

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
Первый Московский государственный медицинский университет имени
И.М. Сеченова
Министерство здравоохранения Российской Федерации
(Сеченовский Университет)

На правах рукописи

Индари Мохамед.

«Состояние нервных волокон роговицы после различных методик
факохирургии»

3.1.5 – офтальмология

Диссертация

на соискание ученой степени кандидата медицинских наук

*Научный руководитель: академик РАН,
доктор медицинских наук, профессор С.Э.Аветисов*

Москва – 2024

ОГЛАВЛЕНИЕ

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ.....	4
ВВЕДЕНИЕ. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ.....	5
ГЛАВА 1. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ.....	14
1.1. ФАКОХИРУРГИЧЕСКОЕ ВМЕШАТЕЛЬСТВО. РАЗЛИЧНЫЕ ВАРИАНТЫ ФАКОХИРУРГИИ.....	14
1.2. УЛЬТРАЗВУКОВАЯ ФАКОЭМУЛЬСИФИКАЦИЯ.....	17
1.3. ГИБРИДНАЯ И ЭКСТРАКАПСУЛЯРНАЯ ЭКСТРАКЦИЯ КАТАРАКТЫ	22
1.4. ПЕРСПЕКТИВА ИССЛЕДОВАНИЯ НЕРВНЫХ ВОЛОКОН РОГОВИЦЫ. ПОЛИНЕЙРОПАТИЯ. ОСОБЕННОСТИ СТРОЕНИЯ НЕРВНЫХ ВОЛОКОН РОГОВИЦЫ.....	24
ГЛАВА 2. МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ.....	28

ГЛАВА 3. РЕЗУЛЬТАТЫ СОБСТВЕННЫХ	
ИССЛЕДОВАНИЙ.....	42
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	64
ВЫВОДЫ	65
ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ	67
ЛИТЕРАТУРА	68

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ:

- **ВГД** – внутриглазное давление
- **ИОЛ** – интраокулярная линза
- **лазерная КМР** – лазерная конфокальная микроскопия роговицы
- **НВР** – нервные волокна роговицы
- **ПО** – программное обеспечение
- **СД** – сахарный диабет
- **ЭНМГ** – электронейромиография
- **ФЭ** – фактоэмульсификация
- **$K_{\Delta L}$** – коэффициент анизотропии направленности нервных волокон роговицы
- **K_{sym}** – коэффициент симметричности направленности нервных волокон роговицы

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы и степень её разработанности:

Как известно, чувствительная иннервация роговицы осуществляется имеющими радиальное направление длинными цилиарными нервами (глазная ветвь тройничного нерва). Различают «толстые» миелиновые А-волокна (только на периферии роговицы) и безмиелиновые более тонкие С-волокна, располагающиеся в центральной зоне. Нервные волокна роговицы (НВР) обеспечивают не только чувствительность, но и трофическую функцию.

Топографически выделяют суббазальные НВР, субэпителиальное нервное сплетение и стромальные НВР [Patel D.V., McGhee C.N., 1968]. Суббазальные НВР располагаются между Боуменовой мембраной и базальным эпителием. По данным конфокальной микроскопии эти НВР выглядят в виде «бисерных» (англ. beaded), четких, линейных, гомогенно рефлективных структур. Кроме этого, отмечается дихотомическое деление и тонкие связывающие нервы волокна (англ. Y-shaped и H-shaped, соответственно).

Субэпителиальное нервное сплетение локализуется между Боуменовой мембраной и передней стромой. Сплетения нервных волокон слабо контрастны, имеют зернистую структуру и окончания иррегулярной формы. Стромальные НВР располагаются в передних и средних слоях стромы роговицы и визуализируются в виде более дихотомически разветвленных, толстых линейных структур различной ориентации.

Современные возможности прижизненного исследования НВР связаны с внедрением в клиническую практику конфокальной микроскопии и объективизацией исследования за счет не только качественной, но и, главным образом, количественной оценки их состояния [Patel D.V., McGhee C.N., 1968; Oliveira-Soto L., Efron N., 2001]. В качестве количественных критериев рассматривают различные показатели: диаметр НВР [Grupcheva C.N., Wong T., Riley A.F. et al., 2002; Niederer R., Perumal D., Sherwin T. et al., 2007], плотность, длину НВР и их ветвей [Sivaskandarajah G.A., Halpern

Е.М., Lovblom L.E et al., 2013], коэффициенты анизотропии и симметричности направленности НВР [Аветисов С.Э. , Сурнина З.В., Новиков И.А., Махотин С.С., 2015].

