилиарного тела на расстоянии 0,5-1,0 мм кпереди от зубчатой линии. Далее волокна подразделяют на несколько пучков в зависимости от места их прикрепления к хрусталику (передние, задние, экваториальные и меридиональные части). Задние волокна ресничной связки тесно связаны с ПГ на всем протяжении. Помимо этого, меридиональная часть волокон имеет промежуточную точку прикрепления в области отростков цилиарного тела. Между пучками происходит постоянный обмен волокнами на протяжении всего их пути, обеспечивая взаимосвязь между основными пучками цилиарной связки [61,89,115]. В наши дни новые методы исследования позволяют вносить правки в классическое представление о строении связочного аппарата хрусталика. В работах ученых с 1970-х по 1980-е годы упоминается порция гиалоидно-цилиарных волокон, которые, как предполагалось, идут от ресничного тела и крепятся у линии Эггера к передним кортикальным слоям СТ. Однако в 2006 г. исследование, проведенное Bernal A. и его соавт. с использованием сканирующей электронной микроскопии, привело к выводу, что описанная группа волокон на самом деле представляет собой цилио-капсулярные волокна. Они идут от ресничного тела к капсуле хрусталика, но не по прямой траектории, как

считалось ранее. Вместо этого они сначала направляются к ПГ СТ, вплетаются в его состав и затем достигают линии Эггера [37].

Таким образом, состояние связочного аппарата хрусталика и структур ВЛИ играет ключевую роль в хирургии катаракты. Понимание их анатомического строения имеет важное значение для успешных хирургических вмешательств. Несмотря на значительное количество исследований в этой области, анатомические структуры цилио-хрусталиковой зоны до сих пор изучены недостаточно и представляют интерес для исследователей [1].

1.2. Интраоперационная оптическая когерентная томография: возможности метода и его использование в хирургии катаракты

ОКТ является бесконтактным и неинвазивным методом визуализации и диагностики, который позволяет получать изображения тканей глаза на поперечных срезах с чрезвычайно высоким качеством микрометрового разрешения.

Внедрение ОКТ в клиническую практику компанией Carl Zeiss Meditec (Дублин, Калифорния) в 1995 г. изменило методы обследования пациентов и стало неотъемлемой частью работы в офтальмологических амбулаториях. Она позволила детальнее понять анатомические особенности и патофизиологию различных заболеваний переднего и заднего отрезков глаза, а также планировать их хирургическое лечение [1].

При исследовании переднего отрезка глаза с помощью ОКТ стала допустимой визуализация не только хрусталика и ЗКХ, но и в некоторых случаях пространства Бергера, которое чаще является «потенциальным», так как ПГ плотно прилежит к ЗКХ. Визуализация пространства Бергера возможна при наличии жидкости в нем, что связано с возрастной или патологической дегенерацией связки Вигера, которая соединяет пространство с каналом Пети, позволяя воде проникать [33,94,118]. В 2019 г. Santos-Bueso E. провел

исследование, в котором приняли участие 90 пациентов. Всем была проведена ОКТ (Cirrus Lumera 700 Carl Zeiss Meditec, Dublin, California, United States) переднего отрезка глаза. Из 90 пациентов, включенных в исследование, было представлено 3 случая, свидетельствующих о наличии пространства Бергера между ЗКХ и ПГ. Один глаз был факичным и два - псевдофакичными. Также у одного из пациентов наблюдалась выраженная деструктуризация СТ и один был с помутнением ЗКХ. Распространенность пространства Бергера, выявленных с помощью ОКТ, неизвестна. В данной работе было описано лишь 3 пациента из 90 проанализированных. Однако это небольшая выборка, которая должна быть подтверждена другими более крупными исследованиями. Также неизвестно, способствует ли визуализации пространства Бергера изменения в СТ, вызванные старением. Включая разжижение и синерезис, происходящие в структуре СТ, учитывая, что 2 из 3 пациентов были в возрасте 70 и 74 лет [111].

В настоящее время ОКТ переднего сегмента глубокого диапазона AS-OCT позволяет увеличить глубину вертикальной визуализации до 13 мм по сравнению с 6 мм при использовании обычной AS-OCT [32,47,91]. Mori H. и соавт. при помощи AS-OCT (CASIA2, Tomey, Japan) исследовали ретролентальное пространство у 624 пациентов (624 глаза). Из них 223 глаза позднее подверглись операции по удалению катаракты методом факоэмульсификации с имплантацией ИОЛ. Визуализация ретролентального пространства с помощью AS-OCT глубокого диапазона показала, что отслойка ПГ и пространство Бергера были видны в 43 (6,9%) исследуемых факичных глазах. Анализ подгруппы пациентов, перенесших операцию по удалению катаракты, показал, что при предоперационной AS-OCT, отслойка ПГ была выявлена в 18 (8,1%) глазах. В данном исследовании отслойка ПГ чаще встречалась у пожилых пациентов и в глазах с большей длиной глазного яблока. Среднее отклонение рефракции от рефракции цели было значительно больше в глазах с отслойкой ПГ ($0,670 \pm 0,384$ D), чем с незафиксированной отслойкой ПГ ($0,494 \pm 0,412$ D) ($p = 0,037$). Послеоперационный прогноз

рефракции был менее точным в глазах с отслойкой ПГ, но значительной тенденции в отношении миопического или гиперметропического сдвига не наблюдалось [53].

В связи с тем, что современная ОКТ позволяет визуализировать состояние ВЛИ и передние отделы СТ [4,18], Шаимова В.А. и соавт. провели исследование ретролентального пространства. В исследование были включены 34 пациента (68 глаз), авторы использовали ОКТ высокого разрешения SOLIX (Optovue, США) для оценки структур переднего отрезка глазного яблока. Сканирование проводилось в режиме «FullRange AC». Изучение ВЛИ в 43 случаях выявило плотную адгезию переднего гиалоида и ЗКХ, в 25 случаях была обнаружена отслойка переднего гиалоида. При ОКТ-сканировании в режиме «FullRange AC» в 68 глазах в области ВЛИ в передних слоях СТ была выявлена ретролентарная гипорефлективная лакуна сложной геометрии. В 43 случаях наблюдалась одна лакуна, в 20 случаях — две, в 5 случаях — три лакуны. Авторы предполагают, что обнаруженные ретролентальные лакуны могут функционально выполнять роль буферного пространства и быть причастными к системе лимфооттока из СТ. Однако, данные анатомические пространства требуют дальнейших исследований [13].

Постепенная миниатюризация ОКТ в портативные устройства и их последующая интеграция в операционные микроскопы дала возможность использовать эту технологию визуализации во время хирургических манипуляций.

Интраоперационная ОКТ (иОКТ) используется при операциях на переднем и заднем отрезках глаза. В хирургии переднего сегмента она может использоваться при кератопластике [35,54,62,70,82,83,84,97,98,119,121,124,128], хирургии глаукомы [24], катаракты [70,100,90,27] и биопсии тканей [70,85,76]. В хирургии заднего сегмента она используется во время витрэктомии доступом через pars plana (PPV) для лечения патологии СТ и сетчатки.

В операционных используются только спектральные ОКТ благодаря их высокой скорости и разрешению. Для спектральной ОКТ (spectral domain, SD-ОСТ) – это спектр всех световых лучей различных частот, регистрируемых высокоскоростным спектрометрическим интерферометром, а обработка сигнала производится с использованием преобразования Фурье. Измерительный луч используется очень эффективно, все слои ткани отражают свет одновременно, а опорное зеркало не нужно перемещать, в отличие от ОКТ первого поколения (time domain, TD-ОСТ). Устройства SD-ОСТ таким образом достигают скорости 20 000–100 000 А-сканов в секунду с осевым разрешением 5–7 мкм, что позволяет проводить исследования в сотни раз быстрее, чем при TD-ОСТ [95].

История использования иОКТ началась в 2007 г. с появлением портативного SD-ОСТ (Bioptigen, Inc., Research Triangle Park, NC), который работал с излучением длиной волны 840 нм и создавал изображения сетчатки с осевым разрешением менее 5 мкм. Это ОКТ позволило обследовать пожилых лежачих пациентов и детей в операционной [122]. При использовании данного ОКТ приходилось прерывать операцию. Это не только увеличивало время хирургии, но и повышало риск инфицирования операционного поля. Прикрепление ручного ОКТ к операционному микроскопу (iОСТ с креплением на микроскоп - ММ-iОСТ) позволило решить часть практических проблем, но не устранило их полностью. ММ-iОСТ позволило сократить время, необходимое для получения изображения сетчатки, улучшить качество и воспроизводимость изображений, а также упростить управление ОКТ - при помощи педали микроскопа [80,66,129]. Но ММ-iОСТ не давала возможности визуализировать взаимодействие между хирургическими инструментами и оперируемой тканью.

Mi-iОСТ, или интегрированная оптическая когерентная томография, представляет собой технологию, в которой оптический тракт ОСТ интегрирован в общую оптику операционного микроскопа. Это позволяет улучшить фокусировку сканирующего луча и одновременно отображать

парафокальное и коаксиальное изображение ОСТ вместе с операционным полем через окуляры микроскопа. С помощью Mi-iOCT хирург видит в режиме реального времени оперируемую зону во время выполняемого хирургического маневра без необходимости переключения между различными устройствами. Это может улучшить точность и безопасность хирургического вмешательства [125].

Впервые Mi-iOCT была применена в витреоретинальной хирургии. Работа была опубликована Toth С. в 2010 г. В ней он описал свой опыт использования ОКТ, интегрированного в стандартный операционный микроскоп. Среди других ранних прототипов - Cirrus SD-OCT (Carl Zeiss Meditec), интегрированный в хирургический микроскоп Zeiss OPMI VISU 200 и EnFocus OCT (Leica Microsystems) [125].

В настоящее время коммерчески доступны три системы. Первая - Zeiss RESCAN 700 (Carl Zeiss Meditec), которая встроена в операционный микроскоп Zeiss Lumera 700. RESCAN 700 управляется педалью микроскопа, а данные иОКТ проецируются в режиме реального времени на дисплее в окулярах микроскопа и на внешний монитор. Вторая система – это иОКТ (OPMedT GmbH) для инфракрасного микроскопа HS Hi-R NEO 900A (Haag-Streit Surgical). Это устройство также проецирует изображение иОКТ на дисплее в окулярах и внешнем мониторе. Третья система - EnFocus OCT (Leica Microsystems), который подключен к хирургическому микроскопу Leica Proveo 8. EnFocus имеет увеличенное количество шаблонов сканирования для лучшего отображения патологических тканей и выводит ОКТ-изображения на внешний монитор [125].

С момента внедрения технологии ОКТ в операционные микроскопы был опубликован ряд работ, посвященных этой теме. Однако они были относительно небольшими и ретроспективными, а их своевременность соответствовала подходу к развитию, использовавшемуся на этапе развития иОКТ. В частности, они были посвящены реальной применимости (возможность получения пригодного для использования ОКТ-изображения во

время операции) и пользы иОКТ (получение общего представления о тканях и/или влияние на хирургическую манипуляцию на основе изображения, полученного с помощью иОКТ).

Первым проспективным исследованием стало исследование PIONEER, в котором использовали ручную ММ-иОКТ, SD-ОКТ (Bioptigen, Inc, Research Triangle Park, NC) [65,84]. В настоящее время это современный Mi-иОКТ, который был предметом проспективного исследования DISCOVER [54,110,119]. Более старое исследование PIONEER (Prospective Intraoperative and Perioperative Ophthalmic ImagiNg with Optical CoherEncE TomogRaphy), проведенное в 2014 г., представляло собой 2-летнее исследование (одноцентровое, с участием нескольких хирургов, последовательное, с серией случаев), в котором оценивались удобство использования, безопасность и полезность иОКТ. Всего в исследование было включено 531 прооперированных глаз (275 операций на переднем отрезке и 256 операции на заднем). Снимки методом ОКТ были сделаны в операционной квалифицированным специалистом. Стабилизирующая рамка была специально разработана для микроскопов Leica и Zeiss и был совместим с системой непрямой визуализации Oculus BIOM, а также с контактным широкоугольным объективом. С помощью стабилизирующей рамки хирург управлял ОКТ во время получения изображения, используя X-Y-Z педаль микроскопа. При завершении операции хирург записывал характеристики изображения (тип сканирования, размер, ориентация, плотность) и отвечал на вопросы, касающиеся применимости и полезности ОКТ во время операции.

Исследование DISCOVER (Determination of Feasibility of Intraoperative Spectral Domain Microscope Combined/ Integrated OCT Visualization During En Face Retinal and Ophthalmic Surgery) велось с начала 2018 г. Это 3-х летнее проспективное исследование (одноцентровое, с участием нескольких хирургов, последовательное, с серией случаев), посвященное также применимости и полезности иОКТ в ходе операций как на переднем, так и на заднем отрезках глазного яблока. В исследование было включено в общей

сложности 837 прооперированных глаз (244 операции на переднем отрезке и 593 операции на заднем). Для проведения операций использовали три прототипа систем Mi-iOCT (Zeiss Rescan 700, Leica EnFocus и Cole Eye iOCT). Mi-iOCT контролировалась оперирующим хирургом и использовалась на определенных этапах хирургии. В конце операции хирург заполнял анкету, в которой оценивал удобство и полезность использования Mi-iOCT [59,54].

В исследовании PIONEER изображения были получены в 98 % случаев (518 глаз из 531). Исследование получило положительный отклик. Оно было признано хирургами в 48% случаев (69 из 144) при применении иОКТ на переднем отрезке и в 43% случаев (63 из 146) на заднем отрезке глазного яблока. Самыми встречающимися операциями стали задняя автоматизированная послойная кератопластика (138 операций) и витрэктомия pars plana (PPV) с удалением эпиретинальной мембраны (ЭРМ) (154 операции). Среднее время, необходимое для прерывания операции для получения изображения, полученного с помощью иОКТ, составило 4,9 минуты. В ходе исследования побочных эффектов иОКТ во время хирургических манипуляций не было зарегистрировано [84,64,65].

В исследовании DISCOVER изображение также было получено в 98% (821 глаз из 837). Хирурги оценили информацию, полученную с помощью Mi-iOCT, как полезную в 43,4% (106 из 244) случаев на переднем отрезке и в 29,2% (173 из 593) случаев на заднем отрезке глазного яблока. В 19% случаев изображение Mi-iOCT не соответствовало первоначальному впечатлению хирурга при просмотре операционного поля через оптику микроскопа [54].

Наиболее распространенной процедурой на переднем отрезке была задняя автоматизированная послойная кератопластика ($n = 123$) и трансплантация Десцеметовой мембраны (ДМ) с эндотелием ($n = 60$), а в заднем отрезке PPV с пилингом ЭРМ ($n = 121$), регматогенная отслойка сетчатки ($n = 120$) и макулярное отверстие ($n = 77$) [126,86]. При проведении операций на переднем отрезке глаза не было отмечено нарушений хирургического процесса. В случае операций на заднем сегменте Mi-iOCT

нарушила и отсрочила ход операции лишь в 6% случаев ($n = 37$), наиболее частой причиной был сбой программного обеспечения микроскопа, требующий перезапуска системы. Несмотря на затягивание операции, никаких побочных эффектов отмечено не было.

Используя иОКТ в ходе хирургии катаракты можно провести оценку морфологии разреза роговицы, состояния задней капсулы и положения хрусталика в мешке, а также оценить ПГ. Fram et al. в своем исследовании сосредоточились на измерении глубины передней камеры и оценке положения ЗКХ. Авторы обнаружили, что расчет диоптрийности ИОЛ на основе иОКТ был более точным, чем предоперационный метрический расчет [67].

Интеграция ОКТ в операционный микроскоп открывает возможность визуализации пространства Бергера в режиме реального времени. M. Tassignon и S. Dhubhghaill первые предоставили результаты применения иОКТ, встроенной в микроскоп Lumera – Rescan 700 от Carl Zeiss, визуализировав пространство Бергера и связку Вигера [118]. Операция была выполнена с использованием метода факоэмульсификации "разделяй и властвуй". Как только были удалены кортикальные массы, передняя камера была заполнена вискоэластиком для стабилизации капсулы и выполнения заднего капсулорексиса, для обеспечения доступа к пространству Бергера в каждом случае [45]. Скорость сканирования иОКТ составила 27 000 А-сканов в секунду, сканирование проводилось периодически во время операции. Три пациента были обследованы с помощью иОКТ. У первого пациента после экстракции катаракты наблюдалось большое пространство Бергера с визуализацией ПГ. Периферическое расстояние между ЗКХ и ПГ было чрезвычайно большим, что свидетельствовало о нарушении целостности связки Вигера. У второго пациента после удаления кортикальных масс визуализировалась небольшая область между ЗКХ и ПГ, соответствующая пространству Бергера, ограниченная связкой Вигера. Подобную структуру авторы наблюдали и у третьего пациента. Во время имплантации ИОЛ было

замечено, что ПГ оставался все еще прикрепленным к ЗКХ благодаря связке Вигера [118].

Naeussler-Sinangin Y. с соавт. в 2016 г. с помощью 3D SD-ОСТ получали данные о размерах пространства Бергера у пациентов сразу после проведенной ФЭК с имплантацией ИОЛ на операционном столе. Анализ проводился с целью оценки возможности проведения задней капсулотомии с помощью фемтосекундного лазера в условиях операционной, обеспечивая при этом сохранность ПГ СТ. В исследование вошли 165 планово прооперированных глаз. В 155 глазах было визуализировано пространство Бергера и проанализированы его размеры. В 72% случаев пространство Бергера было достаточно большим (в пределах 800 мкм), а в 15,5% случаев варьировало (400 мкм и более). Результаты проведенного исследования не соответствуют традиционным данным о величине пространства Бергера в норме. Но благодаря SD-ОСТ в режиме реального времени стало возможным напрямую визуализировать ретролентальное пространство интраоперационно и оценивать его размеры после ФЭК [103].

Lin W. и соавт. в 2022 г. в своей работе изучили влияние ФЭК с имплантацией ИОЛ на пространство Бергера. Исследовали его при помощи щелевой лампы и AS-ОСТ до и через 1 месяц после операции. Для интраоперационного наблюдения использовали SD-ОСТ. Всего было прооперировано 119 глаз. До операции пространство Бергера было выявлено только в 4 глазах (3,4%), интраоперационно – в 47 глазах (39,5%), а хрусталиковый детрит наблюдался в 20 глазах (16,8%). Через месяц после операции пространство Бергера визуализировалось в 33 глазах (27,7%), из них в 16 глазах (13,4%) по-прежнему просматривался хрусталиковый детрит. Имелись значительные различия в частоте выявления пространства Бергера между интраоперационной и предоперационной группами ($P < 0,001$). Разница в частоте обнаружения пространства после операции по сравнению с интраоперационной была статистически значимой ($P = 0,001$), в то время как разница в частоте обнаружения частиц хрусталикового детрита не была

статистически значимой ($P > 0,05$). Интраоперационная и послеоперационная ширина изучаемого пространства составила в среднем 160,3 мкм и 106,8 мкм, соответственно, разница была статистически значимой ($P = 0,023$). Частота выявления пространства Бергера и хрусталикового детрита у пациентов с нарушением ЦС [60,7% (17/28) и 42,9% (12/28)] была значительно выше, чем у пациентов без этого фактора риска [33,0% (30/91) и 8,8% (8/91)]. По мнению авторов, основными факторами риска структурных изменений пространства Бергера интраоперационно является изменение зонулярных волокон. ФЭК может повреждать нормальное анатомическое строение пространства Бергера, что приводит к интраоперационному попаданию жидкости и твердых частиц в пространство Бергера [57].

В настоящее время качество изображений иОКТ на экране достаточно приемлемое, но все же значительно уступает качеству изображений, получаемых с отдельных приборов, используемых для офтальмологической диагностики. Улучшение качества изображений иОКТ может быть достигнуто за счет увеличения интенсивности используемого излучения, но оно не должно превышать предел фототоксичности для сетчатки (по данным ANSI - Американского национального института стандартов, в настоящее время предел максимальной экспозиции составляет 700 мкВт непрерывного излучения в спектре 800-900 нм через зрачок диаметром 7,0 мм в течение 8 часов). Также необходимо учитывать токсичность используемых тканевых красителей во время операций, дополнительное влияние света микроскопа и эндоиллюминатора. Таким образом, улучшение качества иОКТ-изображений в настоящее время заключается в основном в снижении потерь сигнала при прохождении через оптическую систему микроскопа [122].

Поскольку ОКТ произвела революцию в диагностике офтальмологических заболеваний, иОКТ потенциально также может стать переломной технологией. Преимущество данного метода – новые возможности обзора операционного поля, что позволяет более точно выполнять хирургические манипуляции, а также может изменить процесс

принятия решений хирургом во время операции. Относительным недостатком является высокая стоимость устройства. Однако можно предположить, что дальнейшее распространение этой технологии приведет к снижению цен, и Mi-iOCT станет популярной опцией в течение короткого времени. Несмотря на относительно большое количество небольших ретроспективных исследований и 2 крупных проспективных исследования, необходимо проведение дальнейших многоцентровых исследований иОКТ для демонстрации клинических преимуществ этой технологии [60,81].

1.3. Интраоперационные осложнения хирургии катаракты; синдром интраоперационной девиации ирригационного потока: клинические признаки, методы профилактики

Одной из ведущих причин нарушений зрения во всем мире является катаракта. На сегодняшний день по данным Всемирной Организации Здравоохранения (ВОЗ) 65 млн. человек имеют нарушения зрительной функции различной степени выраженности [3,74]. Помутнение хрусталика наблюдается у каждого шестого пациента в возрасте старше 40 лет, а среди людей старше 80 лет – практически у каждого [22]. Известно, что в России количество пациентов с диагностированным помутнением хрусталика соответствует 1 млн. 750 тыс. человек, а заболеваемость катарактой на 100 тыс. населения составляет 1200 человек [2].

В современной практике ультразвуковая ФЭК считается одним из наиболее эффективных методов лечения катаракты. Этот метод характеризуется небольшими рисками интра- и послеоперационных осложнений, а также обеспечивает быстрый реабилитационный период. Однако, не исключены и осложнения, которые могут повлиять на результаты операции и требовать дополнительного вмешательства или увеличенного периода восстановления [7].

Наиболее часто встречающиеся интраоперационные осложнения катаракты – повреждение ЗКХ с или без выхода СТ в переднюю камеру, разрыв ЦС, дислокация хрусталика или его фрагментов в СТ [107], синдром интраоперационной девиации ирригационных потоков (СИДИП), «синдром трепещущей радужки» (Intraoperative floppy iris syndrome - IFIS) [43]. Согласно литературным данным, частота возникновения IFIS варьирует от 2% до 12,6% [31,130]. В процессе хирургии катаракты могут возникать и другие осложнения, такие как кровотечение из сосудов радужки, повреждение ДМ роговицы, супрахориоидальный выпот, экспульсивное кровотечение и др. Однако процент таких осложнений обычно невелик и в сумме не превышает 0,7% [93].

Сохранность анатомического строения ЦС и структур ВЛИ является залогом успешного проведения ФЭК и предотвращения интраоперационных осложнений. Нарушение вышеперечисленных структур приводит к патологическому движению ирригационных потоков в ходе хирургии, что служит фактором, провоцирующим развитие СИДИП и последующих осложнений. СИДИП заключается в прохождении ирригационных потоков сквозь нарушенную зонулярную связку в пространство Бергера, что приводит к полной или частичной отслойке ПГ СТ от ЗКХ и повышенной подвижности последней, увеличивая риск контакта с УЗ-иглой и последующего разрыва. Также может возникать гидратация СТ и миграция частиц хрусталика ретролентальное пространство [29]. Впервые данный факт был описан в 1993 г. доктором R. Maskool [87].

Проведенное в 2018 г. ретроспективное и проспективное исследование, осуществленное Кашперской Д.В. и соавт., оценивало истории болезней пациентов, прошедших операцию по ФЭК с имплантацией ИОЛ с 2015 по 2017 гг. Общее количество проанализированных историй составило 627. Исследование учитывало опыт хирургов, авторы разделили их на три группы: начинающие хирурги с опытом работы от 1 до 3 лет и количеством проведенных операций менее 200, хирурги со средним опытом работы от 3 до

6 лет и количеством проведенных операций от 200 до 1000, хирурги с большим опытом работы более 6 лет и более чем 1000 операций на счету. Среди факторов риска были псевдоэкзофолиативный синдром (ПЭС), ригидный зрачок, зрелая и перезрелая катаракта, подвывих хрусталика 1–2 степени, а также миопия или гиперметропия высокой степени. Интраоперационные осложнения наблюдались в 3,8% случаев. Наиболее частым осложнением оказался разрыв ЗКХ с выходом СТ в переднюю камеру в 46,2% случаев, который повлек за собой переднюю витрэктомию. Разрыв ЗКХ без выхода СТ наблюдали в 23% случаев. В одном случае визуализирован разрыв ЗКХ с дислокацией фрагмента ядра в СТ, что потребовало проведения задней витрэктомии. Также была зарегистрирована отслойка ДМ роговицы в одном случае. Нарушение целостности корня радужки под основным хирургическим доступом и кровотечение из ее сосудов наблюдали также у одного пациента. В 46,2 % случаев осложнения возникали у первой группы хирургов, в 38,5 % у хирургов третьей группы (с большим опытом) и лишь в 15,3 % случаев у хирургов второй группы. Результаты исследования указывают на различия в частоте осложнений в зависимости от опыта хирурга. Менее опытные специалисты чаще сталкиваются с осложнениями, вероятно, из-за их недостаточного опыта и навыков в управлении нестандартными ситуациями во время операции. Однако более опытные хирурги могут встречаться с более сложными случаями, что также повышает риск осложнений. Авторы предлагают создание модели, которая учитывала бы индивидуальные факторы риска каждого пациента, чтобы прогнозировать вероятность осложнений и эффективно планировать оперативное вмешательство [7].

Nashemi H. и соавт. в 2016 г. провели ретроспективное исследование, использовав 8727 карт пациентов, которым была проведена ФЭК с имплантацией ИОЛ в период с 2006 по 2010 гг. в хирургических центрах Ирана. Были выявлены такие интраоперационные осложнения, как разрыв задней капсулы, ретробульбарное кровоизлияние, супрахороидальное выпот/кровоизлияние, падение ИОЛ и выпадение хрусталиковых масс в СТ.

Общая распространенность интраоперационных осложнений составила 4,15%, с тенденцией к снижению с 7% в 2006 году до примерно 3% в 2010 году. В исследовании наиболее распространенным осложнением стал разрыв ЗКХ с выходом СТ в переднюю камеру (2,86 %). По данным других исследований, распространенность данного осложнения значительно варьирует от 1,92% в Великобритании до 7% в Турции [108]. Распространенность разрыва ЗКХ без выхода СТ в переднюю камеру в данном исследовании составила 0,69%. В других исследованиях сообщалось о различных показателях, варьирующих от 0,45 до 7,2% [46,79]. Greenberg P и соавт. сообщили о распространенности в США осложнений хирургии катаракты в 3,8% в период с 2005 по 2007 год [42,102]. Операции, проведенные хирургами с небольшим опытом работы, имели значительно более высокий уровень осложнений и наоборот. Интраоперационных осложнений было меньше, если операции выполнялись хирургами с большим опытом [49,77].

По данным Sh. Kawasaki и соавт. разрушение структур ВЛИ во время хирургического лечения катаракты происходит из-за высоких колебаний ВГД [56,75]. В эксперименте на изолированных глазах свиньи авторы доказали этот факт, применяя контрастное вещество для оценки распространения потоков жидкости. Также упоминалось применение тяжелых ВЭ и их непосредственное участие в дестабилизации структур ВЛИ.

В наши дни не существует общепринятой терминологии, которая характеризует развитие схожих интраоперационных состояний в ходе ФЭК [6]. СИДИП может быть описан различными терминами, некоторые из возможных включают: infusion misdirection syndrome [87], aqueous misdirection syndrome [69], acute intraoperative rock-hard eye syndrome [25], positive pressure [44] ciliovitreal block, ciliary block, intraoperative fluid misdirection syndrome, subcapsular fluid entrapment [96].

Очевидно, что развитию СИДИП способствует не только отслойка ПГ СТ, но и увеличение проницаемости связочного аппарата хрусталика. С помощью иОКТ Анисимовой Н.С. и соавт. было продемонстрировано

нарушение целостности связки Вигера, попадание хрусталиковых масс и суспензии триамцинолона в ретролентальное пространство. Авторы также отмечают, что разрыв связки Вигера может вызвать повышенную гидратацию пространства Бергера во время ультразвуковой ФЭК и смещение ЗКХ к переднему капсулорексису. Куполообразный контур ЗКХ, выпячивающийся в сторону роговицы повышает риск контакта с ультразвуковой иглой (УЗ-иглой) и других хирургических инструментов с капсулой и может приводить к ее разрыву. Представленные данные говорят о несостоятельности связки Вигера в 71% случаев в группе из 28 пациентов [29].

В 2004 г. Ang A. и соавт. проведено исследование, в которое вошли 506 прооперированных глаз с неосложненной катарактой. Авторы отметили наличие хрусталиковых масс за ЗКХ в 16,6% случаев и определили взаимосвязь между частотой встречаемости данного явления с более высоким значением EPT (Equivalent Phaco Time) и большей плотностью катаракты [106]. A.W. Kam A. и соавт. в 2016 г. проанализировали 767 глаз, после ФЭК и выявили гиперрефлективный материал в пространстве Бергера в 46,5% случаев. В 2-х случаях наличие хрусталиковых масс в передних отделах СТ было подтверждено гистологически. Авторы считают, что возраст пациента и степень плотности катаракты являются основными факторами, влияющими на частоту встречаемости хрусталиковых масс в ретролентальном пространстве [88]. В 2020 г. Потёмкин В.В. и соавт., анализируя результаты ФЭК при ПЭС, отмечал наличие хрусталикового детрита в пространстве Бергера при неосложненной хирургии катаракты у 16,9% пациентов с ПЭС и у 6% пациентов без данного сопутствующего патологического состояния [16]. Авторы расценивают наличие хрусталикового детрита в пространстве Бергера при целостном капсульном мешке, как маркер слабости связочного аппарата хрусталика. Шиловских О.В. с соавт. в 2020 г. при обнаружении хрусталиковых масс в пространстве Бергера, предложили заполнять капсульный мешок когезивным вискоэластиком и выполнять капсулорексис, через который следует аспирировать жидкость с хрусталиковыми массами при

помощи канюли [23]. Ребриков И.С. и соавт. в 2023 г. провели исследование в которое были включены две группы пациентов, прооперированных по поводу катаракты. Первая группа (50 глаз) пациенты с осложненной катарактой, ПЭС и диаметром зрачка при медикаментозном мидриазе менее 6 мм. Вторая контрольная группа (50 глаз) – пациенты с сенильной катарактой, без ПЭС и с диаметром зрачка при медикаментозном мидриазе более 6 мм. Хрусталиковый детрит в ретролентальном пространстве, как основное проявление СИДИП, авторами был обнаружен у 18% пациентов с ПЭС и 6% пациентов без данного патологического состояния [15]. Сочетание ПЭС с диаметром зрачка менее 6 мм в условиях медикаментозного мидриаза является неблагоприятным прогностическим фактором развития СИДИП по мнению авторов.

В 2017 г. группа исследователей изучили 55 научных статей, что были опубликованы с 1951 по 2016 гг., посвященных СИДИП, патофизиология которого определялась неадекватным движением BSS через зонулярную связку. Авторы предложили использовать термин «острый синдром неправильного направления жидкости» для описания каскада событий во время хирургии катаракты. Следует отметить, что данный синдром развивается крайне редко, сопровождаясь резким увеличением ВГД за счет избыточной гидратации СТ и смещения иридо-хрусталиковой диафрагмы кпереди, без признаков хориоидальной эффузии или экспульсивной геморрагии [87].

Для профилактики СИДИП может быть полезным применение так называемой «триаксиальной» методики ФЭК. Этот метод предусматривает постоянную подачу ирригационного потока через дополнительную канюлю, введенную через парацентез и соединенную с независимым ирригационным контуром, помимо основных разделенных ирригационных и аспирационных потоков [23].

ГЛАВА 2. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Диссертационная работа состоит из комплекса математических, экспериментальных и клинических исследований.

На первом этапе определяли последовательность применения иОКТ при ФЭК с имплантацией ИОЛ для оценки структур переднего отрезка глаза.

На втором этапе проводили математическое моделирование с определением закономерностей гидродинамики и взаимодействия ирригационного потока с ВЛИ во время ультразвуковой ФЭК, при целостном и нарушенном связочном аппарате хрусталика. Возможности проникновения ирригационной жидкости сквозь ЦС в пространство Бергера при различной степени сохранности связочного аппарата и наличии вязкого защитного слоя - вискоэластика. Далее была проведена попытка экспериментального моделирования СИДИП на энуклеированных свиных глазах с оценкой строения ВЛИ при помощи иОКТ во время ФЭК и гистологического исследования.

По результатам математического моделирования, на третьем этапе, был предложен хирургический метод, названный «Вискоблок». Полученные в ходе исследования данные были внедрены в клиническую практику. Пациентам с диагнозом осложненная катаракта проводилась операция по предложенному хирургическому методу. Все исследования были осуществлены под руководством и непосредственным участием д.м.н., проф., чл.-корр. РАН Малюгиным Б.Э.

2.1. Материалы и методы математического моделирования

Математическое моделирование было выполнено на базе Вычислительного центра ФГАУ «НМИЦ «МНТК «Микрохирургия глаза» им. акад. С.Н. Федорова» Минздрава России совместно с заведующим центром к.т.н. Бессарабовым А.Н.

Гистологическое изучение структур ВЛИ было выполнено на базе Лаборатории патологической анатомии и гистологии глаза ФГАУ «НМИЦ «МНТК «Микрохирургия глаза» им. акад. С.Н. Федорова» Минздрава России совместно с заведующей лабораторией к.м.н. Шацких А.В. Отработана экспериментальная модель синдрома интраоперационной девиации ирригационного потока и проведена оценка состояния ВЛИ с помощью иОКТ на энуклеированных свиных глазах при ФЭК.

2.2. Дизайн исследования

Данное исследование представляет собой сравнительную проспективную рандомизированную работу, направленную на разработку, оценку выполнения и последующее клинико-функциональное обоснование эффективности метода хирургии катаракты, который обеспечивает профилактику СИДИП, при помощи встроенной в микроскоп иОКТ. Также проведено исследование по изучению диагностических возможностей иОКТ. Дизайн исследования представлен в Таблице 1.

Таблица 1 - Дизайн исследования

Клинико-функциональное исследование	
Изучение иОКТ и определение последовательности оценки структур переднего отрезка глаза при помощи иОКТ во время ультразвуковой ФЭК, n=50	Группа исследования №1 – изучение диагностических возможностей иОКТ в ходе ультразвуковой ФЭК с имплантацией акриловой ИОЛ (50 пациентов, 50 глаз)

Анализ клинико-функциональных результатов хирургического лечения пациентов с осложненной катарактой, n=50	Группа №2 А (основная) – пациенты с диагнозом осложненная катаракта, прооперированные по модифицированной методике ультразвуковой ФЭК с имплантацией акриловой ИОЛ (25 пациентов, 25 глаз)
	Группа №2 Б (контрольная) – пациенты с диагнозом осложненная катаракта, прооперированные по классической методике ультразвуковой ФЭК с имплантацией акриловой ИОЛ (25 пациентов, 25 глаз)

2.3. Материалы клинико-функциональных исследований

Исследование основано на изучении возможностей применения иОКТ при ФЭК с имплантацией ИОЛ в которое вошло 50 пациентов (50 глаз) - группа №1 исследования. А также анализе клинико-функциональных исследований и хирургического лечения, в которое вошло 50 пациентов (50 глаз) с диагнозом осложненная катаракта – группа №2. Вторая группа была разделена на две части: основную (группа №2 А) и контрольную (группа №2 Б). Все пациенты, которые вошли в исследование, обратились в головную организацию ФГАУ «НМИЦ «МНТК «Микрохирургия глаза» и МНТК «Микрохирургия глаза» им. акад. С.Н. Федорова» Минздрава РФ с жалобами на снижение остроты зрения. Важно отметить, что все операции выполнялись одним хирургом, проф. Малюгиным Б.Э. Автором исследования был также

проведен сбор данных о жалобах, анамнезе и результатов до- и послеоперационных обследований.

Критериями включения пациентов в группу №2 для дальнейшего исследования были: средняя переднезадняя ось (ПЗО) глазного яблока, наличие катаракты, осложненной ПЭС 1-2 степени, плотность ядра хрусталика 2-3 степени, подвывих хрусталика 1-2 степени, а именно наличие по данным ультразвуковой биомикроскопии (УБМ) дефекта в 3-4 исследуемых участках (на 12, 3, 6 и 9 часах) - частичный или полный отрыв задней порции волокон зонулярной связки, передняя и средняя порции оставались сохранены; наличие по данным ОКТ SOLIX (Optovue, США) плотной адгезия ПГ к ЗКХ на всем протяжении.

Критериями исключения были: подвывих хрусталика 3 степени, плотность ядра хрусталика 4-5 степени, миопия и гиперметропия средней и высокой степени, отслойка сетчатки, дистрофии роговицы, онкологические заболевания, глаукома, пациенты с отслойкой ПГ, зафиксированной перед хирургическим лечением.

С учетом критериев включения в исследование, все пациенты были распределены на две группы: группу №2 А (основную), в которую вошли пациенты с осложненной катарактой, прооперированные по модифицированному методу ультразвуковой ФЭК с имплантацией ИОЛ в капсульный мешок (25 пациентов, 25 глаз); и группу №2 Б (контрольную), в которую вошли пациенты с осложненной катарактой, прооперированные по стандартной методике ультразвуковой ФЭК с имплантацией ИОЛ в капсульный мешок (25 пациентов, 25 глаз).

2.4. Характеристика пациентов группы исследования №1

В группу исследования №1 вошли 50 пациентов (50 глаз), у которых при проведении ультразвуковой ФЭК с имплантацией ИОЛ в капсульный мешок, использовалась иОКТ для изучения диагностических возможностей, а также

определения последовательности применения для оценки структур переднего отрезка глаза. Данные о распределении пациентов по возрасту и полу в группе №1 приведены в Таблице 2.

Таблица 2 - Характеристика пациентов по половому и возрастному составу в группе исследования №1

Параметр	Показатели
Пациенты (глаза)	50 (50)
Возраст, лет М±SD	70±9,8
Пол, муж/жен	19/31

2.5. Характеристика пациентов группы №2 А

Группа №2 А (основная) состояла из 25 пациентов (25 глаз). В этой группе применялся модифицированный метод ультразвуковой ФЭК с имплантацией ИОЛ в капсульный мешок. Данные о распределении пациентов по возрасту и полу в группе №2 А приведены в Таблице 3.

Таблица 3 - Характеристика пациентов по половому и возрастному составу в группе №2 А (основной)

Параметр	Показатели
Пациенты (глаза)	25 (25)
Возраст, лет М±SD	71,9±10,5
Пол, муж/жен	9 / 16

2.6. Характеристика пациентов группы №2 Б

Группа №2 Б (контрольная) состояла из 25 пациентов (25 глаз). В этой группе применялся стандартный метод ультразвуковой ФЭК с имплантацией ИОЛ в капсульный мешок. Данные о распределении пациентов по возрасту и полу в группе №2 Б приведены в Таблице 4.

Таблица 4 - Характеристика пациентов по половому и возрастному составу в группе №2 Б (контрольной)

Параметр	Показатели
Пациенты (глаза)	25 (25)
Возраст, лет M±SD	68,6±9,4
Пол, муж/жен	10 / 15

2.7. Методы клинико-функциональных исследований

Всем пациентам, включенным в исследование, было проведено комплексное клинико-функциональное обследование. Помимо стандартных методов исследования (биомикроскопия, визометрия, авторефрактометрия, тонометрия, кератотопография, периметрия, офтальмоскопия, ультразвуковое В-сканирование) применяли и дополнительные методы исследования: УБМ и ОКТ переднего отрезка глаза. Во время хирургии катаракты применялось и ОКТ.

Стандартные методы исследования:

1. **Биомикроскопию переднего отрезка глаза** выполняли с помощью щелевой лампы SL-30 «Opton» (Германия). Первично проводили оценку придаточного аппарата глаза (век, ресниц), состояния тарзальной и бульбарной конъюнктивы. Учитывая наличие нативного хрусталика, оценивали степень его прозрачности, а также сопутствующие заболевания, такие как псевдоэксфолиативный синдром и подвывих хрусталика 1-2 степени;
2. **Визометрию** выполняли без коррекции и с максимальной очковой коррекцией с помощью фороптора Huvitz CDR-3100 (Германия) и проектора оптопов Торсон АСР-5 (Япония). Визометрию выполняли в дооперационном периоде, 1 месяц и 3 месяца после операции;
3. **Авторефрактометрию** выполняли в естественных условиях на

аппарате RC-5000 «Tomey» (Япония) с погрешностью $\pm 0,25$ дптр;

4. **Тонометрию** выполняли на пневмотонометре Торсон (Япония);

5. **Кератотопографию** осуществляли при помощи автоматизированного кератотопографа TMS-4 «Tomey» (Япония);

6. **Периметрию** выполняли на проекционном периметре АППЗ-01 (Россия) по общепринятой методике с применением объектов белого цвета разной величины и яркости, которые зависят от остроты зрения пациента;

7. **Офтальмоскопию** выполняли при помощи асферической линзы с оптической силой 78 дптр «MaxField» (Ocular, США). Осмотру подвергали макулярную зону, диск зрительного нерва, оценивали его цвет, границы, величину экскавации, среднюю и крайнюю периферию при возможности визуализации через непрозрачные среды, а также ход и калибр сосудов сетчатки;

8. **Ультразвуковое В-сканирование** выполняли на аппарате UD-6000 (Tomey, Япония). В ходе исследования исключали наличие внутриглазных новообразований, отслойки сетчатки и гемофтальма;

9. **Степень плотности хрусталика** определяли, используя одну из наиболее широко применяемых классификаций LOCS III (Lens Opacities Classification System III) [120]. Классификация состоит из 6 изображений различной окраски ядра хрусталика (nuclear color – NC; 0,1-6,9), помутнений ядра хрусталика (nuclear opalescence – NO; 0,1-6,9), которые можно визуализировать во время выполнения биомикроскопии, 5 изображений помутнений кортикальных слоев (cortical opacity – C; 0,1-5,9) и задних субкапсулярных (subcapsular opacity – P; 0,1-5,9), которые можно наблюдать при проведении ретроиллюминации;

10. **Расчет ИОЛ** выполняли с использованием IOL Master 700 (Carl Zeiss, Meditec, США). Для расчета ИОЛ использовалась формула - Barrett Universal II Formula.

Дополнительные методы исследования:

1. **УБМ** выполняли прибором Aviso (Quantel Medical, Франция) для оценки целостности ЦС на 12, 3, 6 и 9 часах в дооперационном периоде;

2. **Оптическую когерентную томографию** осуществляли с применением спектрального томографа SOLIX (Optovue, США) в режиме «FullRange AC». Параметры прибора: частота сканирования - 120 000 А-сканов в секунду; размер зоны сканирования в аксиальном направлении - 6,25 мм; продольное оптическое разрешение – 5 мкм. Исследование проводили на всех сроках наблюдения за пациентом. В до- и послеоперационном периоде для визуализации ПГ и пространства Бергера на фоне медикаментозного мидриаза после инстилляций 1% р-ра фенилэфрина. Также в послеоперационном периоде проводили оценку расстояния «ЗКХ-ПГ» в 3-х точках. По центру за ИОЛ и отступая по 3 мм вправо и влево от центральной точки.

3. **Интраоперационную оптическую когерентную томографию** осуществляли при помощи системы Zeiss RESCAN 700, которая встроена в операционный микроскоп Zeiss Lumera 700 (Carl Zeiss, Германия).

Результаты всех клинико-функциональных исследований заносили в сводные таблицы программы Excel пакета Microsoft Office 2016.

2.8. Методы статистических исследований

Результаты исследований были подвергнуты статистическому анализу с использованием программного обеспечения Prisma версии 9.1.0. Для оценки полученных данных были применены методы параметрической и непараметрической описательной статистики, включая определение медианы (Me) и стандартного отклонения ($M \pm SD$). Статистическую значимость между группами была оценена с использованием t-критерия для зависимых выборок. Различия сравниваемых показателей принимали достоверными при уровне значимости $p < 0,05$.

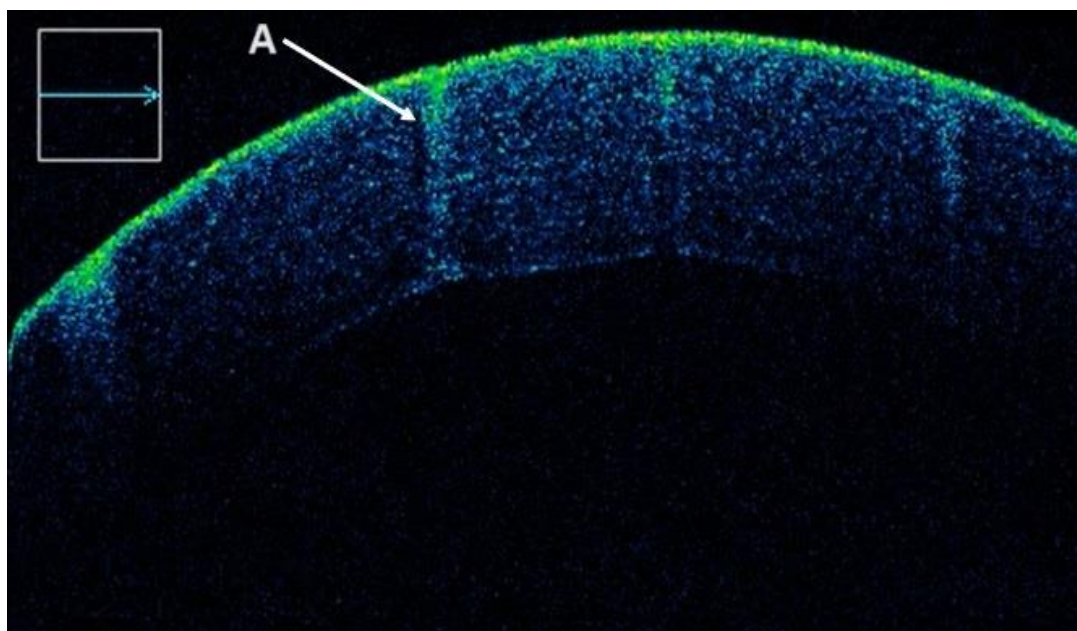
ГЛАВА 3. ДИАГНОСТИЧЕСКИЕ ВОЗМОЖНОСТИ иОКТ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ДЛЯ ОЦЕНКИ СТРУКТУР ПЕРЕДНЕГО ОТРЕЗКА ГЛАЗА ВО ВРЕМЯ ФАКОЭМУЛЬСИФИКАЦИИ КАТАРАКТЫ

Целью данной главы явилось исследование диагностических возможностей и определение последовательности применения системы иОКТ, встроенной в операционный микроскоп, для оценки структур переднего отрезка глаза во время ультразвуковой ФЭК с имплантацией ИОЛ, а также систематизация интраоперационных клинических результатов.

3.1. Последовательность применения иОКТ при ультразвуковой факоэмульсификации катаракты с имплантацией ИОЛ

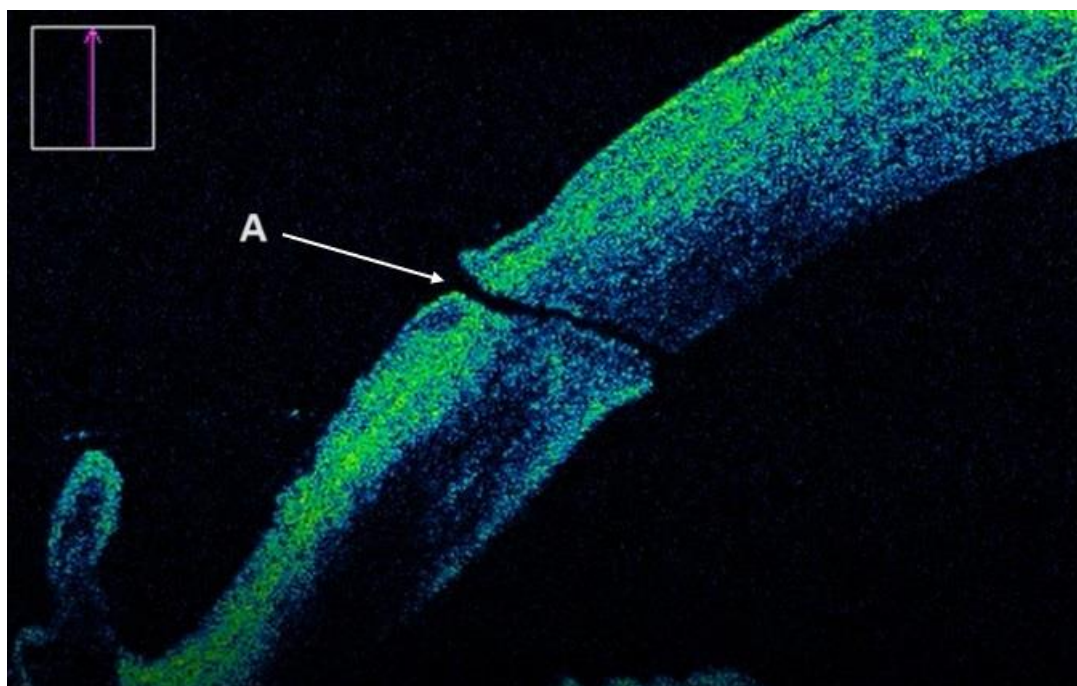
1. Интраоперационная оптическая когерентная томография роговицы.

На первых этапах хирургического лечения катаракты при активации иОКТ визуализируется роговица. Первым оценивается эпителий (его равномерность), а далее глубжележащие слои роговицы (толщина и их сохранность). При помощи иОКТ проводится оценка состоятельности и глубины залегания рубцов (Рисунок 1), клапана, а также определяется граница между слоями донорского материала и собственной тканью глаза у пациентов, что ранее перенесли хирургические вмешательства на роговице, такие как кератопластика и кераторефракционные операции. Это дает возможность хирургу выбрать более удобный и бережный доступ для дальнейших манипуляций. Далее – визуализация основного разреза и парацентезов, а именно их глубина и продолжительность (Рисунок 2). По окончании хирургического лечения проводится оценка гидратации хирургических доступов, а также прилегание ДМ на всем протяжении.



A – состоятельный кератотомический рубец

Рисунок 1 - иОКТ-сканирование роговицы



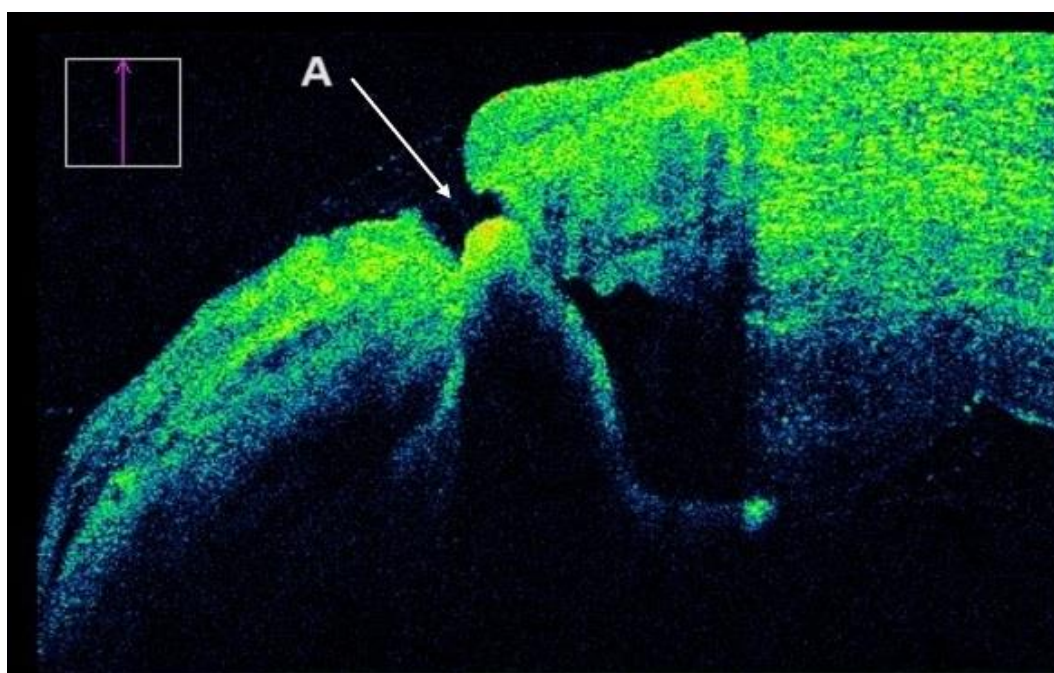
A – хирургический доступ (парацентез)

Рисунок 2 - иОКТ-сканирование роговицы

2. Интраоперационная оптическая когерентная томография передней камеры и радужной оболочки.

Проводится оценка глубины передней камеры, размера угла передней камеры и наличия иридокорнеальных спаек. У пациентов, что ранее перенесли

проникающую антиглаукомную хирургию, визуализируется расположение шунта в передней камере. При исследовании радужной оболочки уделяется внимание её толщине, а также профилю. У пациентов после лазерных антиглаукомных операций просматриваются колобомы, которые при помощи иОКТ анализируются на состоятельность (проходят ли они через всю толщину радужки или только через ее часть). По завершению хирургии катаракты, иОКТ позволяет исключить ущемление радужной оболочки в хирургических доступах, это особенно важно при сниженной визуализации (Рисунок 3).

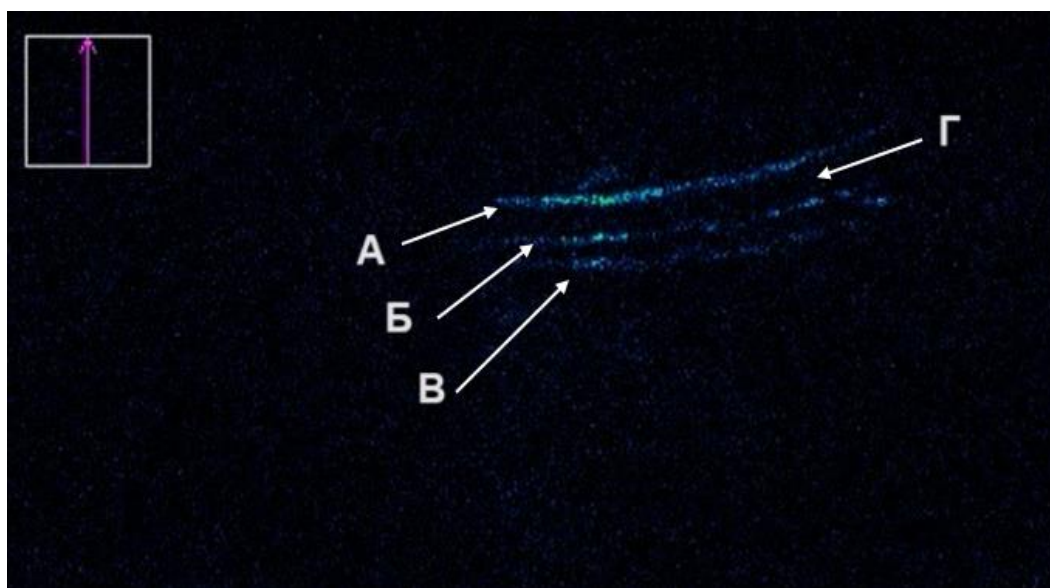


А - радужная оболочка, ущемленная в хирургическом доступе (парацентезе)
Рисунок 3 - иОКТ-сканирование радужной оболочки

3. Интраоперационная оптическая когерентная томография хрусталика и его капсулы.

На этом этапе иОКТ помогает визуализировать наличие задних синехий. Далее в момент гидродиссекции хирург оценивает, где прошла волна жидкости (Рисунок 4), что помогает в проведении следующих этапов фактоэмульсификации. При возникновении признаков СИДИП с помощью иОКТ производится контроль движения ЗКХ, исключение пролабирования ее

в передний капсулорексис (Рисунок 5). В случае контакта УЗ-иглы с ЗКХ в момент избыточной экскурсии последней на финальном этапе удаления ядра хрусталика и возникновения нарушения целостности ЗКХ (Рисунок 6), оценивается размер её дефекта и возможный выход ПГ (Рисунок 7). После имплантации ИОЛ в капсульный мешок, визуализируется её положение между листками капсулы (Рисунок 8). При других видах имплантации или же подшивании ИОЛ, также оценивается её центрация и правильная установка.



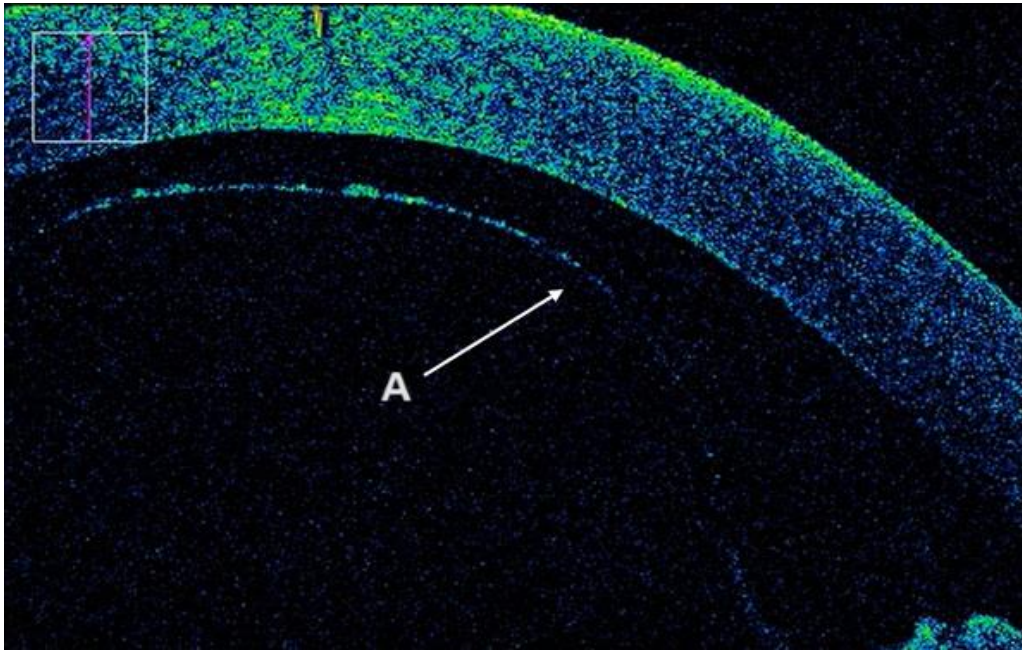
А – ядро хрусталика

Б – кортикальные массы хрусталика

В – ЗКХ

Г – волна гидродиссекции

Рисунок 4 - иОКТ-сканирование хрусталика во время гидродиссекции



А – ЗКХ, пролабирующая через передний капсулорексис, при измельчении передней камеры глаза

Рисунок 5 - иОКТ-сканирование капсульного мешка после удаления кортикальных масс

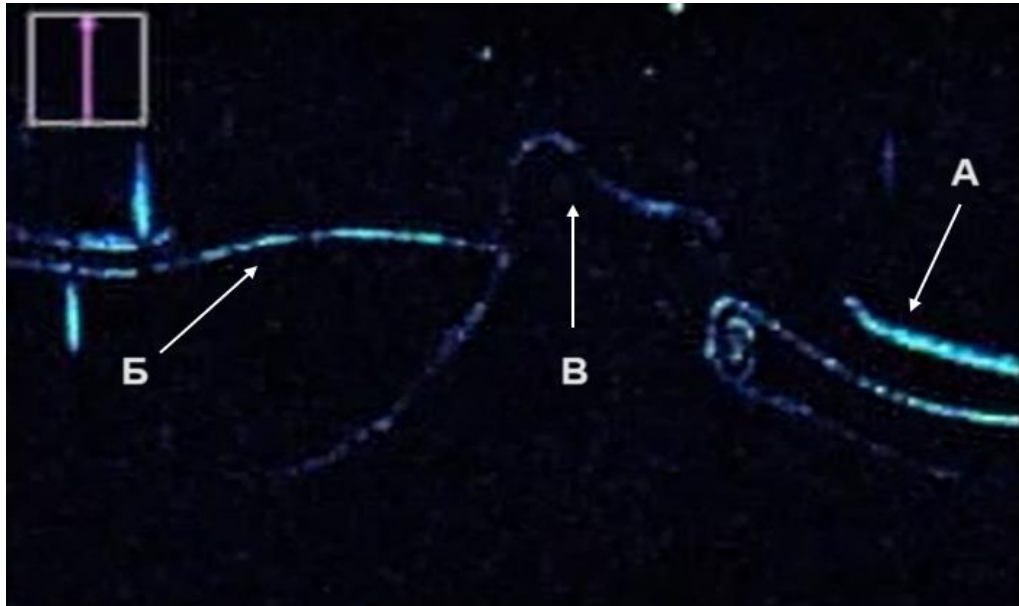


А – край ПКХ (после капсулорексиса)

Б – край ЗКХ (при нарушении целостности)

В – ПГ

Рисунок 6 - иОКТ-сканирование капсульного мешка после удаления кортикальных масс

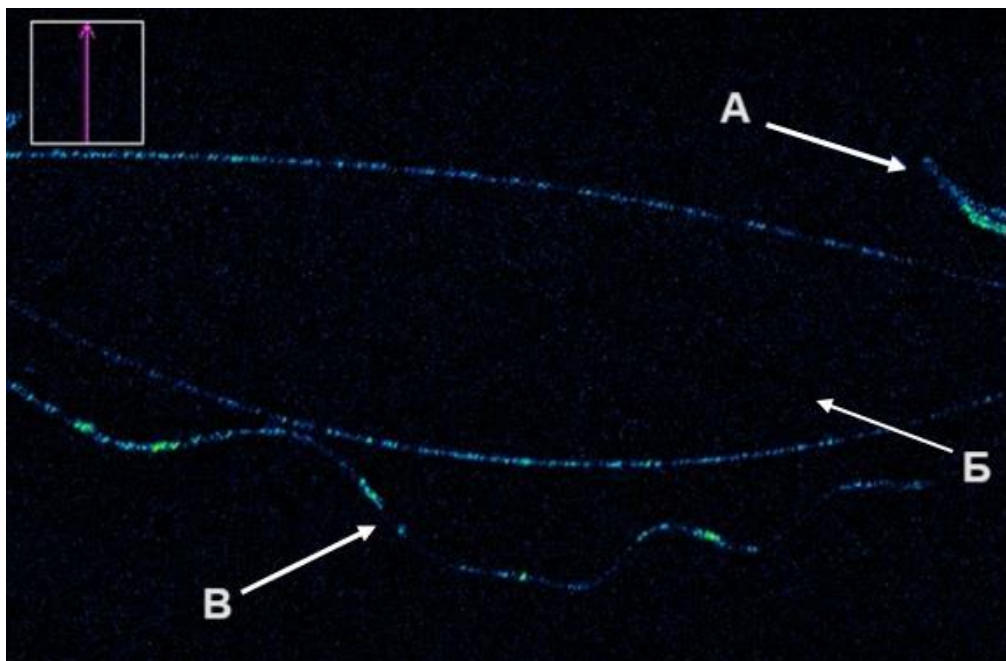


А – край ПКХ (после капсулорексиса)

Б – край ЗКХ (при нарушении целостности)

В – ПГ с выходом через разрыв ЗКХ

Рисунок 7 - иОКТ-сканирование капсульного мешка после удаления кортикальных масс



А – край ПКХ (после капсулорексиса)

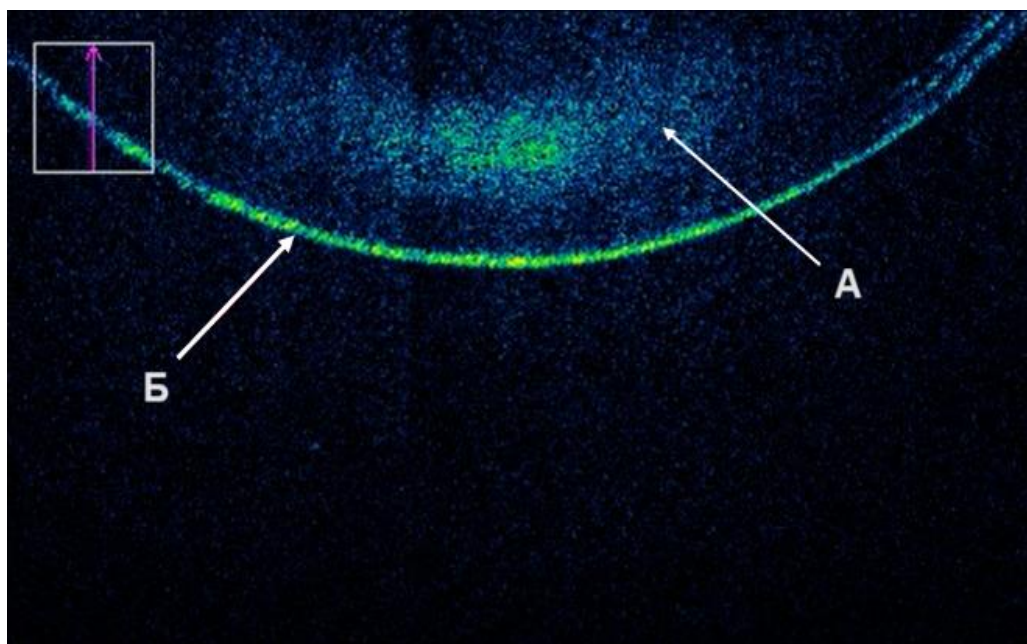
Б – ИОЛ, центрированная между листками капсульного мешка

В – ЗКХ

Рисунок 8 - иОКТ-сканирование капсульного мешка после имплантации ИОЛ

4. Интраоперационная оптическая когерентная томография ВЛИ.

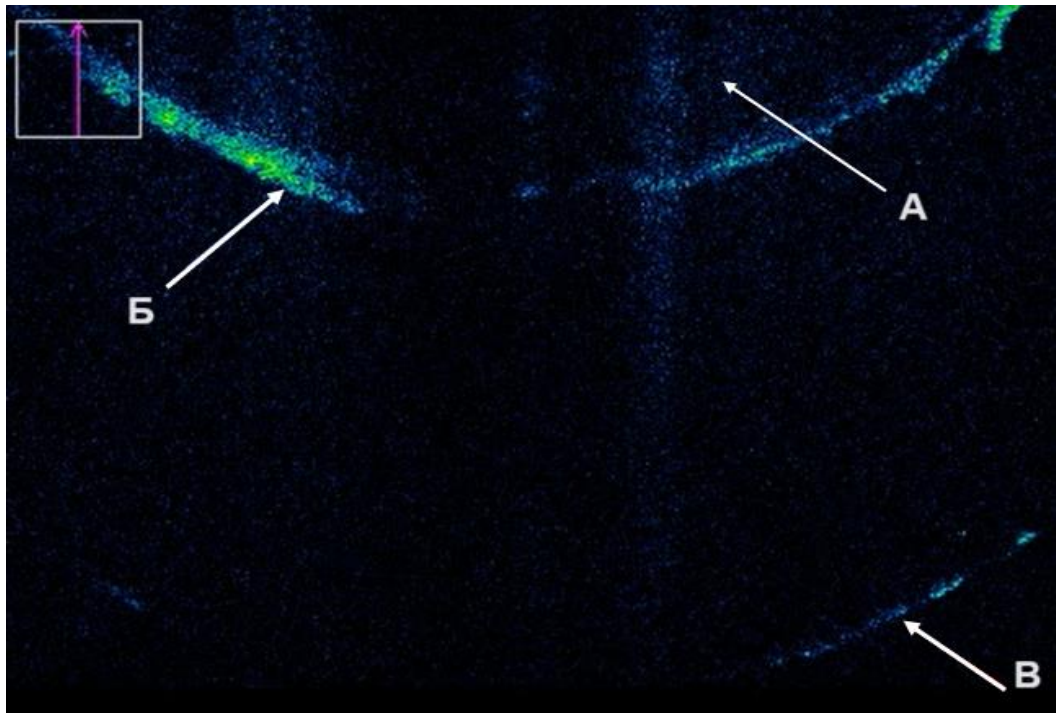
При помощи иОКТ за нативным хрусталиком визуализируется плотное прилегание ПГ к ЗКХ (Рисунок 9), узкая щель между этими образованиями (пространство Бергера) или отслойка ПГ (полная или частичная) (Рисунок 10). Визуализация возможна в тех случаях, когда катаракта незрелая. После имплантации ИОЛ проводится оценка состояния ВЛИ, а именно целостности пространства Бергера и наличия инородных частиц в нем. Зачастую, в ходе ФЭК в пространстве Бергера просматривается хрусталиковый детрит (Рисунок 11), попадающий через ЦС с ирригационными потоками. А также хорошо просматривается ПГ при возникшей частичной или полной её отслойке от ЗКХ (Рисунок 12), оценивается дистанция «ЗКХ-ПГ».



А – нативный хрусталик

Б – ЗКХ

Рисунок 9 - иОКТ-сканирование хрусталика

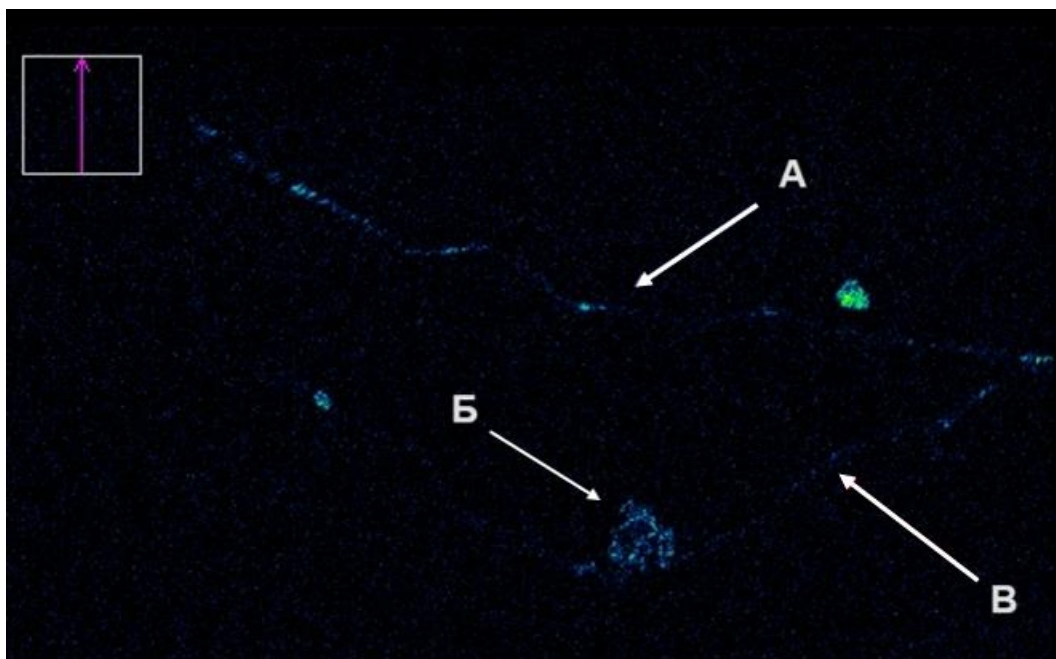


А – нативный хрусталик

Б – ЗКХ

В – полная отслойка ПГ

Рисунок 10 - иОКТ-сканирование ВЛИ

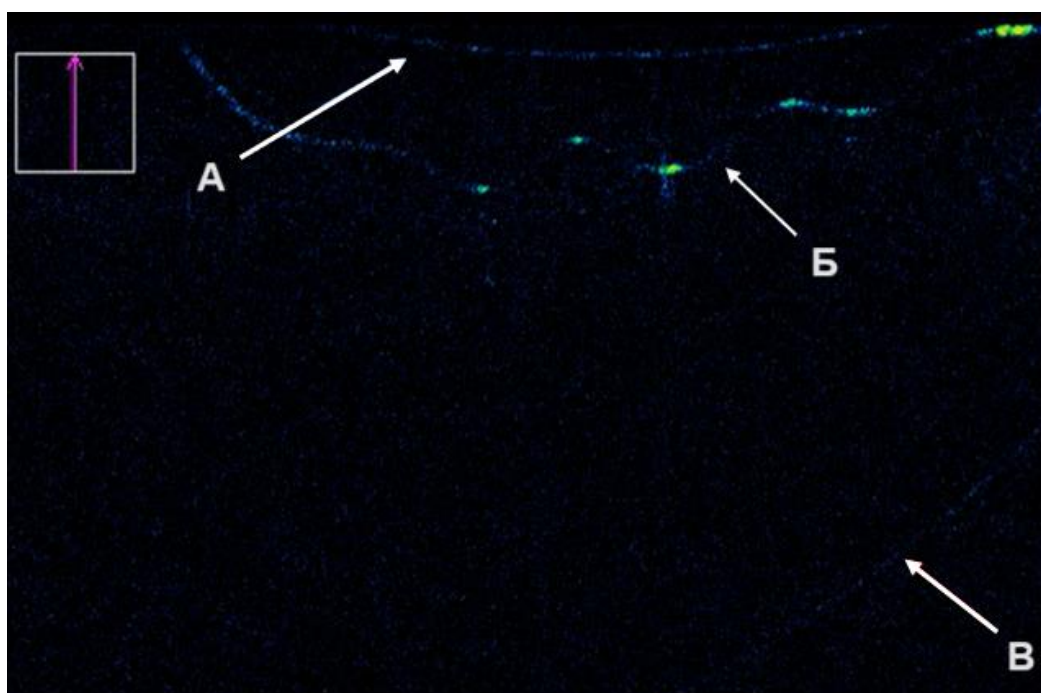


А – ЗКХ

Б – хрусталиковый детрит в пространстве Бергера

В – ПГ

Рисунок 11 - иОКТ-сканирование пространства Бергера



А – край ИОЛ

Б – ЗКХ

В – полная отслойка ПГ

Рисунок 12 - иОКТ-сканирование ВЛИ

3.2. Интраоперационные клинические результаты группы исследования №1

В ходе выполнения ультразвуковой ФЭК с имплантацией ИОЛ при помощи иОКТ у группы исследования №1 отмечали наличие следующих клинических признаков СИДИП (Таблица 5) на этапе удаления кортикальных масс и после: 1) Смещение ЗКХ до уровня переднего капсулорексиса в 17 (34%) случаях, а до уровня радужной оболочки и выше в 4 (8%) случаях; 2) Полную отслойку ПГ наблюдали в 13 (26%) случаях, а частичную – в 6 (12%) случаях; 3) Наличие микрочастиц хрусталика в пространстве Бергера зафиксировали в 12 (24%) случаях.

Дополнительно методом иОКТ регистрировали возникшие интраоперационные осложнения. В процессе операции было зафиксировано выпадение радужки через основной разрез, что произошло в 3 случаях (6%). Гидродиссекция, прошедшая между ядром и кортикальным слоем

зафиксирована в 26 случаях (52%). В 2 случаях (4%) на этапе ФЭК наблюдали разрыв ЗКХ в результате контакта УЗ-иглы с капсулой во время избыточной экскурсии последней.

Таблица 5 - Признаки СИДИП по данным иОКТ в группе исследования №1

Данные иОКТ	Группа исследования №1, n=50
<ul style="list-style-type: none"> • Смещение ЗКХ в сторону роговицы: 	
<ul style="list-style-type: none"> - на уровне переднего капсулорексиса 	17
<ul style="list-style-type: none"> - на уровне радужной оболочки и выше 	4
<ul style="list-style-type: none"> • Отслойка ПГ полная/частичная 	13/6
<ul style="list-style-type: none"> • Гипер-рефлективный материал в пространстве Бергера 	12

Таким образом, на основании клинической оценки структур переднего отрезка глаза во время ФЭК с имплантацией ИОЛ были изучены диагностические возможности интраоперационной оптической когерентной томографии и предложена последовательная оценка переднего отрезка глазного яблока, которая была применена на практике. Метод иОКТ показал свою эффективность и клиническую значимость, обеспечив хирурга обратной связью в режиме реального времени, так как дал возможность оценить взаимоотношение между ЗКХ и ПГ, целостность ЗКХ, верифицировать наличие хрусталикового детрита в пространстве Бергера и позволил более точно выполнять хирургические манипуляции.

ГЛАВА 4. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

Целью данной главы явилась разработка математического моделирования и определение закономерностей гидродинамики взаимодействия ирригационного потока с ВЛИ во время ультразвуковой ФЭК, при целостном, нарушенном связочном аппарате хрусталика и нарушенном связочном аппарате хрусталика при наличии вязкого защитного слоя – вискоэластика.

Экспериментальный раздел включал в себя изучение гистологического строения ВЛИ на изолированных свиных глазах, также отработана экспериментальная модель СИДИП во время ФЭК без имплантации ИОЛ и произведена оценка состоятельности ВЛИ при помощи иОКТ.

4.1 Разработка математической модели

Состояние связочного аппарата хрусталика и структур ВЛИ играет крайне важную роль в хирургии катаракты. Известно, что задние зонулярные волокна, происходящие из цилиарного тела, прикрепляются к ПГ стекловидного тела. От точки прикрепления данные волокна распространяются вдоль задней капсулы хрусталика по плоскости ПГ [73]. Отслойке ПГ способствует прогрессирующая несостоятельность связочного аппарата: снижение эластичности и лизис пучков ЦС. Большую роль в этом процессе играет наличие ПЭС. Следует отметить, что клиническая картина начальных стадий ПЭС может быть стертой, а характерные признаки при биомикроскопии отсутствовать.

Важную роль в хирургии катаракты играет состояние зонулярной связки и структур ВЛИ. Так как задние волокна ЦС, исходящие из цилиарного тела, присоединяются к ПГ СТ, распространяются вдоль ЗКХ по поверхности ПГ и позднее вплетаются в передние кортикальные слои, то прогрессирующая

дисфункция связочного аппарата, связанная с уменьшением эластичности и диссоциацией пучков центрального связочного аппарата, способствует отслолке ПГ. Важную роль в этом процессе играет наличие ПЭС.

В данной математической модели ЦС - трехмерная полиморфная фибриллярная сеть, представлена, как проницаемая мембрана.

Проницаемость — это параметр мембраны, характеризующий её способность пропускать через себя жидкость при перепаде давления [21]. Абсолютно непроницаемых биологических мембран в природе нет. При достаточно высоком давлении все биологические мембраны проницаемы. Однако при сравнительно небольших перепадах давления ЦС может быть практически непроницаемой для ирригационной жидкости во время ультразвуковой ФЭК.

Проницаемость характеризуют коэффициентом k , имеющим размерность площади [10]. Коэффициент проницаемости, зависит только от свойств пористой мембраны. Удобной на практике оказывается единица измерения проницаемости Дарси: $1 \text{ Дарси (Д)} = 1,02 \cdot 10^{-12} \text{ м}^2 = 1,02 \cdot 10^{-6} \text{ мм}^2 = 1,0 \text{ мкм}^2$.

Движение жидкости сквозь мембрану подчиняется закону Дарси:

$$u = - \frac{k}{\mu} \text{grad } P$$

где u – вектор скорости потока жидкости, м/с;

k – коэффициент проницаемости, м²;

μ – динамическая вязкость, Па с;

grad – оператор градиента;

P – давление, Па;

или в интегральной форме:

$$Q = \frac{k}{\mu} \frac{P_1 - P_2}{L} S$$

где Q – поток жидкости, м³/с;

k – коэффициент проницаемости, м²;

μ – динамическая вязкость, Па с;

S – площадь мембраны, м²;

L – толщина мембраны, м;

P_1 – давление на входе в мембрану, Па;

P_2 – давление на выходе из мембраны, Па.

Кроме того, движение жидкости по круглому отверстию (поре) с радиусом R и протяженностью L подчиняется закону Пуазейля:

$$Q = \pi \rho \frac{k}{\mu} \frac{P_1 - P_2}{8\mu L} S$$

где Q – поток жидкости сквозь пору, м³/с;

k – коэффициент проницаемости, м²;

μ – динамическая вязкость жидкости, Па с;

S – площадь сечения поры, м²;

L – протяженность поры (толщина мембраны), м;

P_1 – давление на входе в пору, Па;

P_2 – давление на выходе из поры, Па.

Давление ирригации предполагали равным 80, 100, 120 см водного столба. Давление 1 см водного столба = 98,06 Па = 0,74 мм рт. ст.

Поток секрции влаги принимали равным 3,0 мл/мин.

Толщину ЦС при целостном связочном аппарате предполагали равной 2-8 мкм. Нарушение ЦС моделировали уменьшением толщины на 33%.

Ширина зоналярной сети (длина ЦС) предполагали равной 0,51-0,61 мм. Внешний диаметр связки Вигера полагали равным 9,0 мм.

Представляется целесообразным рассмотреть зависимость прошедшего ирригационного потока сквозь ЦС в норме от коэффициента проницаемости и зафиксировать значение коэффициента проницаемости k_1 при заданных значениях давления не более 5% потока.

Далее исследовать величину прошедшего потока через ЦС с толщиной 67% от таковой в норме (моделирование нарушения связочного аппарата) и определить коэффициент проницаемости k_2 , при котором проникает 20% потока.

Исследовали величину прошедшего потока через ЦС с толщиной 67% от таковой в норме (моделирование нарушения связочного аппарата) и наличии вязкого защитного слоя - вискоэластика над ЦС с вязкостью 5500 сСт и определили коэффициент проницаемости k_3 , при котором проникает 16% потока.

Итоговое значение коэффициента проницаемости k_0 , определили как взвешенное среднее трех вышеопределенных значений:

$$k_0 = \alpha_1 k_1 + \alpha_2 k_2 + \alpha_3 k_3$$

$$\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3 = 1$$

Рабочее значение $k_0 = 0,0014$ Д

При определенном значении коэффициента проницаемости рассчитали распределение давления в пространстве Бергера и определили соотношение между коэффициентом проницаемости ЦС, ее толщиной и давлением ирригационной жидкости, когда повышенное давление в пространстве Бергера деформирует ЗКХ в сторону передней камеры.

Также определили соотношение между коэффициентом проницаемости ЦС, ее толщиной и давлением ирригационной жидкости, когда давление ирригации деформирует ЗКХ в сторону сужения пространства Бергера [9].

4.2. Математическое моделирование ирригационного потока, проходящего сквозь Циннову связку в норме

Математическое моделирование прохождения ирригационного потока сквозь ЦС в норме проводили для идентификации коэффициента проницаемости k_1 . В норме, при сохранном связочном аппарате, ирригационный поток практически не проникает сквозь ЦС. При некотором

значении коэффициента проницаемости определенная доля потока будет проникать сквозь ЦС. Представляется целесообразным рассмотреть зависимость прошедшего ирригационного потока сквозь ЦС в норме от коэффициента проницаемости и зафиксировать значение коэффициента проницаемости при заданных значениях давления ирригации порядка 5% потока. Это значение коэффициента проницаемости k_1 примем в качестве начального значения при моделировании прохождения ирригационного потока при нарушенном связочном аппарате, а также при наличии защитного слоя вискоэластика над ЦС.

Поток ирригационной жидкости при давлении 80, 100 и 120 см водного столба, в соответствии с законом Дарси и уравнением Пуазейля, приведенными выше, рассчитывали для сохранной ЦС.

На Рисунке 13 представлены зависимости доли прохождения ирригационного потока (в %) сквозь ЦС в пространство Бергера от коэффициента проницаемости при различных значениях давления ирригации. Значения коэффициента проницаемости ЦС в диапазоне от 0,0010 до 0,0018 Д можно считать приемлемыми, когда проникновение ирригационного потока сквозь ЦС порядка 5%.

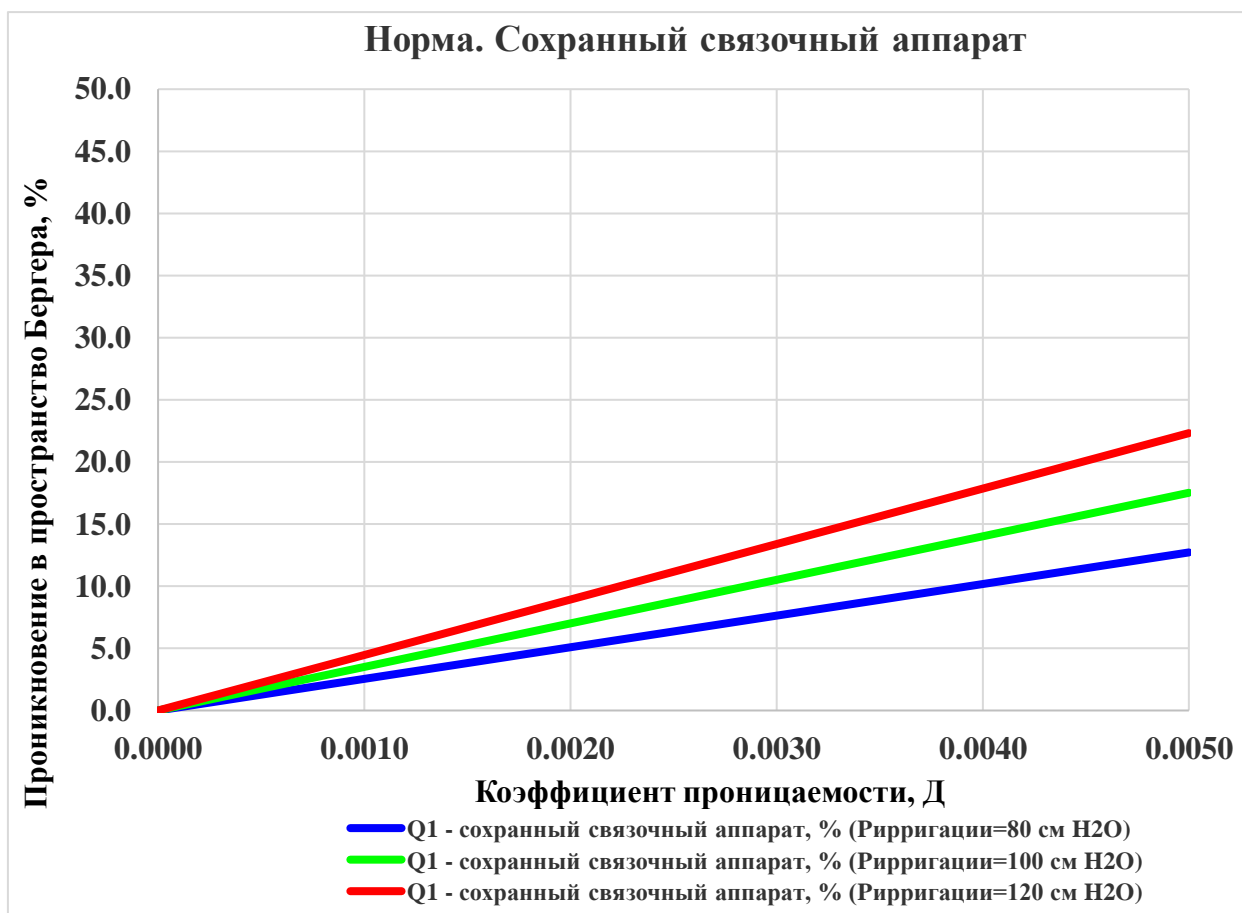


Рисунок 13 - Зависимость доли прохождения ирригационного потока (в %) сквозь ЦС в пространство Бергера с сохранным связочным аппаратом от коэффициента проницаемости при различных значениях давления ирригации

4.3. Математическое моделирование ирригационного потока, проходящего через нарушенный связочный аппарат хрусталика

Математическое моделирование прохождения ирригационного потока сквозь ЦС с нарушенным связочным аппаратом проводили для дальнейшего уточнения коэффициента проницаемости k_2 . При нарушенном связочном аппарате проникновение в пространство Бергера наблюдалось в 20% случаев [14]. Для уточнения коэффициента проницаемости предполагали, что в таких условиях 20% ирригационного потока будет проникать сквозь ЦС. Представляется целесообразным рассмотреть зависимость прошедшего ирригационного потока сквозь ЦС при нарушенном связочном аппарате от коэффициента проницаемости и зафиксировать значение коэффициента проницаемости при заданных значениях давления ирригации порядка 20%

потока. Этот диапазон значений коэффициента проницаемости k_2 примем в качестве второго приближения, с учетом диапазона значения коэффициента проницаемости в норме, при моделировании прохождения ирригационного потока при нарушенном связочном аппарате и наличии защитного слоя вискоэластика над ЦС.

Поток ирригационной жидкости при давлении 80, 100 и 120 см водного столба, в соответствии с законом Дарси и уравнением Пуазейля, приведенными выше, рассчитывали для нарушенной ЦС в 33% случаев.

На Рисунке 14 представлены зависимости доли прохождения ирригационного потока (в %) сквозь ЦС в пространство Бергера от коэффициента проницаемости при различных значениях давления ирригации. Значения коэффициента проницаемости ЦС в диапазоне от 0,0010 до 0,0018 Д, когда проникновение ирригационного потока сквозь ЦС порядка 20%.

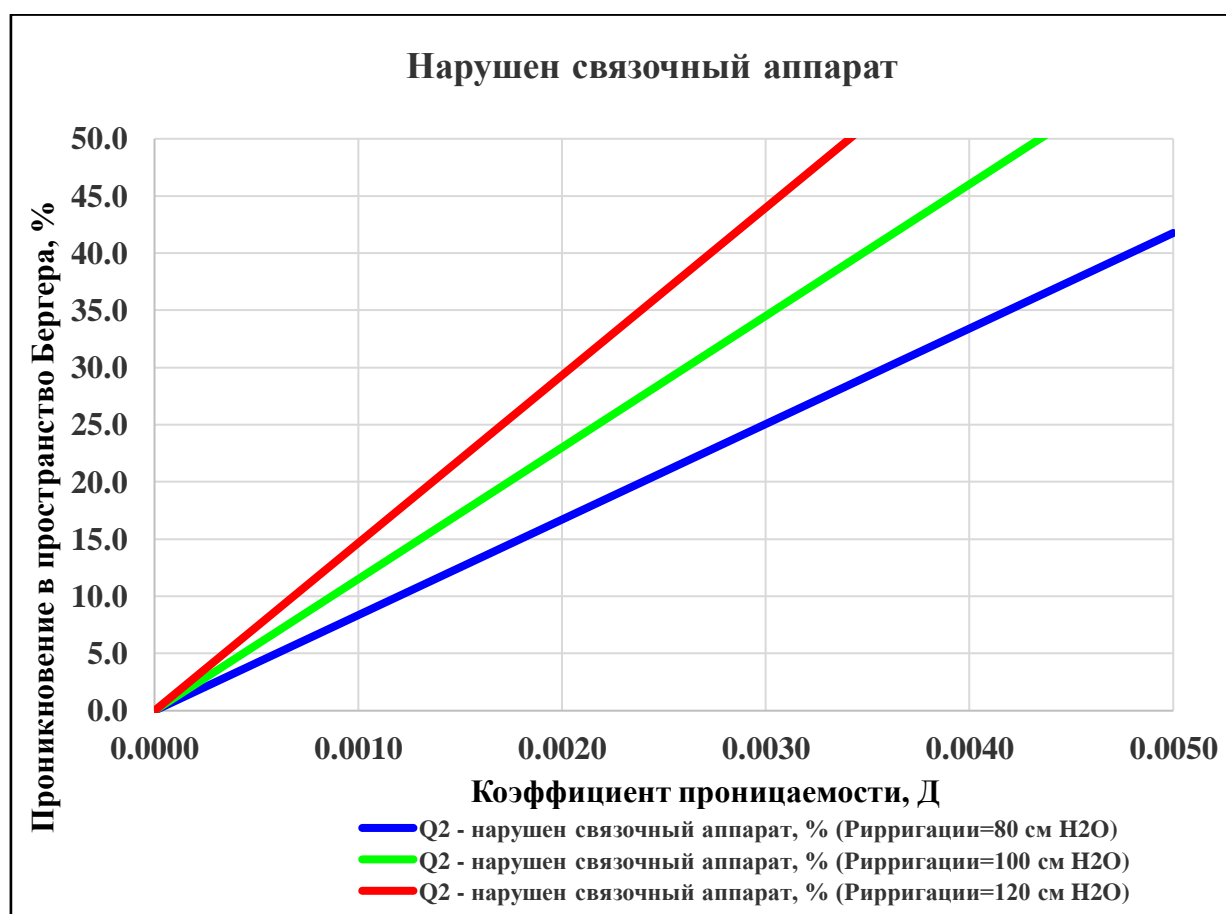


Рисунок 14 - Зависимость доли прохождения ирригационного потока (в %) сквозь ЦС в пространство Бергера с нарушенным связочным аппаратом от коэффициента проницаемости при различных значениях давления ирригации

4.4. Математическое моделирование ирригационного потока, проходящего сквозь Циннову связку при блокировке этой зоны раствором вискоэластика

Математическое моделирование прохождения ирригационного потока сквозь ЦС с нарушенным связочным аппаратом и ВЭ над ЦС проводили для дальнейшего уточнения коэффициента проницаемости k_3 . При нарушенном связочном аппарате и наличии ВЭ, проникновение в пространство Бергера наблюдалось в 16% случаев. Для уточнения коэффициента проницаемости предполагали, что в таких условиях 16% ирригационного потока будет проникать сквозь ВЭ и ЦС. Представляется целесообразным рассмотреть зависимость прошедшего ирригационного потока сквозь ВЭ и ЦС при нарушенном связочном аппарате от коэффициента проницаемости и зафиксировать значение коэффициента проницаемости при заданных значениях давления ирригации порядка 16% потока. Этот диапазон значений коэффициента проницаемости k_3 примем в качестве третьего приближения, с учетом диапазона значения коэффициента проницаемости в норме и при нарушенном связочном аппарате.

Поток ирригационной жидкости при давлении 80, 100 и 120 см водного столба, в соответствии с законом Дарси и уравнением Пуазейля, приведенными выше, рассчитывали для нарушенной ЦС в 33% случаев. Свойства ВЭ описаны выше. Предполагали, что ирригационная жидкость не смешивается с ВЭ, а проталкивает его сквозь ЦС.

На Рисунке 15 представлены зависимости доли прохождения ирригационного потока (в %) сквозь ВЭ и ЦС в пространство Бергера от коэффициента проницаемости при различных значениях давления ирригации. Значения коэффициента проницаемости ЦС в диапазоне от 0,0010 до 0,0018 Д, когда проникновение ирригационного потока сквозь ВЭ и ЦС порядка 16%.

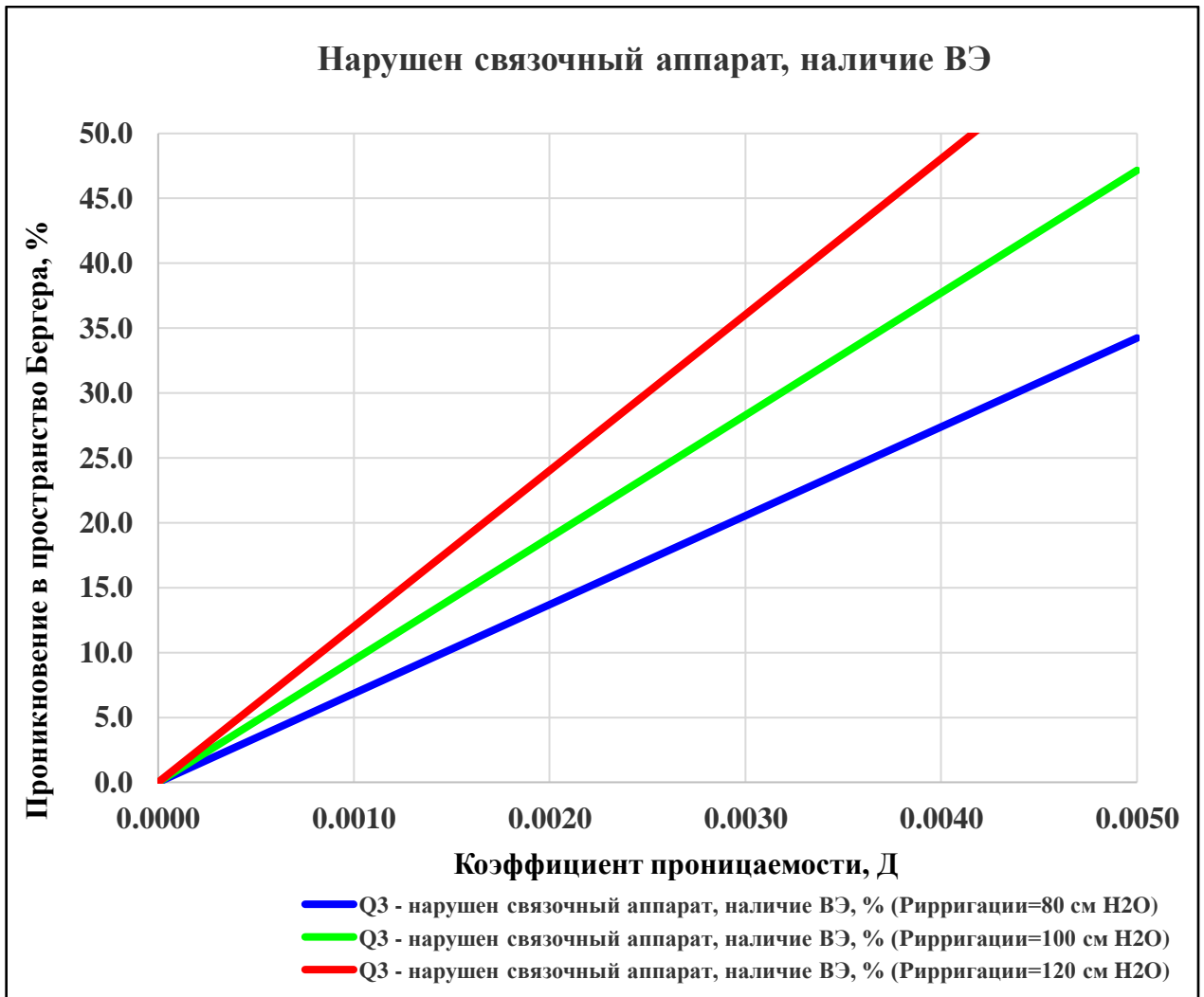


Рисунок 15 - Зависимость доли прохождения ирригационного потока (в %) сквозь ЦС в пространство Бергера с нарушенным связочным аппаратом и наличием ВЭ над ЦС от коэффициента проницаемости при различных значениях давления ирригации

Таким образом, проведенное математическое моделирование показало, что ЦС в норме можно считать проницаемой мембраной с коэффициентом проницаемости 0,014 Д. При таком значении проницаемости ирригационная жидкость практически не проникает в пространство Бергера. При нарушенном связочном аппарате, когда часть связок отсутствует и толщина ЦС уменьшена, ирригационная жидкость может частично (20%) попадать в пространство Бергера. Защитный слой ВЭ снижает проникновение ирригационной жидкости в пространство Бергера через нарушенный связочный аппарат на 20%.

4.5. Экспериментальное моделирование СИДИП на изолированных глазах свиньи

В настоящей работе была проведена гистологическая оценка структур ВЛИ, отработана экспериментальная модель СИДИП и проведена оценка состояния ВЛИ с помощью иОКТ на энуклеированных свиных глазах при ФЭК. Транспортировку и хранение свиных глаз осуществляли при температуре 4°C и использовали строго в течение 6 часов после энуклеации.

Несколько изолированных образцов с нативным хрусталиком были направлены на гистологическое исследование с целью изучения особенностей расположения анатомических структур ВЛИ (Рисунок 16). Полученные результаты позволили сделать вывод о схожести анатомического строения ВЛИ свиного глаза и глаза человека. Но следует учитывать особенности строения ЗКХ свиного глаза (толщина ЗКХ свиньи составляет около 13 мкм, когда ЗКХ человека варьирует в пределах 7-8 мкм).

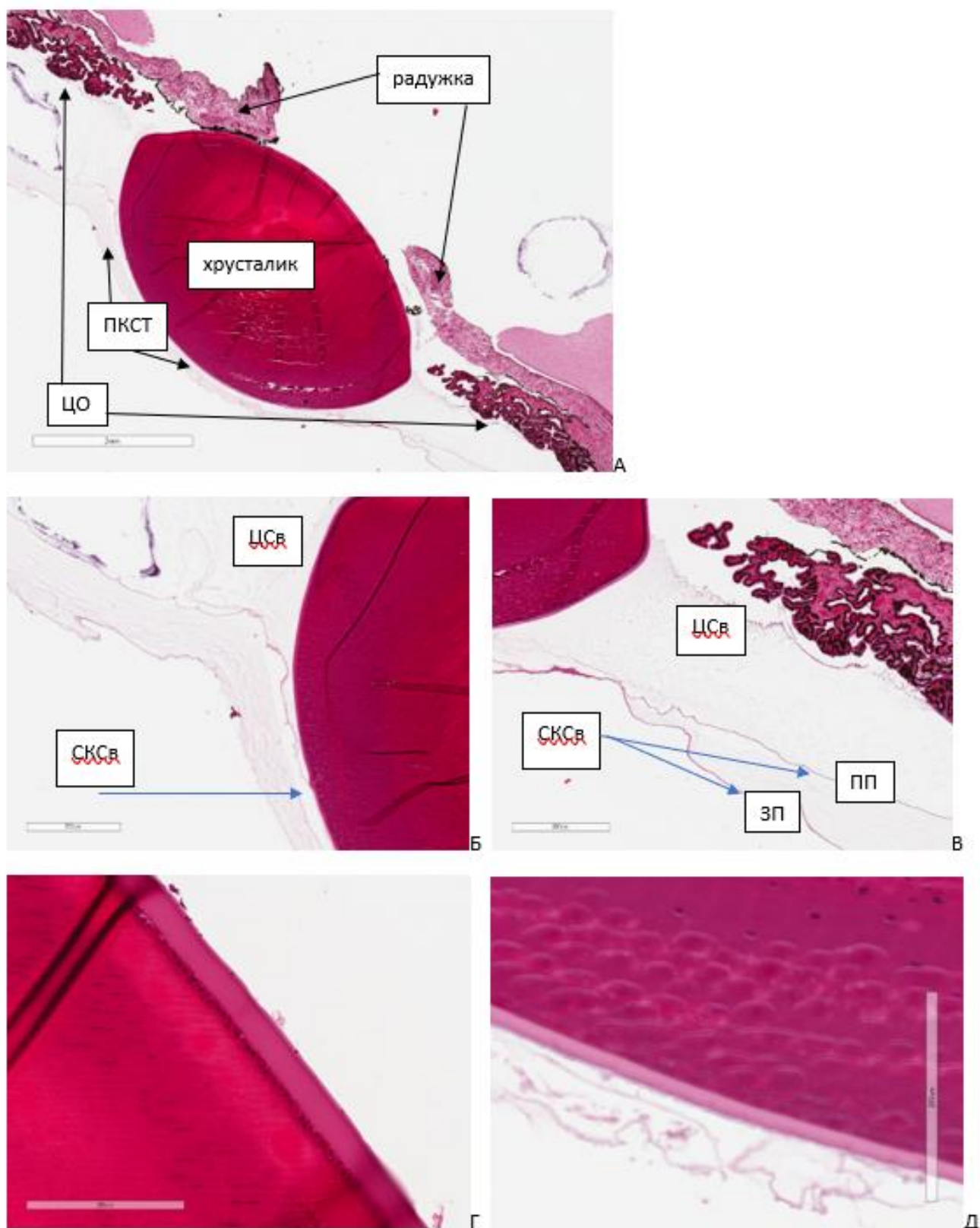
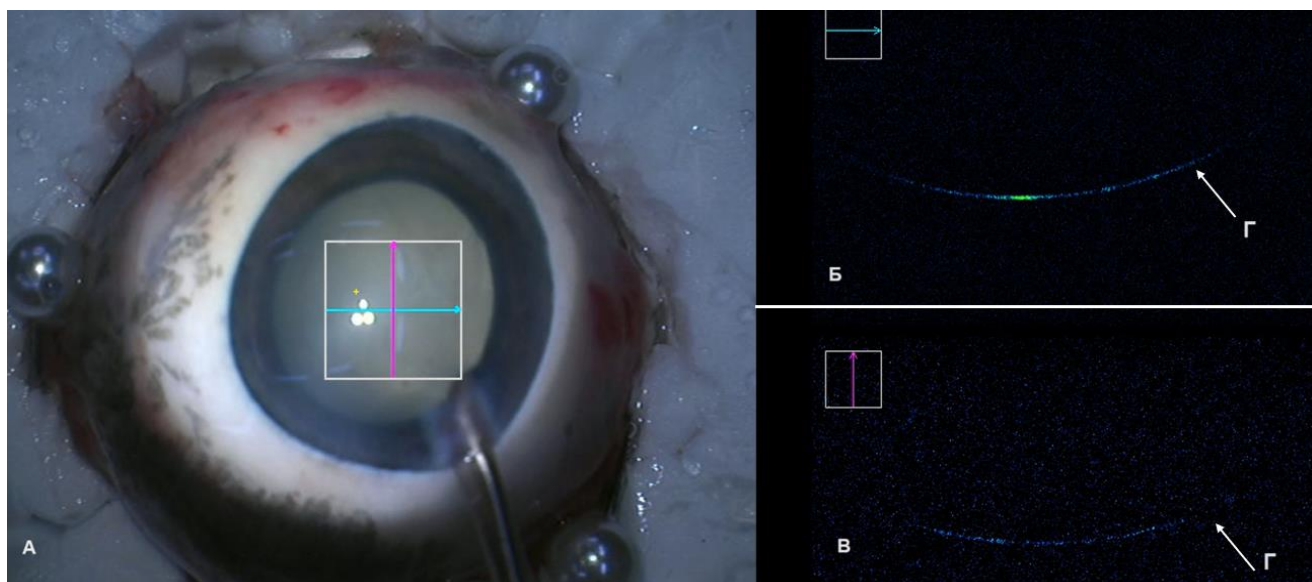


Рисунок 16 - Гистологический препарат свиного глаза

Структуры переднего отдела – хрусталик со связочным аппаратом, передние кортикальные слои стекловидного тела (*ПКСТ*), цилиарные отростки (*ЦО*),

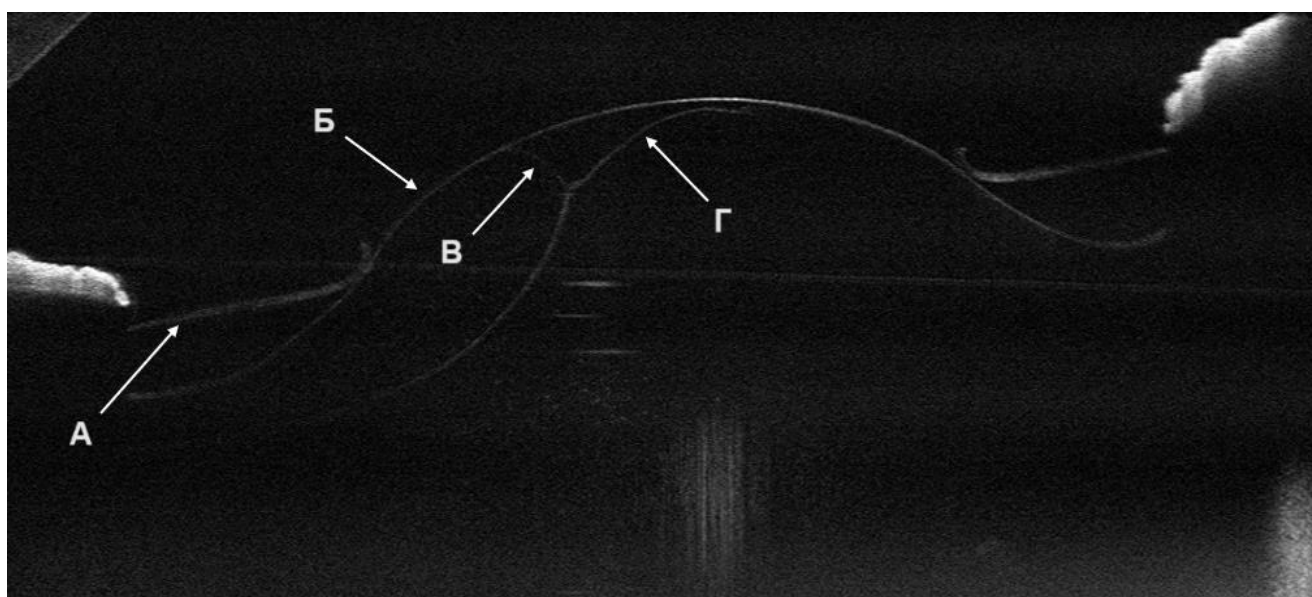
радужка, фрагмент роговицы (А) (гематоксилин-эозин, оригинальное увеличение $\times 2$). Хрусталик – передняя капсула с эпителиальными структурами на внутренней поверхности (Г) по толщине преобладает над задней (Д) (гематоксилин-эозин, оригинальное увеличение $\times 200$). Порции Цинновой связки (ЦСв) прикрепляются в экваториальной зоне линзы, в задних отделах выявлены особенности: на границе между Цинновой связкой и передними кортикальными слоями стекловидного тела с двух сторон симметрично визуализируются уплотненные фиброзные структуры, что может соответствовать циркулярной стекловидно – капсулярной связке (ligamentum hyaloideo – capsulare) (СКСв). Крепление связки осуществляется на хрусталике в парацентральной зоне задней капсулы (Б) – *указано стрелкой*, а со стороны цилиарного тела, наблюдали ее раздвоение. Передняя порция (ПП) прикреплялась к цилиарным отросткам, задняя порция (ЗП) – в области зубчатого края (ora serrata) (В) (гематоксилин-эозин, оригинальное увеличение $\times 500$).

На 7-ми изолированных свиных глазах под контролем иОКТ была проведена стандартная ФЭК без имплантации ИОЛ (Рисунок 17). Ни в одном глазу не было зафиксировано субъективных признаков СИДИП, таких как: флюктуация ЗКХ, смещение последней в сторону роговицы. Также интраоперационно при помощи иОКТ удалось визуализировать только одну частичную отслойку ПГ, которая в последующем была зафиксирована спектральным томографом SOLIX (Optovue, США) в режиме «FullRange AC» (Рисунок 18).



- А – изолированный свиной глаз
 Б – горизонтальное сканирование
 В – вертикальное сканирование
 Г – ЗКХ

Рисунок 17 - иОКТ-сканирование ВЛИ свиного глаза, после ФЭК без имплантации ИОЛ на ирригационной подаче



- А – край ПКХ (после капсулорексиса)
 Б – ЗКХ, пролабирующая через передний капсулорексис, при измельчании передней камеры глаза
 В – предположительно связка Вигера
 Г – частично отслоенный ПГ

Рисунок 18 - ОКТ-сканирование ВЛИ свиного глаза, после ФЭК без имплантации ИОЛ

Таким образом, на основании гистологического строения свиного глаза, разработана экспериментальная модель СИДИП, заключающаяся в проведении стандартной ФЭК без имплантации ИОЛ под контролем иОКТ. Индуцировать отслойку ПГ свиного глаза в эксперименте удалось в одном случае, учитывая особенности его строения, а именно более плотную адгезию структур ВЛИ и толщину ЗКХ в 2 раза больше относительно человеческого глаза. В данной работе не удалось добиться наглядных результатов нарушения ВЛИ во время хирургических манипуляций. Зафиксированная интраоперационно одна частичная отслойка ПГ, говорит о том, что использование более агрессивных настроек во время ФЭК с резкими перепадами ВГД могут разрушать структуры ВЛИ.

Основываясь на гистологическом строении ВЛИ человеческого и свиного глаза, математическое и экспериментальное моделирование позволило приступить к разработке нового хирургического метода профилактики СИДИП при ФЭК у пациентов группы риска.

ГЛАВА 5. РАЗРАБОТКА НОВОГО ХИРУРГИЧЕСКОГО МЕТОДА ПРОФИЛАКТИКИ СИДИП ПРИ ФАКОЭМУЛЬСИФИКАЦИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДИСПЕРСИВНОГО ВИСКОЭЛАСТИКА (ВИСКОБЛОК) И АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ЛЕЧЕНИЯ

Целью данного раздела работы явилась разработка нового хирургического метода профилактики СИДИП - «Вискоблок» при ультразвуковой ФЭК с имплантацией ИОЛ и оценка клиничко-функциональных результатов лечения пациентов с применением нового метода и без, были представлены особенности дооперационной диагностики пациентов, количество интраоперационных осложнений и анализ клиничко-функциональных результатов хирургического лечения.

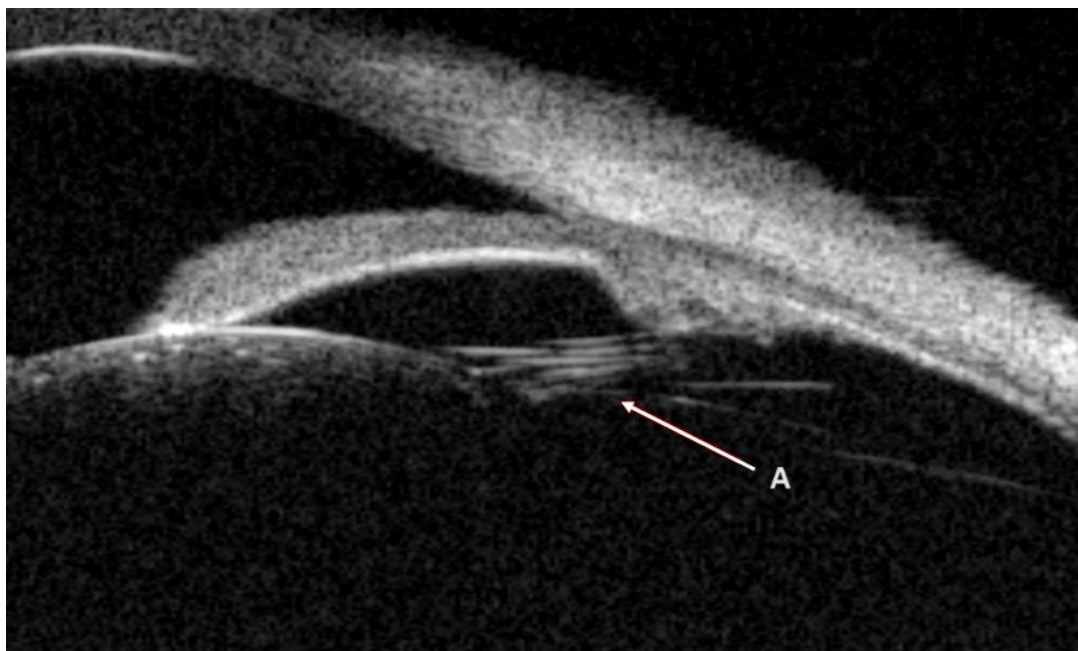
5.1. Общая характеристика пациентов до операции

В группу №2 А было включено 25 пациентов (25 глаз), 16 женщин и 9 мужчин, средний возраст составил $71,9 \pm 10,5$ лет. В данной группе применяли ФЭК с имплантацией акриловой ИОЛ и использовали метод «Вискоблок». Группа №2 Б состояла из 25 пациентов (25 глаз), 15 женщин и 10 мужчин, средний возраст составил $68,6 \pm 9,4$ лет. Здесь применялась стандартная методика ФЭК с имплантацией акриловой ИОЛ (Таблица 6).

Таблица 6 - Дооперационные характеристики двух групп

Показатель	Группа №2 А, (n=25)	Группа №2 Б, (n=25)
Мужчины	9	10
Женщины	16	15
Возраст, лет $M \pm SD$	$71,9 \pm 10,5$	$68,6 \pm 9,4$
МКОЗ $M \pm SD$	$0,3 \pm 0,1$	$0,4 \pm 0,1$
ВГД (мм.рт.ст.) $M \pm SD$	$16,5 \pm 2,9$	$16,0 \pm 2,7$
ПЗО (мм) $M \pm SD$	$23,7 \pm 0,4$	$23,6 \pm 0,4$

При выборе пациентов в дооперационном периоде, важным критерием являлся анализ данных УБМ. Этот анализ выявлял наличие дефектов связочного аппарата хрусталика в 3-4 изучаемых участках (на 12, 3, 6 и 9 часах), где отмечался частичный или полный отрыв задней порции волокон ЦС, при сохранении передней и средней порции (Рисунок 19).



А – полный отрыв задней порции волокон ЦС

Рисунок 19 - УБМ Цинновой связки

Средние значения показателей сохранных пучков ЦС в исследуемых участках для группы №2 А составили: на 12 часах - $0,58 \pm 0,23$ мм; на 3 часах - $0,59 \pm 0,24$ мм; на 6 часах - $0,56 \pm 0,18$ мм; на 9 часах – $0,64 \pm 0,25$ мм. Для группы №2 Б: на 12 часах - $0,53 \pm 0,18$ мм; на 3 часах - $0,64 \pm 0,17$ мм; на 6 часах - $0,64 \pm 0,21$ мм; на 9 часах – $0,52 \pm 0,14$ мм (Рисунок 20). Эти результаты свидетельствуют о растянутости сохранных пучков в четырёх исследуемых участках.

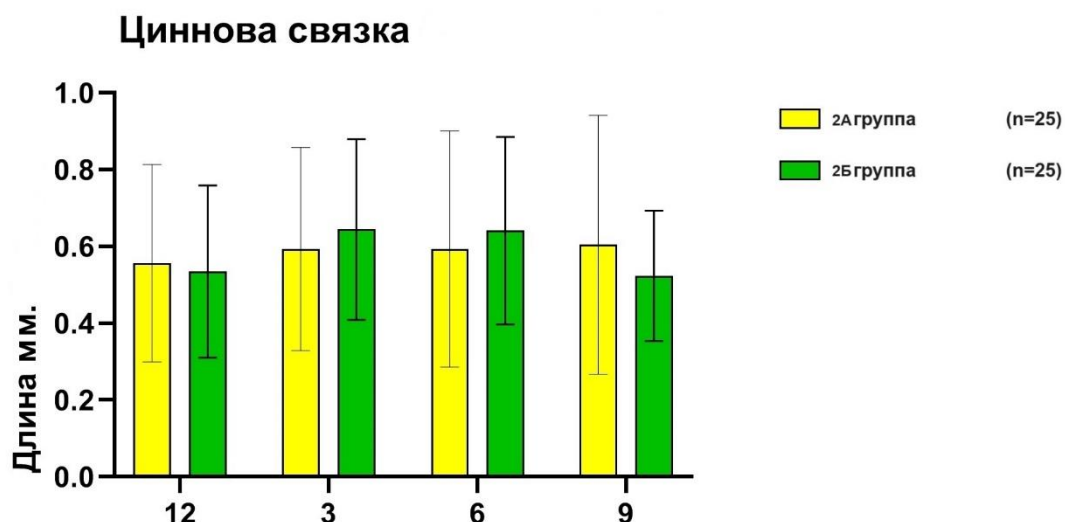
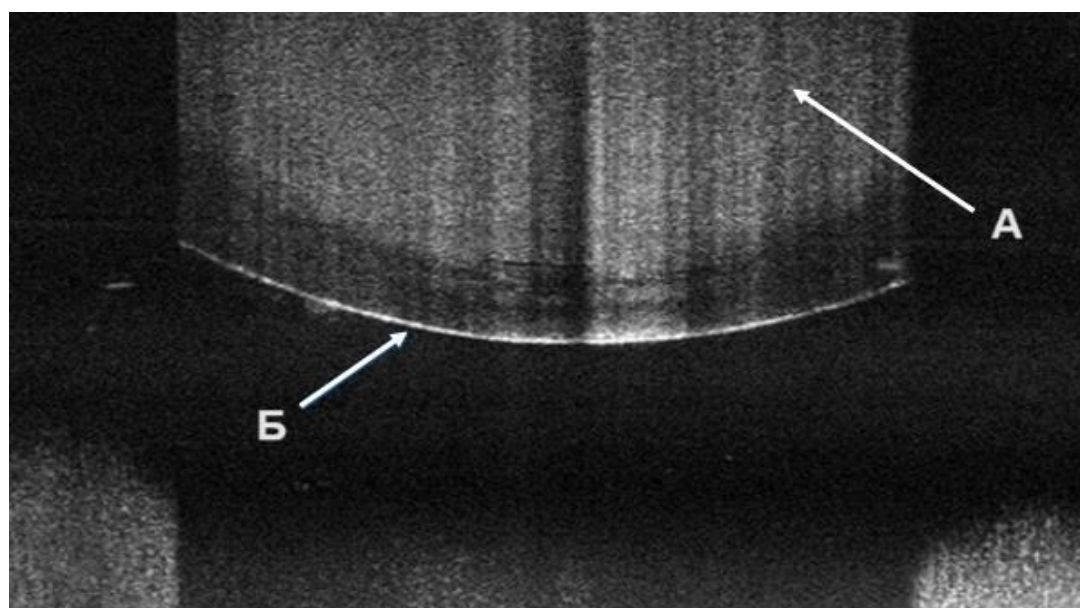


Рисунок 20 - Оценка состояния ЦС по данным УБМ в исследуемых участках двух групп

При попарном сравнении показателя в различных точках исследования не было выявлено статистически значимых различий.

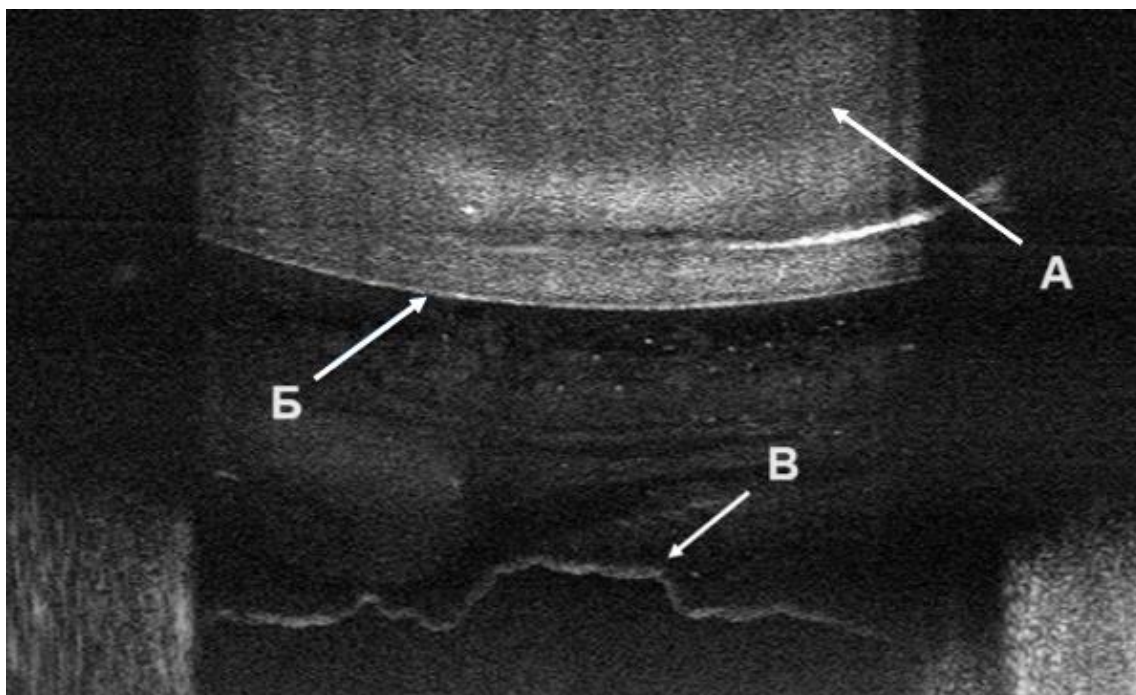
Согласно данным сканирования переднего отрезка глаза с использованием ОКТ SOLIX (Optovue, США) в режиме «FullRange AC» – основным критерием отбора являлась плотная адгезия ПГ к ЗКХ, без отслойки ПГ СТ в дооперационном периоде (Рисунок 21). Пациенты с отслойкой ПГ, зафиксированной перед хирургическим лечением в данное исследование включены не были (Рисунок 22).



А – нативный хрусталик

Б – ЗКХ

Рисунок 21 - ОКТ-сканирование ВЛИ пациента при нативном хрусталике без отслойки ПГ



А – нативный хрусталик

Б – ЗКХ

В – отслойка ПГ

Рисунок 22 - ОКТ-сканирование ВЛИ пациента с отслойкой ПГ при нативном хрусталике

5.2. Разработка и апробация в клинике метода «Вискоблок» для профилактики СИДИП при фактоэмульсификации катаракты

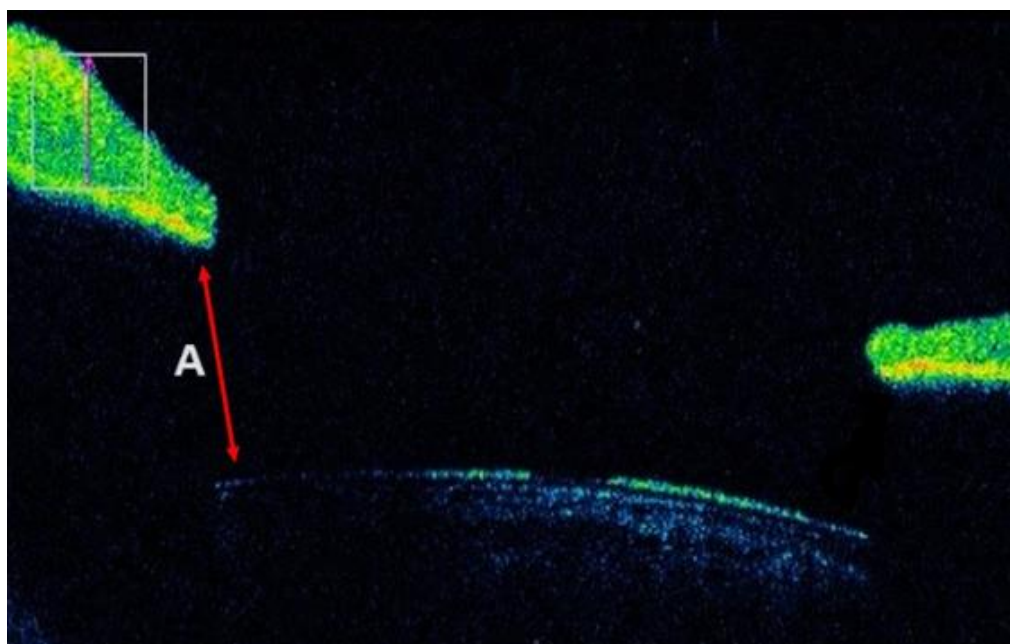
В процессе подготовки к операции в обеих группах пациентов проводили тщательную обработку операционного поля, включая веки, ресницы, надбровные дуги и кожу скуловой области. Для этого использовали стерильный марлевый тампон, смоченный 10% раствором повидон-йода, для дезинфекции кожи. Для обезболивания в конъюнктивальный мешок закапывали 0,4% раствор оксибупрокаина три раза с пятиминутным интервалом. Затем операционную зону обрабатывали антисептиком (5%

раствор повидон-йода) в течение 60 секунд, после чего излишки удаляли стерильным марлевым тампоном. На завершающем этапе операционное поле покрывали стерильной одноразовой простыней. Перед установкой блефаростата ресницы были изолированы при помощи самоклеящихся полимерных пленок (3М, США). Основной операционный доступ шириной 2,0 мм был расположен с височной стороны, ориентированный на 9 или 3 часа соответственно, а дополнительные разрезы (парацентезы) шириной 1 мм были выполнены на 12 и 6 часах. Для обеспечения мидриаза и потенцирования анестезии в переднюю камеру глаза вводилась смесь, содержащая 0,1 мл 1% раствора фенилэфрина и 0,2-0,3 мл 1% раствора лидокаина. Операции проводили с использованием хирургической системы «Stellaris» (Bausch&Lomb, США). Для дробления ядра применяли технику «Phaco-chop» (фако-раскол), после завершения этапа факоэмульсификации имплантировали заднекамерную гидрофобную акриловую ИОЛ. Использовали следующие настройки: высота бутылки с ирригационным раствором 75 см, вакуум 550 mmHg, УЗ 35%, 160 пульсов/мин.

Использовались следующие модели ИОЛ: iSert 250 (Ноуа Япония), Acrysof Natural (Alcon, США), которые были имплантированы внутрь капсульного мешка. Затем, с помощью бимануальной системы аспирации-ирригации, производилась эвакуация когезивного и дисперсивного вискоэластиков из капсульного мешка и передней камеры. Операцию завершали герметизацией разрезов.

Особенностью техники операции у пациентов группы №2 А был этап, названный «Вискоблок» [19], который заключался в инъекции дисперсивного вискоэластика (смесь 4% хондроитин сульфата и 3% гиалуроната натрия) (Вискот, Алкон, США) под радужку по всей окружности ЦС непосредственно перед этапом выполнения капсулорексиса. При этом, через основной разрез вводили дисперсивный вискоэластик в количестве 0,1-0,2 мл сначала в центр передней камеры, а потом - под радужку, в направлении цилиарной борозды, непосредственно над ЦС с 12ч до 6ч на протяжении 180 угловых градусов.

Через парацентез на 12ч дисперсивный вискоэластик вводили с 6ч до 9ч на протяжении 90 угловых градусов и через парацентез на 6ч – с 9ч до 12ч, также на протяжении 90 угловых градусов. Таким образом, введенный дисперсивный вискоэластик располагался в пространстве, ограниченном сверху радужкой, снизу хрусталиком и связочным аппаратом хрусталика с ресничными отростками и сбоку бороздой цилиарного тела в виде «бублика» на протяжении 360 угловых градусов. На начальных этапах введения корень радужки несколько приподнимался (Рисунок 23), однако затем происходило его «оседание» за счет перераспределения дисперсивного вискоэластика по поверхности связочного аппарата хрусталика и передней камере.



А – расстояние между задней поверхностью радужной оболочки и ПКХ
Рисунок 23 - иОКТ-сканирование профиля радужной оболочки

В группе №2 Б выполняли ультразвуковую ФЭК с имплантацией ИОЛ по стандартной методике, без выполнения этапа «Вискоблок».

В послеоперационном периоде всем пациентам проводилась антибактериальная и противовоспалительная терапия. Она включала в себя инстилляцию 0,5% раствора левофлоксацина по 1 капле 4 раза в день в течение

7 дней, 0,1% раствора дексаметазона по 1 капле 4 раза в день и 0,09% раствора бромфенака по 1 капле 1 раз в день в течение одного месяца. Также на первые сутки после операции всем пациентам была назначена гипотензивная терапия (ингибиторы карбоангидразы). Этот комплексный подход помогал контролировать воспалительную реакцию, предотвращать инфекции и управлять внутриглазным давлением, способствуя успешному послеоперационному восстановлению.

Таким образом, разработанный оригинальный хирургический метод «Вискоблок», который заключается в разобщении переднего и заднего отрезков глазного яблока с помощью дисперсивного вискоэластика во время ультразвуковой ФЭК для профилактики СИДИП, позволил ограничить часть распространения ирригационного потока в ретролентальное пространство сквозь нарушенные ЦС. Так вводимый ВЭ, покрывает сверху ЦС в виде «бублика» на протяжении 360 угловых градусов, тем самым профилактирует нарушение целостности структур ВЛИ во время хирургического лечения.

5.3. Анализ интраоперационных особенностей в опытной и контрольной группах

В ходе выполнения ФЭК с имплантацией ИОЛ при помощи иОКТ, на этапе удаления кортикальных масс, визуализировали наличие следующих клинических признаков СИДИП в двух группах (Таблица 7):

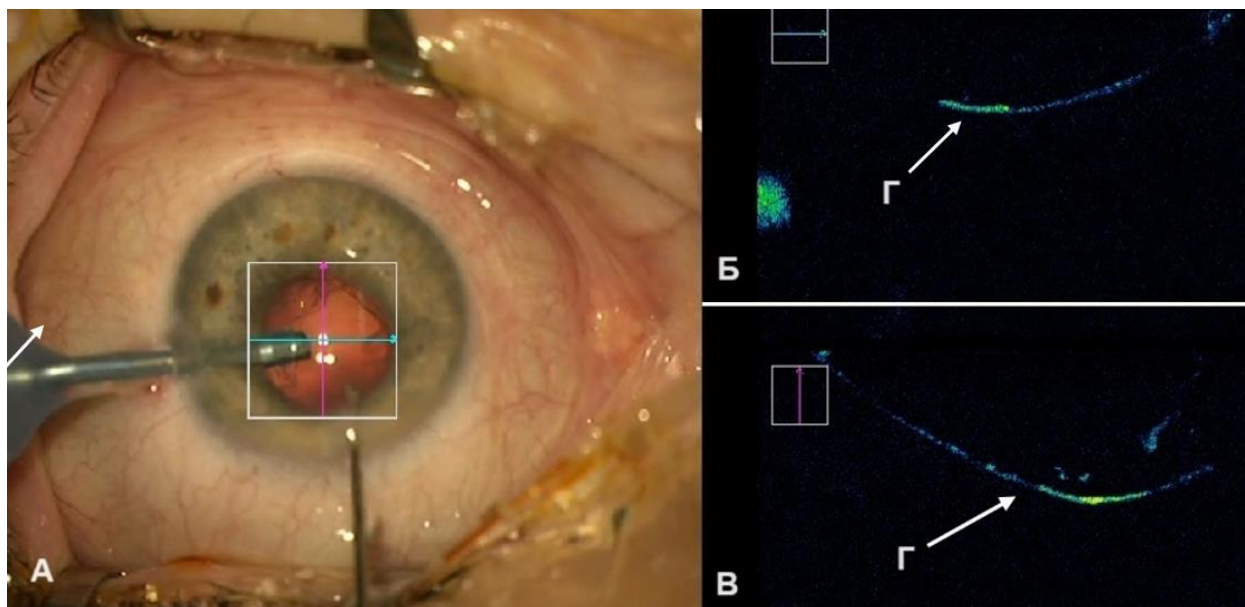
- 1) Избыточную экскурсию ЗКХ под действием ирригационного потока сбалансированного солевого раствора в группе №2 А наблюдали в 6 (24%) случаях, в группе №2 Б в 8 (32%) случаях;
- 2) Смещение ЗКХ кпереди до уровня переднего капсулорексиса в обеих группах выявлены в 4 (16%) случаях;

- 3) Полную отслойку ПГ в группе №2 А наблюдали в 5 (20%) случаях, в группе №2 Б в 8 (32%) случаях, а частичную – в группе №2 А в 1 (4%) случае, в группе №2 Б в 6 (24%) случаях;
- 4) Наличие микрочастиц хрусталика на поверхности ПГ и в пространстве Бергера зафиксировали в 4 (16%) случаях в группе №2 А, в группе №2 Б в 5 (20%) случаях.

Первое иОКТ ретролентального пространства проводилось до удаления кортикальных масс при непрерывной ирригационной подаче в переднюю камеру (Рисунок 24), второе - после удаления кортикальных масс при продолжающейся ирригационной подаче (Рисунок 25), а третье - после имплантации ИОЛ без ирригационного напора (Рисунок 26).

Таблица 7 - Клинические признаки СИДИП по данным иОКТ

Данные иОКТ	Группа №2 А, (n=25)	Группа №2 Б, (n=25)
• Флюктуация ЗКХ	6	8
• Смещение ЗКХ кпереди до уровня переднего капсулорексиса	4	4
• Отслойка ПГ полная/частичная	5/1	8/6
• Гипер-рефлективный материал в пространстве Бергера	4	5



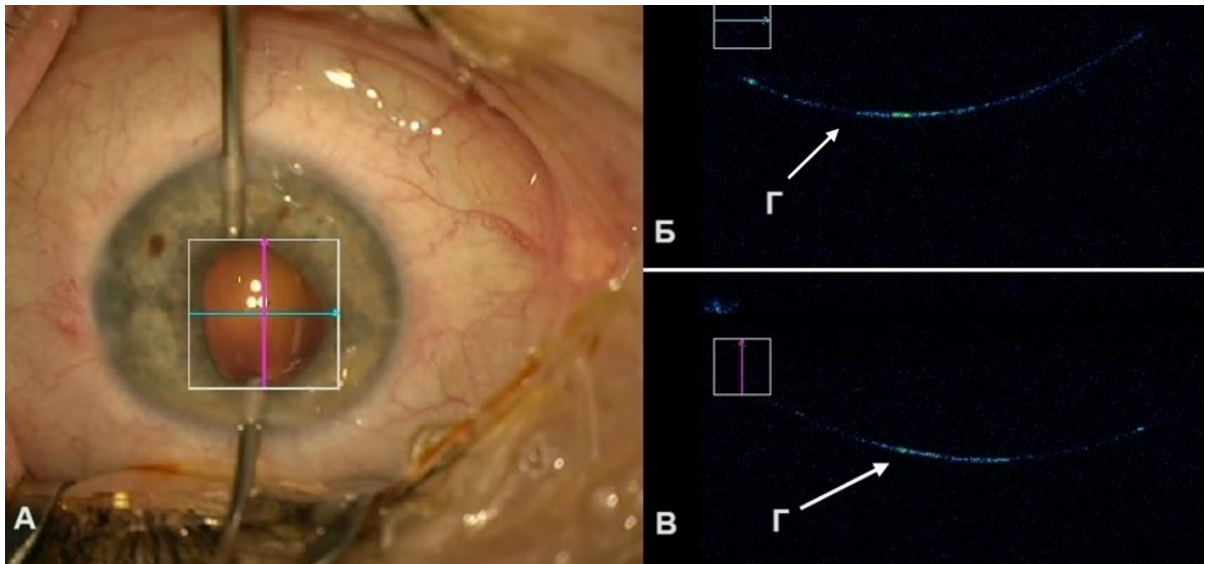
А – этап проведения ФЭК у пациента

Б – горизонтальное сканирование

В – вертикальное сканирование

Г – ЗКХ

Рисунок 24 – иОКТ-сканирование ретролентального пространства до удаления кортикальных масс на ирригационной подаче



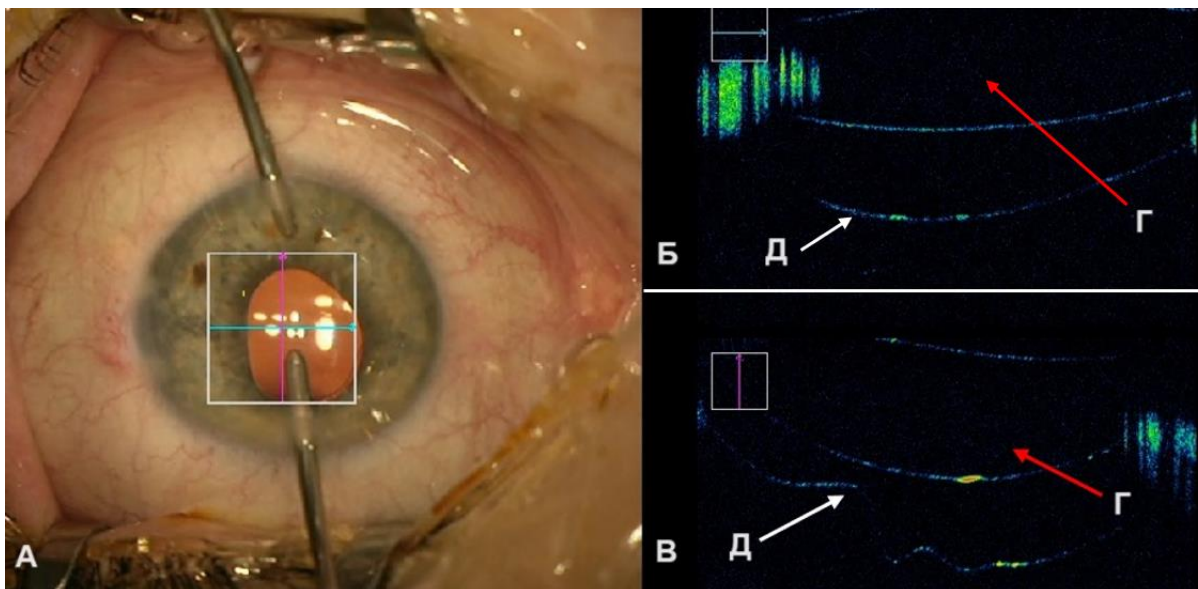
А – этап проведения ФЭК у пациента

Б – горизонтальное сканирование

В – вертикальное сканирование

Г – ЗКХ

Рисунок 25 – иОКТ-сканирование ретролентального пространства после удаления кортикальных масс на ирригационной подаче



А – этап ФЭК на человеческом глазу

Б – горизонтальное сканирование

В – вертикальное сканирование

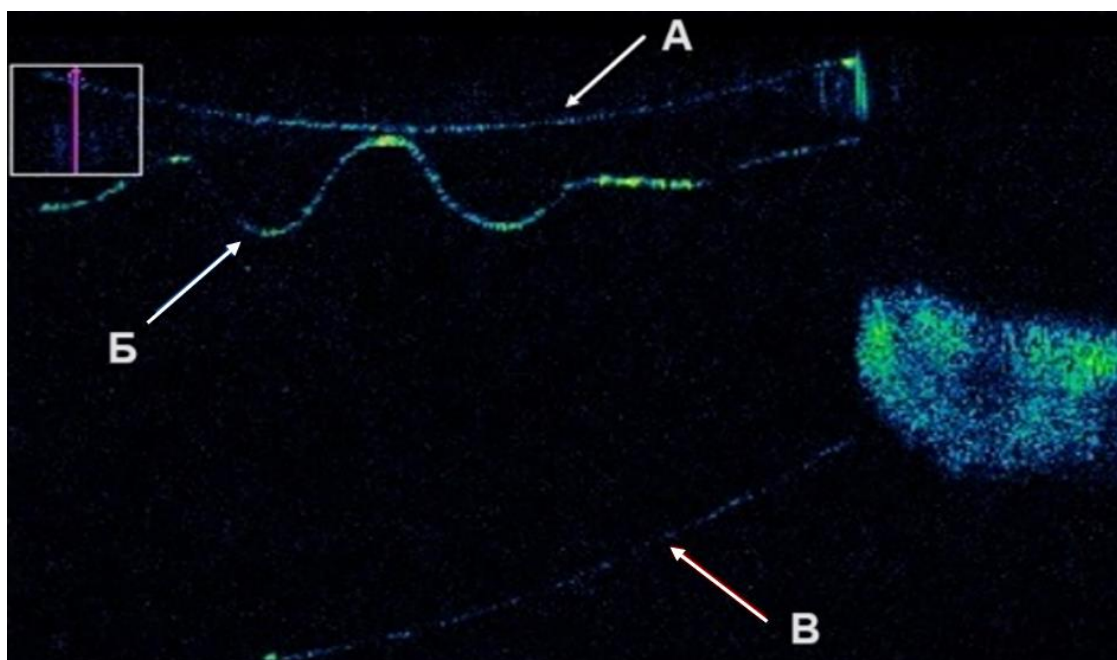
Г – ИОЛ

Д – ЗКХ

Рисунок 26 – иОКТ-сканирование ретролентального пространства после имплантации ИОЛ без ирригационной подачи

В группе №2 А во время хирургического лечения при помощи иОКТ отслойку ПГ наблюдали в 24% случаев (6 из 25 глаз) (Рисунок 27). Также в ходе операции отмечали выпадение радужной оболочки в хирургический доступ, что произошло в 8% случаев (2 из 25 глаз), как правило на этапе выведения наконечника факоэмульсификатора для смены его на ирригационной-аспирационные канюли.

Среди пациентов группы №2 Б интраоперационно отслойка ПГ была зафиксирована в 56% случаев (14 из 25 глаз). В 4% случаев (1 из 25 глаз) наблюдали разрыв ЗКХ на этапе факоэмульсификации в результате контакта УЗ-иглы с ЗКХ в момент избыточной экскурсии последней на финальном этапе удаления ядра хрусталика.



А – край ИОЛ

Б – ЗКХ

В – полная отслойка ПГ

Рисунок 27 - иОКТ-сканирование ВЛИ

Таким образом, применение иОКТ во время ультразвуковой ФЭК с имплантацией ИОЛ позволило выявить интраоперационные особенности состояния ВЛИ, частичную или полную отслойку ПГ и признаки СИДИП, таких как флюктуация ЗКХ, прогиб ее впереди, хрусталиковый детрит в

ретролентальном пространстве, а также вовремя оценить интраоперационные осложнения, такие как разрыв ЗКХ, что было зафиксировано в 4% случаев в описанном исследовании.

5.4. Анализ клинико-функциональных результатов в послеоперационном периоде

В раннем послеоперационном периоде (в течение первых суток после операции) с помощью ОКТ SOLIX (Optovue, США) в режиме «FullRange AC» было подтверждено наличие только тех отслоек ПГ, что были визуализированы интраоперационно в обеих группах.

На первые сутки после операции у четырех пациентов было зафиксировано повышение ВГД более 27 мм рт.ст., что было купировано медикаментозно (ингибиторами карбоангидразы) в течение недели. После проведенного хирургического лечения у всех пациентов улучшились клинические и функциональные параметры, данные приведены в Таблице 8 (Рисунок 28,29).

Таблица 8 - Данные максимально корригированной остроты зрения и внутриглазного давления у пациентов двух групп до операции и в послеоперационном периоде

Сроки	Группа №2 А, (n=25)	Группа №2 Б, (n=25)
МКОЗ М±SD		
До операции	0,3±0,1	0,4±0,1
1 мес. п/о	0,8±0,1	0,9±0,1
3 мес. п/о	0,9±0,1	0,9±0,1
ВГД мм рт.ст М±SD		
До операции	16,5±2,9	16,0±2,7
1 мес. п/о	15,8±2,4	15,8±2,0
3 мес. п/о	16,1±2,8	15,8±2,0

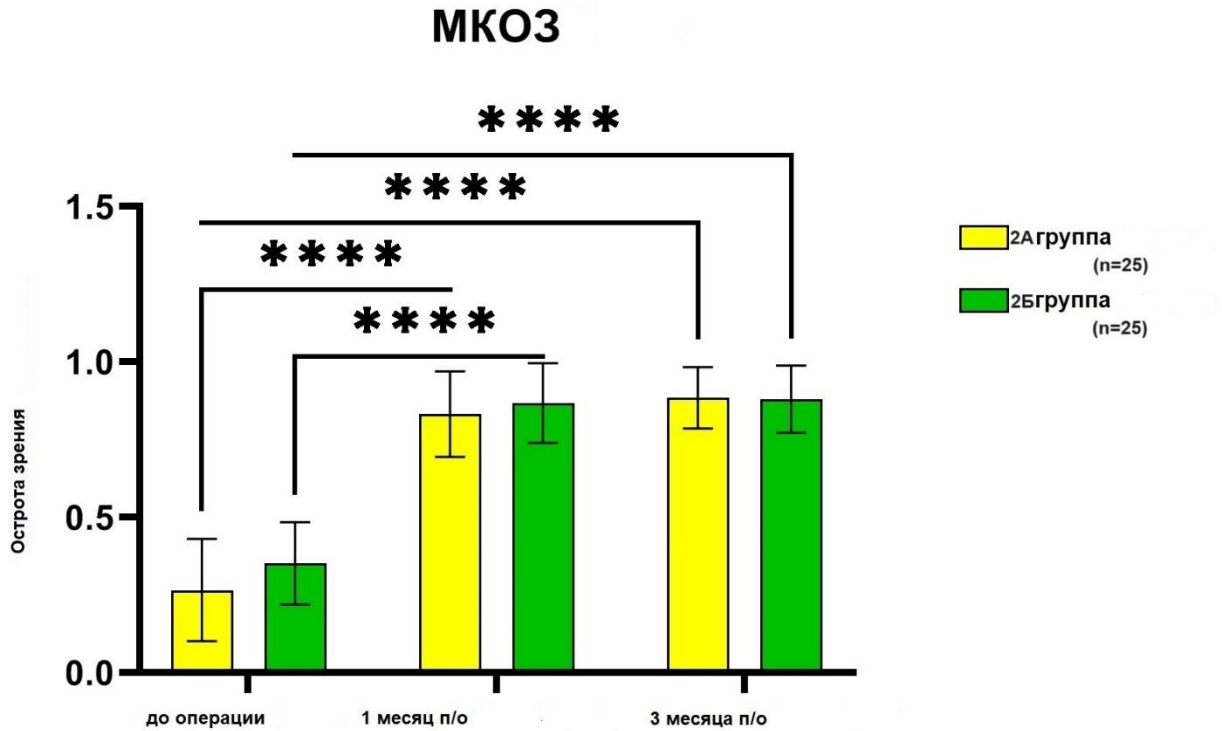


Рисунок 28 - Динамика максимально корригированной остроты зрения у пациентов двух групп

При сравнении показателей в различных точках исследования были обнаружены следующие статистически значимые различия: между состоянием до операции и первым месяцем в группе №2 А ($p < 0,0001$), между состоянием до операции и третьим месяцем в группе №2 А ($p < 0,0001$), между состоянием до операции и первым месяцем в группе №2 Б ($p < 0,0001$), между состоянием до операции и третьим месяцем в группе №2 Б ($p < 0,0001$).

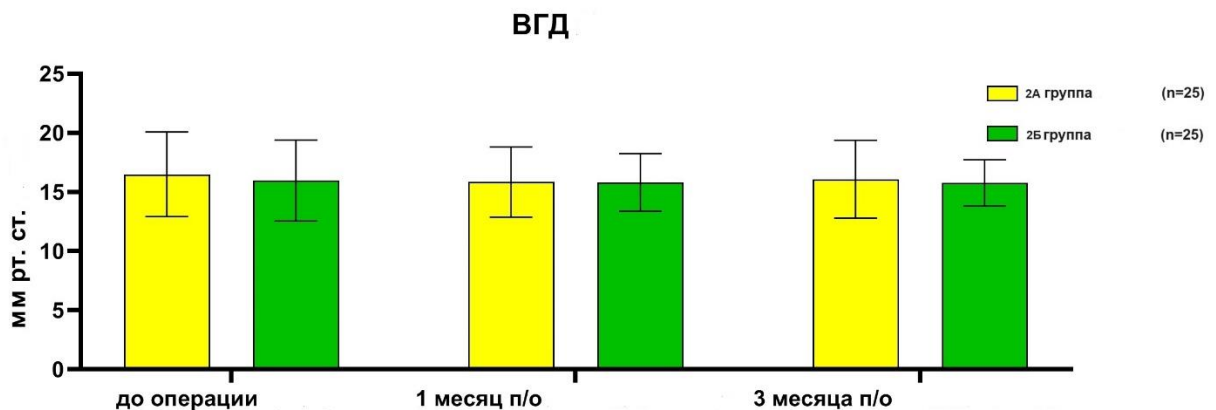
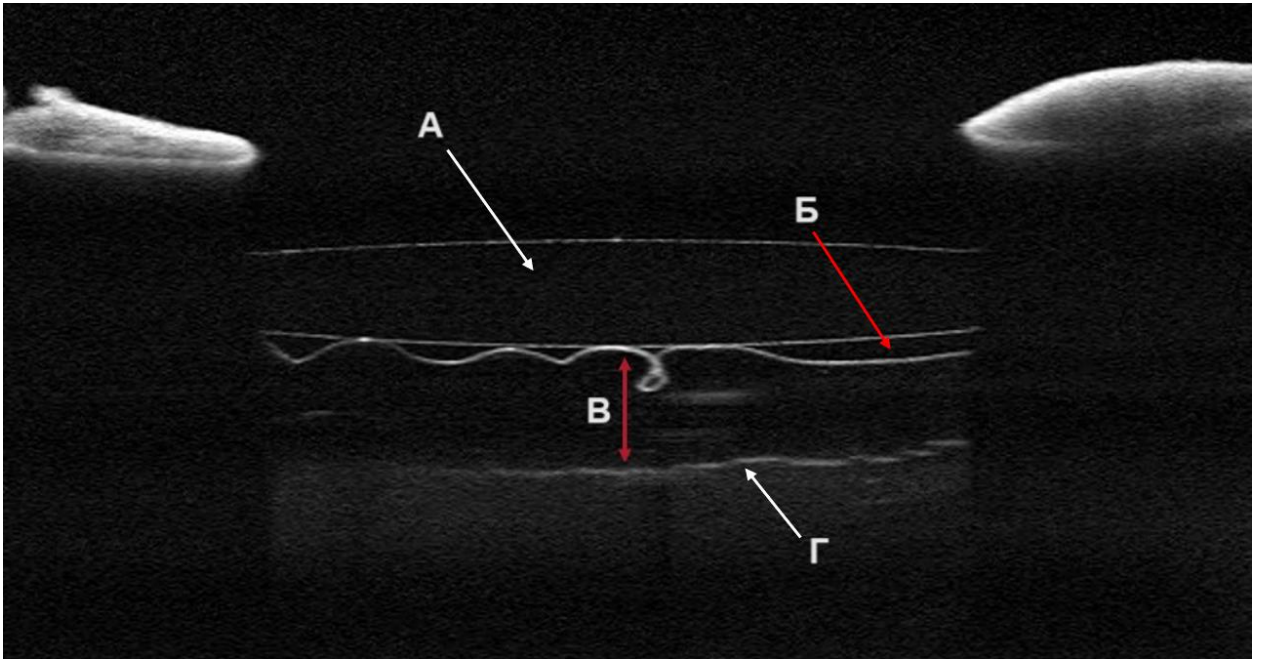


Рисунок 29 - Динамика внутриглазного давления у пациентов двух групп

При попарном сравнении показателя в различных точках исследования не было выявлено статистически значимых различий.

При анализе полученных изображений было обнаружено гипорефлективное ретролентальное пространство между задней капсулой хрусталика и передним гиалоидом. Всем пациентам было выполнено измерение расстояния «ЗКХ-ПГ» в 3-х точках. По центру за ИОЛ и отступая по 3 мм вправо и влево от центральной точки. В ходе сканирования, которое проводилось многократно в горизонтальном и вертикальном направлениях, учитывались изменения положения стекловидного тела при движении глаз вправо и влево, а также вверх и вниз. После возвращения СТ в исходное положение были получены следующие средние значения расстояния между «ЗКХ-ПГ»: по центру за ИОЛ $825,1 \pm 118,6$ мкм, на расстоянии в 3 мм от центральной точки вправо $708,7 \pm 115,2$ мкм и влево $791,4 \pm 115,6$ мкм у пациентов группы №2 А. У пациентов группы №2 Б расстояние «ЗКХ-ПГ» по центру за ИОЛ составило в среднем $827,3 \pm 120$ мкм, на расстоянии в 3 мм от центральной точки вправо $747,2 \pm 112,2$ мкм и влево $758,7 \pm 79,1$ мкм. Таким образом, исходя из полученных данных, при зафиксированной интраоперационно отслойке ПГ во время ультразвуковой ФЭК с имплантацией ИОЛ, применение метода «Вискоблок» на расстояние «ЗКХ-ПГ» не оказывает влияния (Рисунок 30, 31).



А – ИОЛ

Б – ЗКХ

В – расстояние между ЗКХ и ПГ

Г – ПГ

Рисунок 30 - ОКТ-сканирование ВЛИ

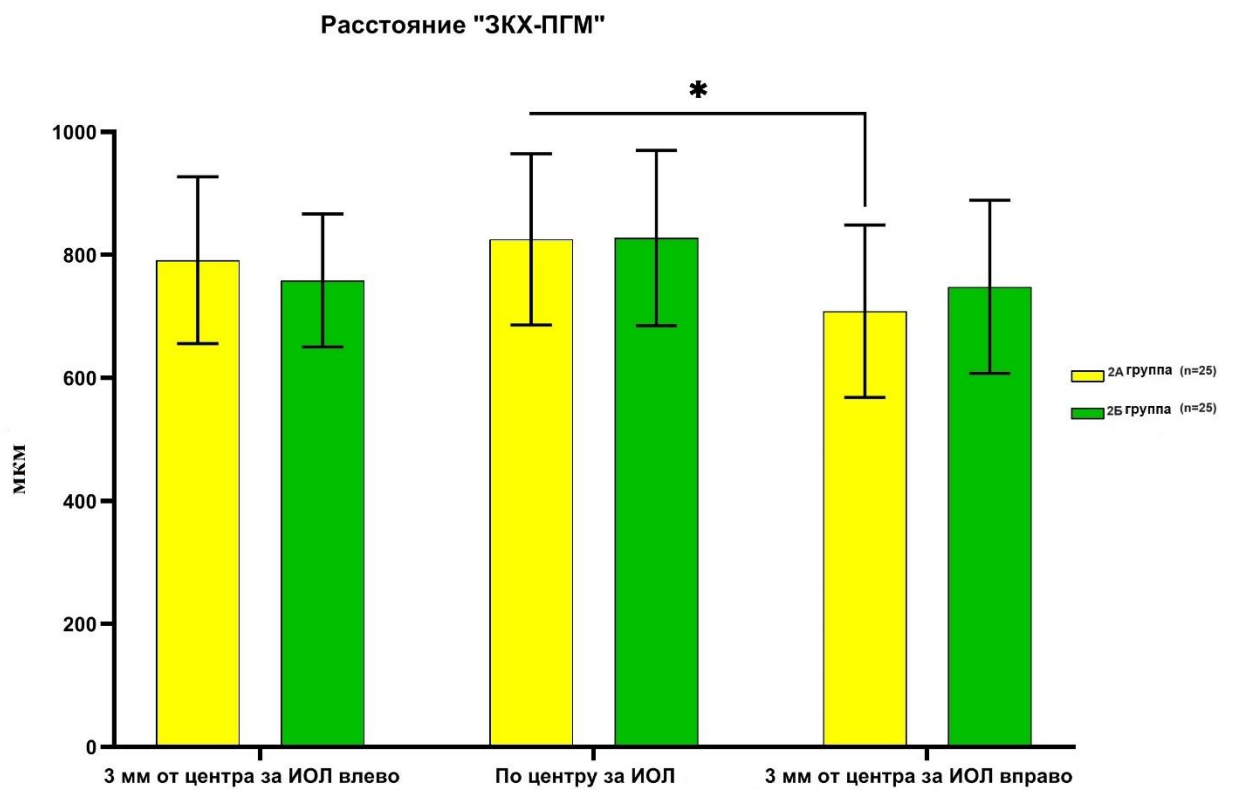


Рисунок 31 - Расстояние «ЗКХ-ПГ» в трех точках у двух групп

При анализе показателей в различных точках исследования были обнаружены следующие статистически значимые различия между дистанцией «ЗКХ-ПГ» по центру за ИОЛ и на расстоянии 3 мм от центра за ИОЛ в группе №2 А ($p < 0,0386$).

Таким образом, на основании сравнительного анализа клинико-функциональных результатов пациентов, прооперированных стандартным способом ФЭК и с использованием метода «Вискоблок», доказана безопасность применения разработанного метода. Во всех случаях в послеоперационном периоде отмечалась высокая острота зрения и стабильное ВГД. Установлено, что разработанный метод не влияет на дистанцию «ЗКХ-ПГ» в случаях с зафиксированной интраоперационно отсложкой ПГ во время ФЭК.

Применение метода «Вискоблок» во время ФЭК у пациентов с нарушением связочного аппарата хрусталика под контролем иОКТ, позволяет эффективно ограничить проникновение ирригационного потока сквозь ЦС в 76% случаев, сохраняя целостность структур ВЛИ. Однако, не исключены и недостатки данного метода, к ним относится выпадение радужной оболочки в операционную рану, что зафиксировано в 8% случаев в представленном исследовании.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Катаракта является одной из основных причин слепоты во всем мире. В 80% случаев нарушения остроты зрения наблюдаются у пациентов старшей возрастной группы (от 60 лет). Более чем в 80% случаев зрительные функции, сниженные за счет катаракты, могут быть полностью восстановлены после проведения хирургического лечения. Но несмотря на значительные успехи в этой области, катаракта остается одной из важнейших проблем общественного здравоохранения из-за нехватки хирургических средств и кадров, особенно в развивающихся странах, а также увеличения численности лиц с катарактой вследствие старения и роста населения [8].

Распространенность катаракты в Европе, США и Австралии является значительной - от 5% до 30% [117]. В Иране равна таковым в некоторых других азиатских странах, таких как Тайвань (10,7%) и Сингапур (9,7%), но выше, чем в таких странах, как Индонезия (2,2%) и Непал (5,3%) [68]. В России заболеваемость катарактой оценивается как 1200 на 100 тыс. населения ежегодно, причем на долю возрастной катаракты приходится более 90% всех случаев [2].

Единственным эффективным способом лечения катаракты является хирургическое вмешательство. В настоящее время выполняется наиболее современное и высокотехнологичное вмешательство – ультразвуковая ФЭК с имплантацией ИОЛ. В нашей стране проводится более 500 тыс. операций по поводу хирургии катаракты в год. Эта процедура стала эффективной и безопасной благодаря внедрению малоинвазивных методик и наличию инновационного оборудования. Однако, несмотря на хорошо изученную методику операции, вероятность возникновения интраоперационных осложнений ультразвуковой ФЭК в виде разрыва ЗКХ, выпадения СТ, зонулярного диализа и вывиха ядра - не исключена. Значительно чаще упомянутые осложнения наблюдают у пациентов с ПЭС. Несмотря на достижения в области оборудования и усовершенствовании методики, ПЭС

сопряжен с риском хирургических осложнений [5,78]. Также возможно развитие СИДИП, проявлениями которого являются: миграция микрофрагментов хрусталика в ретролентальное пространство, различные варианты повреждения ПГ с гидратацией передних слоев СТ при сохранности ЗКХ, пролабирование ЗКХ в переднюю камеру и др. Интраоперационная визуализация хрусталикового детрита после ФЭК в ретролентальном пространстве при помощи иОКТ была описана в нескольких работах [29, 106]. Системы иОКТ не так давно были интегрированы в операционные микроскопы, но это обеспечило хирургу полезную обратную связь как с передним, так и с задним отрезками глаза [105,131]. Интраоперационная ОСТ - это неинвазивный метод, работающий в режиме реального времени и обладающий высоким разрешением, который позволяет получать изображения тончайших глазных структур даже через среды со сниженной прозрачностью. Однако на сегодняшний день степень реальной пользы от применения иОКТ в общей клинической практике до сих пор остается спорной [29].

Целью настоящей диссертационной работы явилась разработка оптимизированного метода ультразвуковой ФЭК, на основе исследования витреолентикулярного интерфейса, с использованием дисперсивного вискоэластика, обеспечивающего профилактику СИДИП, контролируемого при помощи, встроенной в микроскоп систему иОКТ.

При решении первой задачи было предложено изучить диагностические возможности иОКТ и определить последовательность применения иОКТ для интраоперационной оценки структур переднего отрезка глаза во время ФЭК. Данный этап работы был основан на анализе результатов стандартно выполненной ультразвуковой ФЭК с имплантацией ИОЛ у 50 пациентов (50 глаз) с применением иОКТ на разных этапах хирургического лечения. В данной группе проводилось пошаговое применение иОКТ с оценкой структур переднего отрезка, а также регистрацией возникших признаков СИДИП и интраоперационных осложнений.

Последовательная оценка анатомических структур переднего отрезка глаза, проводимая при помощи иОКТ во время ФЭК, была структурирована и представлена в настоящей работе. Применение иОКТ при ФЭК являлось пошаговым, начиналось с передней поверхности глазного яблока и продвигалось к глубжележащим структурам. А именно, вначале иОКТ оценивалась роговица, далее переходили к передней камере глаза и состоянию радужной оболочки, следом визуализировали хрусталик и его капсулу, в конце приступали к изучению ВЛИ и его передних структур. Интеграция ОКТ в операционный микроскоп открыла хирургам возможность точной визуализации тканей переднего сегмента, а также устройство облегчило хирургические манипуляции и предоставило ценную информацию для принятия решений во время операций на переднем отрезке [30]. В отечественной и зарубежной литературе данных о применении подробной пошаговой структуры применения данной технологии не встречено.

В группе исследования №1 иОКТ были зафиксированы следующие признаки СИДИП: смещение ЗКХ до уровня переднего капсулорексиса в 34% случаях, а до уровня радужной оболочки и выше в 8% случаях; наличие хрусталиковых масс в ретролентальном пространстве в 24% случаях. Дополнительно методом иОКТ были зарегистрированы интраоперационные осложнения: разрыв ЗКХ в 4% случаях; выпадение радужной оболочки в хирургические доступы в 6% случаях; гидродиссекция, прошедшая между ядром и кортикальным слоем зафиксирована в 52% случаях.

Большая часть выявленных признаков СИДИП в группе исследования №1 зарегистрированы при помощи иОКТ в ходе хирургического лечения. Их визуализация дала возможность вовремя предпринять меры во время операционного лечения.

Таким образом, предложенная последовательность использования иОКТ при ФЭК дает хирургу полное представление о передних структурах глаза, позволяет в полной мере визуализировать этапы операции на каждом уровне в режиме реального времени и отслеживать взаимодействие между

хирургическими инструментами и оперируемой тканью, помогает предотвратить или обнаружить интраоперационные осложнения на ранних этапах.

Затем путем математического моделирования определяли закономерности гидродинамического взаимодействия ирригационного потока с ВЛИ во время ультразвуковой ФЭК, при целостном и нарушенном связочном аппарате хрусталика. Возможности проникновения ирригационной жидкости сквозь ЦС в пространство Бергера при различной степени сохранности связочного аппарата и наличии вязкого защитного слоя – вискоэластика с целью профилактики отслойки ПГ и сохранения Бергера пространства.

Полученные данные позволили рассчитать поток ирригационной жидкости при разном давлении водного столба, в соответствии с законом Дарси и уравнением Пуазейля, приведенными выше, для сохраненных ЦС, для нарушенных ЦС и для нарушенных ЦС, «покрытых» ВЭ. Были представлены зависимости доли прохождения ирригационного потока (в %) сквозь ЦС в пространство Бергера от коэффициента проницаемости при различных значениях давления ирригации. Значения коэффициента проницаемости ЦС рассматривали в диапазоне от 0,0010 до 0,0018 Д.

Таким образом, с помощью математического моделирования было выявлено, что ЦС в норме можно считать проницаемой мембраной с коэффициентом проницаемости 0,014 Д. При таком значении проницаемости ирригационная жидкость практически не проникает в пространство Бергера. Также доказано, что при нарушенном связочном аппарате, когда часть связок отсутствует и толщина ЦС уменьшена, ирригационная жидкость может частично (20%) попадать в пространство Бергера, что согласовывается с клиническими данными. При нарушенном связочном аппарате защитный слой ВЭ снижает проникновение ее в пространство Бергера до 20%, что согласовывается с клиническими данными, полученными в представленной работе.

При решении третьей задачи проведено гистологическое исследование строения ВЛИ и разработана экспериментальная модель СИДИП во время ФЭК на изолированных свиных глазах.

Под контролем иОКТ в ходе экспериментальной ФЭК форсированная инъекция ирригационного раствора на свином глазу обеспечила частичную отслойку ПГ только в одном случае из семи представленных, что связано с особенностями его строения, а именно более плотной адгезией структур ВЛИ и толщиной ЗКХ в 2 раза превышающей таковую человеческого глаза.

Таким образом, добиться наглядных результатов нарушения ВЛИ во время хирургических манипуляций не удалось, так как в представленной диссертационной работе для свиных глаз использовали параметры, применяемые для хирургического лечения пациентов: высота флакона с ирригационным раствором 75 см над уровнем глаз, вакуум 550 мм рт. ст., УЗ 35%, 160 пульсов/мин. А использование гидродинамических настроек, применяемых во время ФЭК в реальной клинической практике, не обеспечивает нарушения ВЛИ при сохранном связочном аппарате хрусталика. Полученный результат не соответствовал данным известной литературы, так как в настоящей работе были использованы щадящие параметры ФЭК [56,75].

Для решения четвертой задачи было предложено разработать хирургический метод профилактики СИДИП при ФЭК с использованием дисперсивного вискоэластика.

Для «Вискоблока» было принято решение использовать дисперсивный вискоэластик - Вискот (смесь 4% хондроитин сульфата и 3% гиалуроната натрия) (Viscoat, Alcon, США), имеющий меньшую скорость вымывания. Он облегчает проведение ФЭК благодаря поддержанию глубокой передней камеры во время операции, улучшению визуализации и защиты роговичного эндотелия. Основным его недостатком является склонность к повышению ВГД в послеоперационном периоде, особенно в случае неполного вымывания из полости глаза, а полное вымывание труднодостижимо из-за его большой покрывающей способности [72,127].

Так как целостность связочного аппарата хрусталика и структур ВЛИ играет важную роль в хирургии катаракты. В настоящем исследовании важным критерием включения пациентов в основную и контрольную группы было нарушение целостности связочного аппарата хрусталика в 3-4 исследуемых участках (на 12, 3, 6 и 9 часах), а именно частичный или полный отрыв задней порции волокон ЦС, в то время как передняя и средняя порции были сохранены по данным УБМ. Нарушение связочного аппарата у пациентов с ПЭС и пониженной толерантностью к хирургическим манипуляциям, увеличивает риск развития СИДИП [5,64,92]. Также у всех пациентов при дооперационной диагностике переднего отрезка глаза при помощи ОКТ SOLIX (Optovue, США) в режиме «FullRange AC» была зарегистрирована плотная адгезия ПГ к ЗКХ, без исходной отслойки ПГ. В исследование вошло 50 пациентов (50 глаз), которые в последующем были разделены на две группы: №2 А (основная) – 25 пациентов (25 глаз) и №2 Б (контрольная) – 25 пациентов (25 глаз). В основной группе проводили ФЭК с имплантацией ИОЛ и применением метода «Вискоблок», в контрольной группе ФЭК с имплантацией ИОЛ проводили по стандартной методике.

Особенность метода «Вискоблок» [19] заключалась в инъекции ВЭ Вискот под радужную оболочку по всей окружности ЦС непосредственно перед выполнением этапа капсулорексиса. При этом, через основной разрез вводился ВЭ в количестве 0,1-0,2 мл сначала в центр передней камеры, далее - под радужную оболочку, непосредственно над ЦС с 12ч до 6ч на протяжении 180 угловых градусов. Через парацентез на 12ч ВЭ вводили с 6ч до 9ч на протяжении 90 угловых градусов и через парацентез на 6ч – с 9ч до 12ч, также на протяжении 90 угловых градусов. Таким образом, введенный ВЭ, располагался в виде «бублика» на протяжении 360 угловых градусов над ЦС. На сегодняшний день в литературе не представлено способов интраоперационной профилактики СИДИП при выполнении ФЭК у пациентов с нарушением целостности связочного аппарата хрусталика.

Послеоперационный период протекал гладко, за исключением четырех случаев транзиторного повышения внутриглазного давления более 27 мм рт.ст., контролируемого медикаментозно (ингибиторами карбоангидразы) в течение недели. В послеоперационном периоде всем пациентам была назначена стандартная антибактериальная и противовоспалительная терапия в течении 4 недель, а также на первые сутки после операции гипотензивная терапия (ингибиторы карбоангидразы).

Для решения пятой задачи необходимо было проанализировать полученные при помощи иОКТ данные о целостности ВЛИ во время ФЭК в основной и контрольной группах. При выполнении классической методики ФЭК с сохранением целостности ЗКХ возможно два варианта повреждения ВЛИ: полная и частичная отслойка ПГ. Полную отслойку ПГ в группе №2 А наблюдали в 5 (20%) случаях, в №2 Б в 8 (32%) случаях, а частичную – в группе №2 А в 1 (4%) случае, в №2 Б в 6 (24%) случаях. Наличие микрочастиц хрусталика на поверхности ПГ и в пространстве Бергера зафиксировали в 4 (16%) случаях в группе №2 А, в группе №2 Б в 5 (20%) случаях. Эти осложнения могут быть вызваны чрезмерной ирригацией BSS в переднюю камеру, под действием ирригационных потоков, попадающих через ЦС в пространство Бергера, а также избыточной гидродиссекцией кортикальных слоев хрусталика [5,56,75]. Также с помощью иОКТ был выявлен сдвиг ЗКХ до уровня переднего капсулорексиса в обеих группах в 4 (16%) случаях. Полученный результат не соответствует данным литературы, по причине различий между группами пациентов, стадиями зрелости катаракты, коморбидности, а также разных критериев исключения, используемых при отборе пациентов [29].

При решении шестой задачи проводился анализ клинико-функциональных результатов хирургического лечения катаракты у пациентов основной и контрольной групп, прооперированных классическим способом ультразвуковой ФЭК и с разработанным методом «Вискоблок».

Проводили оценку МКОЗ вдаль и ВГД до и после проведенного хирургического вмешательства через 1 и 3 месяца. При сравнении средних значений МКОЗ в основной группе была увеличена с $0,3 \pm 0,1$ дооперационных данных до $0,8 \pm 0,1$ на первый месяц после операции и $0,9 \pm 0,1$ на третий месяц после операции ($p < 0,0001$). В контрольной группе – с $0,4 \pm 0,1$ дооперационных данных до $0,9 \pm 0,1$ на первый месяц после операции и $0,9 \pm 0,1$ на третий месяц после операции ($p < 0,0001$). Во всех случаях удалось добиться высокой послеоперационной остроты зрения. Также оценивали ВГД в основной группе до операции $16,5 \pm 2,9$ мм рт. ст., в первый месяц после операции $15,8 \pm 2,4$ мм рт. ст., на третий месяц после операции $16,1 \pm 2,8$ мм рт. ст. В контрольной группе – до операции $16,0 \pm 2,7$ мм рт. ст., в первый месяц после операции $15,8 \pm 2,0$ мм рт. ст., на третий месяц после операции $15,8 \pm 2,0$ мм рт. ст. При попарном сравнении в различных точках исследования не было выявлено статистически значимых различий ВГД.

В ходе операции под действием ирригационных потоков наряду с отслойкой ПГ происходит и расширение ретролентального пространства. Определенный научный интерес представляет изучение состояния ВЛИ у пациентов после экстракции катаракты и имплантации ИОЛ в капсульный мешок. Данные, полученные на первые сутки после операции при помощи ОКТ, соответствуют данным литературы (в среднем – около 800 мкм) [103]. У пациентов с отслойкой ПГ дистанция «ЗКХ – ПГ», измеренная по центру оптики ИОЛ в группе №2 А, составляет $825,2 \pm 118,6$ мкм, в группе №2 Б – $827,3 \pm 120$ мкм ($p=0,9704$). Исходя из полученных результатов, при зафиксированной отслойке ПГ после ФЭК применение метода «Вискоблок» на дистанцию «ЗКХ-ПГ» не влияет.

Таким образом, разработанный хирургический метод «Вискоблок» при ФЭК позволяет разобщить переднюю и заднюю камеру и, тем самым, предотвратить возникновение СИДИП, а также интра- и послеоперационных осложнений, связанных с разрывом связки Вигера и отслойкой передних кортикальных слоев. Результаты, полученные с помощью ОКТ убедительно

показали возможность профилактики отслойки ПП, которая встречалась в основной группе почти в два раза реже (24%), чем в контрольной (56%).

ВЫВОДЫ

1. Доказано, что интраоперационная оптическая когерентная томография - важный метод дополнительной уточняющей визуализации операционного поля, обеспечивающий оценку взаимоотношений задней капсулы хрусталика и переднего гиалоида, целостности витрео-лентикулярного интерфейса и задней капсулы хрусталика, локализацию волны гидродиссекции, а также позволяющий верифицировать наличие и расположение хрусталикового детрита в пространстве Бергера. К недостаткам метода относятся невозможность изучения геометрических размеров структур в режиме реального времени, а также увеличение продолжительности оперативного вмешательства, что нивелируется вышеперечисленными преимуществами. Отработана оптимальная последовательность изучения структур переднего отрезка глаза с использованием иОКТ во время ультразвуковой ФЭК с имплантацией ИОЛ и даны практические рекомендации по данному вопросу.

2. Математическое моделирование показало, что Циннову связку в норме можно считать частично проницаемой мембраной с коэффициентом равным 0,014 Д. При таком значении ирригационная жидкость минимально проникает в пространство Бергера. Однако, при нарушенном связочном аппарате, когда часть Цинновых связок отсутствует, а толщина других уменьшена, ирригационная жидкость может частично (до 20% объема) попадать в ретролентальное пространство, что приводит к прогибу задней капсулы вперед. Защитный слой вискоэластика снижает проникновение ирригационной жидкости в пространство Бергера на 20% и создает предпосылки для безопасного проведения ультразвуковой ФЭК с имплантацией ИОЛ.

3. Гистологическое изучение строения переднего отрезка свиного глаза выявило плотную адгезию структур витрео-лентикулярного интерфейса и толщину задней капсулы хрусталика в 2 раза превышающей таковую у

человека. В силу этого, экспериментальное моделирование синдрома девиации ирригационного потока в ходе экспериментальной ФЭК под контролем иОКТ и с использованием гидродинамических настроек, применяемых во время ФЭК в реальной клинической практике не обеспечило нарушения ВЛИ на экспериментальном глазу, а применение форсированной инъекции ирригационного раствора позволило получить частичную отслойку переднего гиалоида лишь в одном случае из семи.

4. Разработан хирургический метод профилактики СИДИП во время ФЭК, обеспечивающий разобщение переднего и заднего отрезков глазного яблока, названный «Вискоблок», и заключающийся в инъекции дисперсивного вискоэластика под радужку по всей окружности ЦС непосредственно перед этапом выполнения капсулорексиса и выполняемый под контролем иОКТ. Введенный ВЭ, располагается в пространстве, ограниченном сверху радужкой, снизу хрусталиком и связочным аппаратом хрусталика с ресничными отростками и снаружи - бороздой цилиарного тела, что ограничивает попадание тока ирригационной жидкости из передней камеры глаза в пространство Бергера.

5. Применение метода «Вискоблок» во время ФЭК у пациентов с исходным нарушением целостности связочного аппарата хрусталика эффективно ограничивает проникновение ирригационного потока сквозь ЦС до 24% по сравнению с 56% в контроле. К недостатку метода «Вискоблок» относится повышенный риск выпадения радужной оболочки в операционную рану, что в исследовании отмечено в 8% случаев, однако оно было своевременно купировано и не повлекло за собой развития в послеоперационном периоде воспалительных осложнений, образования передних синехий или деформации зрачка.

6. У пациентов, оперированных с использованием метода «Вискоблок», не было отмечено дисрегуляции офтальмотонуса в послеоперационном периоде, высокая максимально скорректированная острота зрения констатирована на всех сроках наблюдения, также отмечено, что при наличии

интраоперационной отслойки ПГ применение метода «Висколбок» не влияло на величину дистанции «ЗКХ-ПГ» которая в послеоперационном периоде составила $825,2 \pm 118,6$ мкм и $827,3 \pm 120$ мкм в основной и контрольной группах соответственно.

ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

1. Для оценки структур переднего отрезка глаза рекомендовано последовательное использование иОКТ во время ультразвуковой ФЭК с имплантацией ИОЛ. А именно, вначале иОКТ необходима визуализация роговицы, передней камеры глаза и состояния радужной оболочки, следом хрусталика и его капсулы, далее ВЛИ и его передние структуры. Представленная в работе последовательность оценки структур переднего отрезка глаза с его использованием обеспечивает снижение рисков возникновения интра- и послеоперационных осложнений.

2. Для повышения анатомических и клинико-функциональных результатов хирургического лечения катаракты, осложненной ПЭС и нарушением целостности ЦС, рекомендован к применению, разработанный хирургический метод «Вискоблок» с использованием дисперсивного вискоэластика. После введения вискоэластика над ЦС рекомендовано приступить к ФЭК не сразу, а после его перераспределения. Также обязательным является назначение гипотензивного режима (ингибиторов карбоангидразы) всем пациентам в первые сутки после операции.

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

- ВОЗ** – Всемирная Организация Здравоохранения
- ВЛИ** – витреолентикулярный интерфейс
- ВГД** – внутриглазное давление
- ВЭ** – вискоэластик
- ДЗН** – диск зрительного нерва
- ДМ** – Десцеметова мембрана
- ЗКХ** – задняя капсула хрусталика
- ИОЛ** – интраокулярная линза
- иОКТ** – интраоперационная оптическая когерентная томография
- Me** – медиана
- МКОЗ** – максимально скорректированная острота зрения
- ОКТ** – оптическая когерентная томография
- ПГ** – передний гиалоид
- ПЗО** – переднезадняя ось
- ПЭС** – псевдоэксфолиатичный синдром
- СИДИП** – синдром итраоперационной девиации ирригационного потока
- СТ** – стекловидное тело
- УБМ** – ультразвуковая биомикроскопия
- УЗ-игла** – ультразвуковая игла
- ФЭК** – факоэмульсификация катаракты
- ЦС** – Циннова связка
- BSS** – сбалансированный солевой раствор
- IFIS** – синдром «хлопающей» радужки
- PPV** – витрэктомия pars plans

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Анатомотопографические особенности передних кортикальных слоев стекловидного тела / Н.М. Кислицына, С.В. Новиков, С.В. Колесник, М.П. Веселкова. – DOI: 10.25276/0235-4160-2017-1-66-71. – Текст : непосредственный // Офтальмохирургия. – 2017. – № 1. – С. 66-71.
2. Бранчевский, С.Л. Распространенность нарушения зрения вследствие катаракты по данным исследования РААВ в Самаре / С.Л. Бранчевский, Б.Э. Малюгин. – Текст : непосредственный // Офтальмохирургия. – 2013. – № 3. – С. 82-85.
3. Всемирный доклад о проблемах зрения [World report on vision] / Всемирная организация здравоохранения. – Женева, 2020. – Текст : электронный // Всемирная организация здравоохранения : [офиц. сайт]. – URL: <https://iris.who.int/bitstream/handle/10665/328717/9789240017207-rus.pdf?sequence=64&isAllowed=y> (дата обращения: 19.04.2024).
4. Егорова, Е.В. Витреолентикулярный интерфейс / Е.В. Егорова, А.К. Лазарева. – DOI: 10.25276/0235-4160-2019-4-60-66. – Текст : непосредственный // Офтальмохирургия. – 2019. – № 4. – С. 60-66.
5. Егорова, Е.В. Патогенетически ориентированная технология хирургии катаракты при псевдоэкзофолиативном синдроме на основе исследования витреолентикулярного интерфейса : специальность 14.01.07 «Глазные болезни» : диссертация на соискание ученой степени доктора медицинских наук / Егорова Елена Владиленовна ; [Место защиты : Федеральное государственное автономное учреждение «Национальный медицинский исследовательский центр «Межотраслевой научно-технический комплекс «Микрохирургия глаза» имени академика С.Н. Федорова» Министерства здравоохранения Российской Федерации]. – Москва, 2020. – 297 с. – Текст : непосредственный.

6. Егорова, Е.В. Синдром девиации инфузионных потоков: современное состояние вопроса / Егорова Е.В., И.С. Ребриков. – DOI: 10.25276/0235-4160-2022-4-74-84. – Текст : непосредственный // Офтальмохирургия. – 2022. – № 4. – С. 7484.
7. Кашперская, Д.В. Интраоперационные осложнения при факоэмульсификации катаракты: факторы риска, частота, прогноз / Д.В. Кашперская, Е.С. Князева, С.А. Коротких. – DOI: 10.25276/2686-6986-2018-1-115-118. – Текст : непосредственный // Отражение. – 2018. –Т. 1, № 6. – С. 115-118.
8. Королева, И.А. Возрастная катаракта: профилактика и лечение / И.А. Королева, Е.А. Егоров. – Текст : непосредственный // Русский медицинский журнал. Клиническая офтальмология. – 2018. – Т.18, № 4. – С. 194-198.
9. Кросс-платформенная библиотека численного анализа ALGLIB : [сайт]. – URL: www.alglib.net/decision-forest/random-forest-benchmarks.php (дата обращения: 19.04.2024). – Текст : электронный.
10. Леонтьев, Н.Е. Основы теории фильтрации. – 2-е издание / Н.Е. Леонтьев. – Москва : МАКС-Пресс, 2017. – 88 с. – Текст : электронный.
11. Макромикроскопическое исследование топографической анатомии стекловидного тела / Н.М. Кислицына, А.В. Шацких, С.М. Дибирова, др. – DOI: 10.18008/1816-5095-2022-1-123-132. – Текст : электронный // Офтальмология. – 2022. – Vol. 19, N 1. – P. 123-132.
12. Махачева, З.А. Анатомия стекловидного тела : учебное пособие для системы послевузовского профессионального образования врачей / З.А. Махачева. – Москва : Руспринт, 2006. – 16 с. – Текст : непосредственный.
13. ОКТ-ассоциированная визуализация гипорефлективной лакуны в ретролентальном пространстве / В.А. Шаимова, В.Н. Трубилин, Т.С. Дмух, [и др.]. – DOI: 10.17116/oftalma202113706145. – Текст : электронный // Вестник офтальмологии. – 2021. – Т. 137, № 6 – С. 45-105.

14. Оценка метода профилактики девиации ирригационного потока при факоэмульсификации с использованием дисперсивного вискоэластика (Вискоблок) в аспекте состояния витреолентикулярного интерфейса / Б.Э. Малюгин, А.А. Халецкая, О.П. Антонова, [и др.]. – DOI: 10.25276/0235-4160-2023-3S-5-15. – Текст : непосредственный // Офтальмохирургия. – 2023. – № 3S. – С. 5-15.
15. Оценка факторов риска развития интраоперационного синдрома девиации инфузионных потоков с учетом анатомо-топографических особенностей переднего отрезка / И.С. Ребриков, Е.В. Егорова, А.С. Ребрикова. – DOI: 10.25276/0235-4160-2023-4-19-28. – Текст : непосредственный // Офтальмохирургия. – 2023. – № 4. – С. 19-28.
16. Потёмкин, В.В. Хирургия катаракты при псевдоэкзофалиативном синдроме / В.В. Потёмкин, Е.В. Гольцман. – DOI: 10.17816/OV25739. – Текст : непосредственный // Офтальмологические ведомости. – 2020. – Т. 13, № 1. – С. 37-42.
17. Рева, Г.В. Структура стекловидного тела глаза человека / Г.В. Рева, И.В. Рева, Т. Ямамото. – Текст : непосредственный // Тихоокеанский медицинский журнал. – 2011. – № 1. – С. 65-69.
18. Ретролентальный амилоидоз стекловидного тела (клиническое наблюдение) / В.А. Шаимова, Ю.В. Носуль, С.Х., Кучкильдина. – DOI: 10.17116/oftalma202113704198. – Текст : непосредственный // Вестник офтальмологии. – 2021. – Т. 137, № 4. – С. 98-103.
19. Патент 2754517 С1, Российская Федерация, МПК А 61F 9/007 (2006.01), СПК А 61F 9/007(2021.05). Способ факоэмульсификации катаракты, обеспечивающий профилактику и купирование синдрома интраоперационной девиации ирригационного потока : № 2021101758 : заявл. 27.01.2021 : опубл. 02.09.2021, Бюл. 25 / Малюгин Б.Э., Мельник М.А., Анисимова Н.С., Халецкая А.А., Ткаченко И.С. ; патентообладатель : Федеральное государственное автономное учреждение «Национальный медицинский научно-исследовательский

- центр «Микрохирургия глаза имени С.Н.Федорова» Минздрава России.
– Москва : ФИПС, 2021. – Текст : электронный. – URL:
<https://patentimages.storage.googleapis.com/bb/fc/2e/9d69aeea3eb89a/RU2754517C1.pdf> (дата обращения: 19.04.2024).
20. Старков, Г.Л. Патология стекловидного тела при биомикроскопическом исследовании : специальность 03.03.03 «Патологическая анатомия и патологическая физиология» : автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора медицинских наук / Старков Геннадий Леонидович ; Томский государственный медицинский университет. – Томск, 1965. – 29 с. – Текст : непосредственный.
21. Фильтрационные течения в пористых средах : монография / Е.И. Коленкина, В.Ф. Никитин, О.А. Логвинов, Н.Н. Смирнов. – Москва : НИИ системных исследований РАН, 2020. – 73 с. – Текст : непосредственный.
22. Чухраев, А.М. Динамика и прогнозирование заболеваемости глаукомой и катарактой в крупных городах Краснодарского края / А.М. Чухраев, С.Н. Сахнов. – Текст : непосредственный // Проблемы социальной гигиены, здравоохранения и истории медицины. – 2019. – Т. 27, № 1. – С. 28-30.
23. Шиловских, О.В. Задний капсулорексис для дренирования пространства Бергера / О.В. Шиловских, А.Н. Ульянов, И.С. Ребриков. – Текст : непосредственный // Офтальмология. – 2020. – Т. 17, № 1. – С. 56-62.
24. A pilot study on feasibility and effectiveness of intraoperative spectral-domain optical coherence tomography in glaucoma procedures / R.S. Kumar, M.U. Jariwala, A.V. Sathidevi, [et al.]. – DOI: 10.1167/tvst.4.2.2. – Text : unmediated // Translational Vision Science and Technology (TVST). – 2015. – Vol. 4, N 2. – P. 2.
25. Acute intraoperative rock-hard eye syndrome and its management / O.C.F Lau, J.M. Montfort, B. Sim, [et al.]. – DOI: 10.1016/j.jcrs.2013.10.038. –

- Text : unmediated // Journal of Cataract & Refractive Surgery. – 2014. – Vol. 40, N 5. – P. 799-804.
26. Age-related changes on the surface of vitreous collagen fibrils / P.N. Bishop, D.F. Holmes, K.E. Kadler, [et al.]. – Text : unmediated // Invest Ophthalmol Vis Sci. – 2004. – N 45. – P.1041-1046.
27. Almutlak, M.A. Real-time optical coherence tomography incorporated in the operating microscope during cataract surgery / M.A. Almutlak, T. Aloniazan, W. May. – DOI: 10.4103/meajo.MEAJO_132_16. – Text : unmediated // Middle East African Journal of Ophthalmology. – 2017. – Vol. 24. – P. 156-158.
28. Alterations in the distribution of fibronectin and laminin in the diabetic human eye / T. Kohno, N. Sorgente, R. Goodnight, S.J. Ryan. – Text : unmediated // Investigative Ophthalmology & Visual Science. – 1987. – Vol. 28, N 3. – P. 515-521.
29. Anterior vitreous detachment: risk factor for intraoperative complications during phacoemulsification / N.S. Anisimova, L.B. Arbisser, N.F. Shilova, [et al.]. – DOI: 10.1016/j.jcrs.2019.08.005. – Text : unmediated // Journal of Cataract & Refractive Surgery. – 2020. – Vol. 46, N 1. – P. 55-62.
30. Application of Intraoperative Optical Coherence Tomography Technology in Anterior Segment Surgery / S.B. Han, Y.C. Liu, K. Mohamed-Noriega, J.S. Mehta. – DOI: 10.1155/2022/1568406. – Text : unmediated // Journal of Ophthalmology. – 2022. – Vol. 8. – P. 1568406.
31. ASCRS Cataract Clinical Committee ASCRS White Paper: Clinical review of intraoperative floppy-iris syndrome / D.F. Chang, R. Braga-Mele, N. Mamalis, [et al.]. – DOI: 10.1016/j.jcrs.2008.08.031. – Text : unmediated // Journal of Cataract & Refractive Surgery. – 2008. – Vol. 34, N 12. – P. 2153-2162.
32. Association between axial length and in vivo human crystalline lens biometry during accommodation: A swept-source optical coherence tomography study / T. Shoji, N. Kato, S. Ishikawa, [et al.]. – DOI: 10.1007/s10384-019-00700-

8. – Text : unmediated // Japanese Journal of Ophthalmology. – 2020. – Vol. 64, N 1. – P. 93-101
33. Automatic segmentation of intraocular lens, the retrolental space and Berger's space using deep learning / L. Schwarzenbacher, P. Seeböck, D. Schartmüller, [et al.]. – DOI: 10.1111/aos.15141. – Text : unmediated // Acta Ophthalmologica. – 2022. – Vol. 100, N 8. – P.1611-1616.
34. Balasz, E. Importance of the Vitreous Body in Retinal Surgery with Special Emphasis on ReOperations / E. Balasz. – St Louis : Mosby, 1960. – 226 p. – Text : unmediated.
35. Benda, T. Intraoperative optical coherence tomography -available technologies and possibilities of use. a review / T. Benda, P. Studený. – DOI: 10.31348/2022/2. – Text : unmediated // Ceska a Slovenska Oftalmologie. – 2022. – Vol.78, N 6. – P. 277-286.
36. Berger, E. Beitrage zur anatomie des auges in normalem und pathologischem zustande / E. Berger. – Wiesbaden: Bergmann, 1887. – 210 p. – Text : unmediated.
37. Bernal, A. Evidence for posterior zonular fiber attachment on the anterior hyaloids membrane / A. Bernal, J.M. Parel, F. Manns. – DOI: 10.1167/iovs.06-0441. – Text : unmediated // Investigative Ophthalmology & Visual Science. – 2006. – Vol. 44, N 17. – P. 4708-4713.
38. Bishop, P.N. Structural macromolecules and supramolecular organisation of the vitreous gel / P.N. Bishop. – DOI: 10.1016/s1350-9462(99)00016-6. – Text : unmediated // Progress in Retinal and Eye Research. – 2000. – Vol. 19, N 3. – P.323-344.
39. Bishop, P.N. The biochemical structure of the mammalian vitreous / P.N. Bishop. – DOI: 10.1038/eye.1996.159. – Text : unmediated // Eye. – 1996. – N 10 (Pt 6). – P. 664-670.
40. Boltz-Nitulescu, G. Macrophagelike properties of human hyalocytes / G. Boltz-Nitulescu, G. Grabner, O. Förster. – DOI: 10.1007/978-1-4684-8914-

- 9_20. – Text : unmediated // *Advances in Experimental Medicine and Biology*. – 1979. – N 121B. – P.223-228.
- 41.Bowman, W. Observations on the structure of the vitreous humour / W. Bowman. – Text : unmediated // *Dublin Quarterly Journal of Medical Science*. – 1848. – Vol. 6. – P. 102-118.
- 42.Cataract surgery complications in nonagenarians / V.L. Tseng, P.B. Greenberg, W.C. Wu, [et al.]. – Text : unmediated // *Ophthalmology*. – 2011. – Vol. 118, N 7. – P. 1229-1235.
- 43.Chang, D.F. Intraoperative floppy iris syndrome associated with tamsulosin / D.F. Chang, J.R. Campbell. – DOI: 10.1016/j.jcrs.2005.02.027. – Text : unmediated // *Journal of Cataract & Refractive Surgery*. – 2005. – Vol. 31, N 4. – P. 664-673.
- 44.Chronopoulos, A. Positive vitreous pressure: pathophysiology, complications, prevention and management / A. Chronopoulos, G. Thumann, J. Schutz. – DOI: 10.1016/j.survophthal.2016.10.002. – Text : unmediated // *Survey of Ophthalmology*. – 2017. – Vol. 62, N 2. – P. 127-133.
- 45.Clinical outcomes of cataract surgery after bag-in-the-lens intraocular lens implantation following ISO standard 11979-7:2006 / M.-J. Tassignon, L. Gobin, D. Mathysen, J. Van Looveren, [et al.]. – Text : unmediated // *Journal of Cataract & Refractive Surgery*. – 2011. – Vol. 37, N 12. – P. 2120-2129.
- 46.Clinical outcomes of cataract surgery in very elderly adults / F.H. Lai, J.Y. Lok, P.P. Chow, A.L. Young. – DOI: 10.1111/jgs.12590. – Text : unmediated // *Journal of the American Geriatrics Society*. – 2014. – Vol. 62, N 1. – P.165-170.
- 47.Comparison of anterior segment and lens biometric measurements in patients with cataract / S. Fukuda, Y. Ueno, A. Fujitani, [et al.]. – DOI: 10.1007/s00417-019-04482-0. – Text : unmediated // *Graefe's Archive for Clinical and Experimental Ophthalmology*. – 2020. – Vol. 258, N 1. – P. 137-146.

48. Comper, W.D. Physiological function of connective tissue polysaccharides / W.D. Comper, T.C. Laurent. – DOI: 10.1152/physrev.1978.58.1.255. – Text : unmediated // *Physiological Reviews*. – 1978. – Vol. 58, N 1. – P.255-315.
49. Complications in residentperformed phacoemulsification cataract surgery at New Jersey Medical School / N. Bhagat, N. Nissirios, L. Potdevin, [et al.]. – Text : unmediated // *British Journal of Ophthalmology*. – 2007. – Vol. 91, N 10. – P. 1315-1517.
50. Cross-linking of vitreous collagen and degradation of hyaluronic acid induced by bilirubin-sensitized photochemical reaction / T. Hikichi, J. Akiba, N. Ueno, [et al.]. – DOI: 10.1016/s0021-5155(97)00033-6. – Text : unmediated // *Japanese Journal of Ophthalmology*. – 1997. – Vol. 41, N 3. – P.154-159.
51. Smet, de M. The vitreous, the retinal interface in ocular health and disease / M. de Smet, A.M. Gad Elkareem, A.H. Zwinderman. – DOI: 10.1159/000353447. – Text : unmediated // *Ophthalmologica*. – 2013. – Vol. 230, N 4. – P. 165-178.
52. Demours, F. Observations anatomiques sur la structure cellulaire du corps vitre / F. Demours. – Text : unmediated // *Memoires de Paris*. – Paris, 1741. – P. 50.
53. Detection of Anterior Hyaloid Membrane Detachment Using Deep-Range Anterior Segment Optical Coherence Tomography / H. Mori, Y. Ueno, S. Fukuda, T. Oshika. – DOI: 10.3390/jcm11113057. – Text : unmediated // *Journal of Clinical Medicine*. – 2022. – Vol. 11, N 11. – P. 3057. – URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC9181063/> (19.04.2024).
54. Determination of feasibility and utility of microscope-integrated optical coherence tomography during ophthalmic surgery: The DISCOVER study RESCAN results / J.P. Ehlers, J Goshe, W.J. Dupps, [et al.]. – DOI: 10.1001/jamaophthalmol.2015.2376. – Text : unmediated // *JAMA Ophthalmology*. – 2015. – Vol. 133. – P.1124-1132.
55. Determining posterior vitreous structure by analysis of images obtained by AI-based 3D segmentation and ultrawidefield optical coherence tomography

- / K. Ohno-Matsui, H. Takahashi, Z. Mao, N. Nakao. – DOI: 10.1136/bjophthalmol-2021-320131. – Text : unmediated // *British Journal of Ophthalmology*. – 2023. – Vol. 107, N 5. – P. 732-737.
56. Disruption of the posterior chamber – anterior hyaloid membrane barrier during phacoemulsification and aspiration as revealed by contrast-enhanced magnetic resonance imaging / S. Kawasaki, T. Suzuki, M. Yamaguchi, [et al.]. – DOI: 10.1001/archophthalmol.2008.594. – Text : unmediated // *Archives of Ophthalmology*. – 2009. – Vol. 127, N 4. – P. 465-470.
57. [Effect of phacoemulsification on the Berger space] / W. L. Lin, W. J. Geng, M. Ji, [et al.]. – DOI: 10.3760/cma.j.cn112142-20220113-00013 // *Zhonghua Yan Ke Za Zhi*. – 2022. – Vol. 58, N 7. – P. 506-512.
58. Egger, A. Die zonula zinnii des menschen nach untersuchungen von leichenaugen am spaltlampenmikroskop / A. Egger. – Text : unmediated // *Graefes Arhiv für Ophthalmologie*. – 1924. – Vol. 113. – P. 1-15.
59. Ehlers, J.P. Intraoperative optical coherence tomography using the RESCAN 700: Preliminary results from the DISCOVER study / J.P. Ehlers, P.K. Kaiser, S.K. Srivastava. – DOI: 10.1136/bjophthalmol-2014-305294. – Text : unmediated // *The British Journal of Ophthalmology*. – 2014. – N 98. – P. 1329-1332.
60. Ehlers, J.P. Intraoperative optical coherence tomography: past, present, and future / J.P. Ehlers. – DOI: 10.1038/eye.2015.255. – Text : unmediated // *Eye (Lond)*. – 2016. – Vol. 30, N 2. – P. 193-201.
61. Eisner, G. Biomicroscopy of the peripheral fundus / G. Eisner. – Text : unmediated // *Survey of Ophthalmology*. – 1972. – Vol. 17, N 1. – P. 1-28.
62. El-Haddad, M.T. Automated stereo vision instrument tracking for intraoperative OCT guided anterior segment ophthalmic surgical maneuvers / M.T El-Haddad, Y.K. Tao. – DOI: 10.1364/BOE.6.003014. – Text : unmediated // *Biomedical Optics Express*. – 2015. – Vol. 6, N 8. – P. 3014-3031.

63. Extraction and characterization of the tissue forms of collagen types II and IX from bovine vitreous / P.N. Bishop, M.V. Crossman, D. McLeod, S. Ayad. – Text : unmediated // *Biochemical Journal*. – 1994. – N 299, (Pt 2). – P. 497-505.
64. Extralenticular and lenticular aspects of accommodation and presbyopia in human versus monkey eyes / M.A. Croft, J.P. McDonald, A. Katz, [et al.]. – Text : unmediated // *Investigative Ophthalmology & Visual Science*. – 2013. – Vol. 54, N 7. – P. 5035-5048.
65. Factors associated with persistent subfoveal fluid and complete macular hole closure in the PIONEER study / J.P. Ehlers, Y. Itoh, L.T. Xu. – DOI: 10.1136/bjophthalmol-2014-305294. – Text : unmediated // *Investigative Ophthalmology & Visual Science (IOVS)*. – 2014. – Vol. 56, N 2. – P. 1141-1146.
66. Feasibility of intrasurgical spectral-domain optical coherence tomography / S. Binder, C.I. Falkner-Radler, C. Hauger, [et al.]. – DOI: 10.1097/IAE.0b013e3182019c18. – Text : unmediated // *Retina*. – 2011. – Vol. 31, N 7. – P.1332-1336.
67. Fram, N.R. Comparison of intraoperative aberrometry, OCT-based IOL formula, Haigis-1, and Masket formulae for IOL power calculation after laser vision correction / N.R. Fram, S. Masket, L. Wang. – DOI: 10.1016/j.optha.2015.01.027. – Text : unmediated // *Ophthalmology*. – 2015. – Vol. 122, N 6. – P. 1096-1101.
68. Frequency of Cataract in Iran: A Meta-Analysis and Systematic Review / H. Shahdadi, M.N. Aminifard, A. Balouchi, [et al.]. – DOI: 10.4103/meajo.MEAJO_300_17. – Text : unmediated // *Middle East African Journal of Ophthalmology*. – 2018. – Vol. 25, N 1. – P. 40-46.
69. Grzybowski, A. Optical coherence tomography confirms the pathomechanism of acute fluid misdirection syndrome / A. Grzybowski, P. Kanclerz. – DOI: 10.1097/j.jcrs.0000000000000059. – Text : unmediated // *Journal of Cataract & Refractive Surgery*. – 2020. – Vol. 46, N 2. – P. 329.

70. Gulkas, S. Intraoperative Optical Coherence Tomography / S. Gulkas, O. Cekic. – DOI: 10.5772/intechopen.81515. – Text : electronic // Novel Diagnostic Methods in Ophthalmology / by ed. A. Nowińska // IntechOpen. – 2019. – 16 July. – URL: <https://www.intechopen.com/chapters/63952> (date of treatment: 19.04.2024).
71. Hannover, A. Entdeckung des Baues des Glaskörpers / A. Hannover. – Text : electronic // Archiv für Anatomie, Physiologie und wissenschaftliche Medizin. – Berlin, 1845. – P. 467-477. – URL: https://publikationen.ub.uni-frankfurt.de/opus4/frontdoor/deliver/index/docId/19482/file/E001350010_2.pdf (date of treatment: 19.04.2024).
72. Healon5 versus Viscoat during cataract surgery: intraocular pressure, laser flare and corneal changes / O. Schwenn, H.B. Dick, F. Krummenauer, [et al.]. – DOI: 10.1007/s004170000192. – Text : unmediated // Graefes Archive for Clinical and Experimental Ophthalmology. – 2000. – Vol. 238, N 10. – P. 861-867.
73. Heegaard, S. Structure and composition of the inner limiting membrane of the retina. SEM on frozen resin-cracked and enzyme-digested retinas of *Macaca mulatta* / S. Heegaard, O.A. Jensen, J.U. Prause. – Text : unmediated // Graefes Archive for Clinical and Experimental Ophthalmology. – 1986. – Vol. 224, N 4. – P. 355-360.
74. Impact of cataract surgery in reducing visual impairment: a review / R. Khandekar, A. Sudhan, B.K. Jain, [et al.]. – DOI: 10.4103/0974-9233.148354. – Text : unmediated // Middle East African Journal of Ophthalmology (MEAJO). – 2015. – Vol. 22, N 1. – P. 80-85.
75. Influence of elevated intraocular pressure on the posterior chamber-anterior hyaloid membrane barrier during cataract operations / S. Kawasaki, Y. Tasaka, T. Suzuki, [et al.]. – DOI: 10.1001/archophthalmol.2011.115. – Text : unmediated // Archives of Ophthalmology. – 2011. – Vol. 129, N 6. – P. 751-757.

76. Intraoperative changes in corneal structure during excimer laser phototherapeutic keratectomy (PTK) assessed by intraoperative optical coherence tomography / S. Siebelmann, J. Horstmann, P. Scholz, [et al.]. – DOI: 10.1007/s00417-017-3867-7. – Text : unmediated // Graefe's Archive for Clinical and Experimental Ophthalmology. – 2018. – Vol. 256, N 3. – P. 575-581.
77. Intraoperative Complications of Cataract Surgery in Tehran Province, Iran / H. Hashemi, F. Rezvan, K. Etemad, [et al.]. – DOI: 10.1097/OPX.0000000000000795. – Text : unmediated // Optometry and Vision Science. – 2016. – Vol. 93, N 3. – P. 266-271.
78. Intraoperative Complications of Phacoemulsification in Pseudoexfoliation: Metaanalysis / P. Vazquez-Ferreiro, F.J. Carrera-Hueso, J.E. Poquet Jornet, [et al.]. – DOI: 10.1016/j.jcrs.2016.09.010. – Text : unmediated // Journal of Cataract & Refractive Surgery. – 2016. – Vol. 42, N 11. – P. 1666-1675.
79. Intraoperative Management of Posterior capsule tears in Phacoemulsification and intraocular lens implantation / H.V. Gimbel, R. Sun, M. Ferensowicz, [et al.]. – DOI: 10.1016/s0161-6420(01)00716-3. – Text : unmediated // Ophthalmology. – 2001. – Vol. 108, N 12. – P. 2186-2189.
80. Intraoperative microscope-mounted spectral domain optical coherence tomography for evaluation of retinal anatomy during macular surgery / R. Ray, D.E. Barañano, J.A. Fortun, [et al.]. – DOI: 10.1016/j.ophtha.2011.04.012. – Text : unmediated // Ophthalmology. – 2011. – Vol. 118, N 11. – P. 2212-2217.
81. Intraoperative OCT: An Emerging Technology : [by A. Stuart interviewing J.P. Ehlers, A.K. Lauer, R.E. MacLaren]. – Text : electronic // EyeNet Magazine August. – 2018. – URL: <https://www.aao.org/eyenet/article/intraoperative-oct-an-emerging-technology> (date of treatment: 19.04.2024).

82. Intraoperative OCT-assisted DMEK: 14 consecutive cases / D. A. Saad, E. Guilbert, A. Grise-Dulacp [et al.]. – DOI: 10.1097/ICO.0000000000000462. – Text : unmediated // *Cornea*. – 2015. – Vol. 34, N 7. – P. 802-807.
83. Intraoperative optical coherence tomography (RESCAN((R))) (700) for detecting iris incarceration and iridocorneal adhesion during keratoplasty / H. Eguchi, S. Kusaka, E. Arimura-Koike, [et al.]. – DOI: 10.1007/s10792-016-0322-4. – Text : unmediated // *International Ophthalmology*. – 2017. – Vol. 37, N 3. – P.761-765.
84. Intraoperative optical coherence tomography for enhanced depth visualization in deep anterior lamellar keratoplasty from the PIONEER study / J. Au, J. Goshe, W.J. Dupps Jr, [et al.]. – DOI: 10.1097/ICO.0000000000000508. – Text : unmediated // *Cornea*. – 2015. – Vol. 34, N 9. – P. 1039-1043.
85. Intraoperative optical coherence tomography-assisted retrocorneal fibrous membrane biopsy and excision / K. Ruland, T.W. Davis, R.M. Bouldin, D. Fleischman. – DOI: 10.1016/j.ajoc.2018.06.020. – Text : unmediated // *American Journal of Ophthalmology Case Reports*. – 2018. – N 11. – P. 101-104.
86. Intrasurgical dynamics of macular hole surgery: an assessment of surgery-induced ultrastructural alterations with intraoperative optical coherence tomography / J.P. Ehlers, D. Xu, P.K. Kaiser, [et al.]. – DOI: 10.1097/IAE.0b013e318297daf3. – Text : unmediated // *Retina*. – 2014. – Vol. 34, N 2. – P. 213-221.
87. Mackool, R.J. Infusion misdirection syndrome / R.J. Mackool, M. Sirota. – DOI: 10.1016/s0886-3350(13)80032-6. – Text : unmediated // *Journal of Cataract & Refractive Surgery*. – 1993. – Vol. 19, N 5. – P.671-672.
88. Materials in the vitreous demonstrated under the operating microscope during cataract surgery and confirmed histologically / A.W. Kam, T.S. Chen, S. Wang, [et al.]. – DOI: 10.1111/ceo.12818. – Text : unmediated // *Clinical & experimental ophthalmology*. – 2016. – Vol. 45, N 2. – P. 206-207.

89. Meyer, P. Stereoatlas of Ophthalmic Pathology: Anatomy and Pathology of the Peripheral Fundus (Fundus Extremus) / P. Meyer, K. Loeffler. – Basel : S Karger Ag, 2005. – 162 p. – Text : unmediated.
90. Microscope integrated intraoperative spectral domain optical coherence tomography for cataract surgery: Uses and applications / S. Das, M.K. Kummelil, V. Kharbanda, [et al.]. – DOI: 10.3109/02713683.2015.1050742. – Text : unmediated // Current Eye Research. – 2016. – Vol. 41, N 5. – P. 643-652.
91. Morphologic features of crystalline lens in patients with primary angle closure disease observed by CASIA 2 optical coherence tomography / X. Wang, X. Chen, Y. Tang, [et al.]. – DOI: 10.1167/iovs.61.5.40. – Text : unmediated // Investigative Ophthalmology & Visual Science. – 2020. – Vol. 61, N 5. – P. 40. – URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7405781/> (date of treatment: 19.04.2024).
92. Morphology and accommodative function of the vitreous zonule in human and monkey eyes / E. Lutjen-Drecoll, P.L. Kaufman, R. Wasielewski, [et al.]. – DOI: 10.1167/iovs.09-4008. – Text : unmediated // Investigative Ophthalmology & Visual Science. – 2010. – Vol. 51, N 3. – P. 1554-1564.
93. Muhtaseb, M. A system for preoperative stratification of cataract patients according to risk of intraoperative complications: a prospective analysis of 1441 cases / M. Muhtaseb, A. A. Kalhor. – Text : unmediated // British Journal of Ophthalmology. – 2004. – N 88. – P. 1242-1246
94. Multimodal imaging and histopathological evaluation of Berger's space / V. Mares, M. B. Nehemy, D.R. Salomão, [et al.]. – DOI: 10.1159/000495724. – Text : unmediated // Ocular Oncology and Pathology. – 2020. – Vol. 6, N 1. – P.1-7.
95. Němec, P. Optická koherenční tomografie-Klinický atlas sítnicových patologií. – 2 vydání / P. Němec, B. Kousal, B. Löfflerová. – Praha : Mladá fronta, 2017. – 405 p. – Text : unmediated.

96. Olson, A. Positive vitreous pressure: pathophysiology, complications, prevention and management / A. Olson, G. Thumann, J. Schutz. – DOI: 10.1016/j.survophthal.2016.10.002. – Text : unmediated // Survey of Ophthalmology. – 2017. – Vol. 62, N 2. – P. 127-133.
97. Optimising deep anterior lamellar keratoplasty (DALK) using intraoperative online optical coherence tomography (iOCT) / P. Steven, C. Le Blanc, E. Lankenau, [et al.]. – DOI: 10.1136/bjophthalmol-2013-304585. – Text : unmediated // The British Journal of Ophthalmology. – 2014. – Vol. 98, N 7. – P. 900-904.
98. Optimizing descemet membrane endothelial keratoplasty using intraoperative optical coherence tomography / P. Steven, C. Le Blanc, K. Velten, [et al.]. – DOI: 10.1001/jamaophthalmol.2013.4672. – Text : unmediated // JAMA Ophthalmology. – 2013. – Vol. 131, N 2. – P. 1135-1142.
99. Osher, R.H. Causes and management of intraoperative shallowing of the anterior chamber / R.H. Osher. – DOI: 10.1016/s0146-2776(84)80025-7. – Text : unmediated // American Intra-Ocular Implant Society Journal. – 1984. – Vol. 10, N 3. – P. 361-362.
100. Predicting the postoperative intraocular lens position using continuous intraoperative optical coherence tomography measurements / N. Hirnschall, S. Amir-Asgari, S. Maedel, O. Findl. – DOI: 10.1167/iovs.13-11991. – Text : unmediated // Investigative Ophthalmology & Visual Science. – 2013. – Vol. 54, N 8. – P. 5196-5203.
101. Presence of collagen IV in the ciliary zonules of the human eye / L.I. Los, R.J. van der Worp, M.J. van Luyn, J.M. Hooymans, [et al.]. – DOI: 10.1369/jhc.4A6267.2004. – Text : unmediated // Journal of Histochemistry and Cytochemistry. – 2004. – Vol. 52, N 6. – P. 789-795.
102. Prevalence and predictors of ocular complications associated with cataract surgery in United States veterans / P.B. Greenberg, V.L. Tseng, W.C. Wu, [et al.]. – DOI: 10.1016/j.ophttha.2010.07.023. – Text : unmediated // Ophthalmology. – 2011. – Vol. 118, N 3. – P. 507-514.

103. Primary posterior capsulotomy in femtosecond laser-assisted cataract surgery: In vivo spectral-domain optical coherence tomography study / Y. Haeussler-Sinangin, T. Schultz, E. Holtmann, H.B. Dick. – DOI: 10.1016/j.jcrs.2016.06.037. – Text : unmediated // Journal of Cataract & Refractive Surgery. – 2016. – Vol. 42, N 9. – P. 1339-1344.
104. Redslob, E. Le corps vitre, son développement, sa structure, ses propriétés physicochimiques / E. Redslob. – Paris : Masson et Cie. – 1932. – 340 p. – Text : unmediated.
105. Retinal Nerve Fiber Layer Thickness and Higher Relapse Frequency May Predict Poor Recovery after Optic Neuritis in MS Patients / C.G. Chisari, M.D. Toro, V. Cimino, [et al.]. – DOI: 10.3390/jcm8112022. – Text : unmediated // Journal of Clinical Medicine. – 2019. – N 8. – P. 2022.
106. Retrocapsular lens fragments after uneventful phacoemulsification cataract surgery / A. Ang, L. Shepstone, V.M. Rallo, R. Burton. – DOI: 10.1016/j.jcrs.2003.08.026. – Text : unmediated // J Cataract Refract Surg. – 2004. – Vol. 30, N 4. – P. 849-853.
107. Risk factors for vitreous complications in resident-performed phacoemulsification surgery / P.H. Blomquist, M.E. Morales, L. Tong, C. Ahn. – Text : unmediated // Journal of Cataract and Refractive Surgery. – 2012. – Vol. 38, N 2. – P. 208-214.
108. Risk factors for vitreous loss in cataract surgery / O.E. Abbasoğlu, B. Hoşal, O. Tekeli, E. Gürsel. – DOI: 10.1177/112067210001000306. – Text : unmediated // European Journal of Ophthalmology. – 2000. – Vol.10, N 3. – P. 227-232.
109. Rossi, A. Structure of the Vitreous Body / A. Rossi. – Text : unmediated // British Journal of Ophthalmology. – 1953. – Vol.37, N 6. – P. 343.
110. Runkle, A. Microscope-integrated OCT feasibility and utility with the EnFocus system in the DISCOVER study / A. Runkle, S.K. Srivastava, J.P. Ehlers. – DOI: 10.3928/23258160-20170301-04. – Text : unmediated //

- Ophthalmic Surg Lasers Imaging Retina. – 2017. – Vol. 48, N 3. – P. 216-222.
111. Santos-Bueso, E. Berger's space / E. Santos-Bueso. – DOI: 10.1016/j.oftal.2019.06.006. – Text : unmediated // Archivos de la Sociedad Espanola de Oftalmologia (Engl Ed). – 2019. – Vol. 94, N 10. – P. 471-477.
112. Sebag, J. Anatomy and pathology of the vitreoretinal interface / J. Sebag. – DOI: 10.1038/eye.1992.119. – Text : unmediated // Eye. – 1992. – N 6 (PT.6). – P. 541-552.
113. Sebag, J. Macromolecular structure of vitreous / J. Sebag. – Text : unmediated // Progress in Polymer Science. – 1998. – Vol. 23, N 3. – P. 415-446.
114. Sebag, J. The Vitreous – Structure, Function and Pathobiology / J. Sebag. – New York : Springer, 1989. – 173 p. – Text : unmediated.
115. Streeten, B.W. Anatomy of the Zonular Apparatus / B.W. Streeten. – Text : unmediated // Foundations of Clinical Ophthalmology. Vol. 1 / eds. W. Tasman, E.A. Jaeger, J.B. – Philadelphia : Lippincott Co., 1992. – P. 1-27.
116. Studies on the structure of the vitreous body. XII. Cytological and histochemical studies on the cortical tissue layer / E.A. Balazs, L.Z. Toth, E.A. Eckl, A.P. Mitchell. – DOI: 10.1016/s0014-4835(64)80008-7. – Text : unmediated // Experimental Eye Research. – 1964. – N 3. – P. 57-71.
117. Systematic review of population-based studies of the prevalence of cataracts / R. Acosta, L. Hoffmeister, R. Román, [et al.]. – Text : unmediated // Archivos de la Sociedad Española de Oftalmología. – 2006. – Vol. 81, N 9. – P. 509-516.
118. Tassignon, M.J. Real-Time Intraoperative Optical Coherence Tomography Imaging Confirms Older Concepts About the Berger Space / M.J. Tassignon, S. Ní Dhubhghaill. – DOI: 10.1159/000446242. – Text : unmediated // Ophthalmic Research. – 2016. – Vol. 56, N 4. – P. 222-226.
119. The DISCOVER study 3-year results: Feasibility and usefulness of microscope-integrated intraoperative OCT during ophthalmic surgery / J.P.

- Ehlers, Y.S. Modi, P.E. Pecen, [et al.]. – DOI: 10.1016/j.opht.2017.12.037. – Text : unmediated // Ophthalmology. – 2018. – Vol.125, N 7. – P. 1014-1027.
120. The lens opacities classification system III. The longitudinal study of cataract study group / L.T. Chylack, J.K. Wolfe, D.M. Singer [et al.]. – DOI 10.1001/archoph.1993.01090060119035. – Text : unmediated // Archives of Ophthalmology. – 1993. – Vol. 111, N 6. – P. 831-836.
121. The prospective intraoperative and perioperative ophthalmic Imaging with optical coherence tomography (PIONEER) study: 2-year results / J.P. Ehlers, W.J. Fupps, P.K. Kaiser, [et al.]. – DOI: 10.1016/j.ajo.2014.07.034. – Text : unmediated // American Journal of Ophthalmology. – 2014. – N 158. – P. 999-1007.
122. The Use of Optical Coherence Tomography in Intraoperative Ophthalmic Imaging / P. Hahn, J. Migacz, R. O'Connell. – DOI: 10.3928/15428877-20110627-08. – Text : electronic // Ophthalmic Surg Lasers Imaging. – 2011. – Vol. 42. – P. 85-94. – URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3510671> (date of treatment: 19.04.2024).
123. Theopold, H. Scanning electron microscopic aspects of the vitreous body: technique of preparation. Albrecht von Graefes Archiv / H. Theopold, J. Faulborn. – DOI: 10.1007/bf00414534. – Text : unmediated // Klinische Und Experimentelle Ophthalmologie. – 1980. – N 214. – P.33-38.
124. Titiyal, J. S. Intraoperative optical coherence tomography in anterior segment surgeries / J.S. Titiyal, M. Kaur, R. Falera. – DOI: 10.4103/ijo.IJO_868_16. – Text : unmediated // Indian Journal of Ophthalmology. – 2017. – Vol. 65, N 2. – P. 116-121.
125. Update on Intraoperative OCT for Vitreoretinal Surgery / S.A. Schechet, R. Komati, M.P. Blair, S.M. Hariprasad. – Text : electronic // Retinal Physician. – 2020. – Vol. 17. – P. 34-36, 39, 40. –URL:

<https://retinalphysician.com/issues/2020/januaryfebruary/update-on-intraoperative-oct-for-v> (date of treatment: 19.04.2024).

126. Utility of intraoperative optical coherence tomography during vitrectomy surgery for vitreomacular traction syndrome / J.P. Ehlers, T. Tam, P.K. Kaiser, [et al.]. – DOI: 10.1097/IAE.000000000000123. – Text : unmediated // Retina. – 2014. – Vol. 34, N 7. – P. 1341-1346.
127. Viscoat versus Visthesia during phacoemulsification cataract surgery: corneal and foveal changes / M.M. Moschos, I.P. Chatziralli, T.N. Sergentanis. – DOI: 10.1186/1471-2415-11-9. – Text : unmediated // BMC Ophthalmology. – 2011. – Vol. 29. – P. 11.
128. Visualization of precut DSAEK and pre-stripped DMEK donor corneas by intraoperative optical coherence tomography using the RESCAN 700 / A. Kobayashi, H. Yokogawa, N. Mori, K. Sugiyama. – DOI: 10.1186/s12886-016-0308-z. – Text : unmediated // BMC Ophthalmology. – 2016. – Vol.16. – P.135.
129. Visualization of real-time intraoperative maneuvers with a microscope-mounted spectral domain optical coherence tomography system / J.P. Ehlers, Y.K. Tao, S. Farsiu, [et al.]. – DOI: 10.1167/iovs.10-6720. – Text : unmediated // Retina. – 2013. – Vol.33, N 1. – P. 232-236.
130. Wahl, M. Intraoperative floppy iris syndrome and its association with various concurrent medications, bulbus length, patient age and gender / M. Wahl, S.M. Tipotsch-Maca, P.V. Vescei-Marlovits. – DOI: 10.1007/s00417-016-3515-7. – Text : unmediated // Graefe's Archive for Clinical and Experimental. – 2017. – Vol. 255, N 1. – P. 113-118.
131. What Is the Impact of Intraoperative MicroscopeIntegrated OCT in Ophthalmic Surgery? Relevant Applications and Outcomes. A Systematic Review / C. Posarelli, F. Sartini, G. Casini, [et al.]. – DOI: 10.3390/jcm9061682. – Text : unmediated // Journal of Clinical Medicine. – 2020. – Vol. 9, N 6. – P. 1682.

132. Wieger, G. Ueber den canalis petiti und ein ligamentum hyaloideo-capsulare / G. Wieger. – Strassburg : Inaug.-Diss. Strassburg, Univ., 1883. – 37 p. – Text : unmediated.
133. Worst, J.G.F. Cisternal anatomy of the fully developed vitreous body in the young adult / J.G.F. Worst. – Text : unmediated // Transactions of the American Ophthalmological Society. – 1977. – Vol. 97, N 4. – P.550-554.
134. Worst, J.G.F. Comparative anatomy of the vitreous body in rhesus monkeys and man / J.G.F. Worst. – DOI: 10.1007/BF00157007. – Text : unmediated // Documenta Ophthalmologica. – 1992. – Vol. 71, N 1. – P.169-178.
135. Zinn I.G. Descriptio anatomica oculi humani iconibus illustrata / I.G. Zinn. – Text : electronic // Anatomia (1522-1867). – 1780. – P. 134. – URL: <https://anatomia.library.utoronto.ca/islandora/object/anatomia%3ARBAI045> (date of treatment: 19.04.2024).
136. Zinn, J.G. Descriptio anatomica oculi humani iconibus illustrata auctore / J.G. Zinn. – Gottingae : Apud Vandenhoeck, 1755. – 272 p. – Text : unmediated.