Различные по своей направленности оперативные пособия, предполагающие удаление хрусталика и объединяемые термином «факохирургия», занимают первое место в структуре офтальмохирургических вмешательств. «Золотой» стандарт факохирургии включает такие технологические приемы как микроинвазивность (отсутствие необходимости шовной герметизации разрезов), сохранность капсульного мешка, возможность имплантации через микроразрез и внутрикапсулярной фиксации интраокулярной линзы. В последние годы в качестве методов выбора микроинвазивной факохирургии рассматривают факоэмульсификацию: стандартную ультразвуковую и гибридную (фемтолазерную) [Малюгин Б.Э., 2014; Анисимова С.Ю., Анисимов С.И., Новак И.В., 2016; Бикбов М.М., Бурханов Ю.К., Усубов Э.Л., 2014; Аветисов С.Э., Мамиконян В.Р., Юсеф Ю.Н., Юсеф С.Н., Иванов М.Н., Аветисов К.С., 2014]. Кроме этого, до настоящего времени в ряде осложненных ситуаций применяют экстракапсулярную экстракцию катаракты.

Характер и степень изменений различных структурно-функциональных показателей роговицы после факохирургии являются общепринятыми качественными критериями «успешности» проведенного вмешательства. При этом вопрос влияния факохирургии на состояние НВР остается недостаточно изученным. При анализе изменений чувствительности роговицы и плотности суббазального нервного сплетения после ультразвуковой факоэмульсификации с использованием темпорального и верхнего роговичного тоннельного разрезов отмечено снижение чувствительности роговицы в проекции «тоннеля» в первые три месяца после операции, более выраженное при применении темпорального разреза. Кроме этого, отмечено уменьшение плотности НВР в суббазальном сплетении [KimH., ChungJ., KangS. etal., 2009].

В другом исследовании выявлено утолщение НВР после стандартной ультразвуковой факоэмульсификации [Сметанкин И.Г., Агаркова Д.И., 2012]. Кроме этого, отмечено снижение чувствительности роговицы (функции НВР) в проекции катарактального» разреза [Oh T., Jung Y., Chang D. et al., 2012; Sitompiu R., Sancoyo G.S., Hutaauruc J.A. et al., 2008].

Ряд сообщений касаются изменений эпителия роговицы (структуры, анатомически и функционально близкой к НВР) после микроинвазивной факохирургии [Calabuig- Goena M., Lopez-Miguel A., Marques-Fernandez V. et al., 2015; Kanellououlus A., Asimellis G., 2014; Zheng T., Yang J., Hu J. et al., 2016]. На основе спектральной оптической когерентной томографии переднего сегмента глаза выявлено увеличение толщины эпителия роговицы в первую неделю после факохирургии. Аналогичные результаты были получены еще в одном исследовании, в котором для оценки состояния эпителия помимо оптической когерентной томографии использовали конфокальную лазерную микроскопию: в первую неделю после операции выявлено уменьшение толщины эпителия роговицы. Следует отметить, что исследование толщины эпителия роговицы в указанных выше работах проводили в аспекте возможного влияния изменений этого показателя на остроту зрения.

Термин «факохирургия» объединяет различные хирургические технологии полного или частичного удаления хрусталика. Последние десятилетия характеризуются практически полным переходом от экстракапсулярной экстракции катаракты к т.н. микроинвазивной факохирургии, в частности, стандартной ультразвуковой и гибридной (фемтолазерной) факоэмульсификации. Тем не менее в ряде случаев (например, при сочетании т.н. бурой катаракты с выраженными дистрофическими изменениями роговицы) экстракапсулярная экстракция, предполагающая удаление «целого» ядра через широкий операционный разрез в лимбальной зоне роговицы, до сих пор остается методом выбора факохирургии. Состояние роговицы после факохирургии остается одним из критериев успешности проведенного вмешательства. При этом, как правило, внимание акцентируют на «потери» клеток заднего эпителия и нарушениях

оптической регулярности роговицы. В меньшей степени изучены изменения нервных волокон роговицы (НВР).

В одном из исследований в контексте подтверждения «работоспособности» разработанного алгоритма оценки состояния нервных волокон роговицы показана принципиальная возможность изменения последних на клинических моделях, связанных с различными элементами хирургического воздействия на роговицу (эксимерлазерные вмешательства, сквозная кератопластика, факохирургия). При этом в последнем случае использованы недостаточное количество показателей, характеризующих изменения нервных волокон, и ограниченные сроки наблюдения [Сурнина, 2023].

Ряд обстоятельств свидетельствуют о необходимости проведения более подробных исследований в отношении изменений НВР после факохирургии.

1. Исторически в оценке состояния НВР преобладали функциональные и малоинформативные методы альгезиметрии (т.е. определения чувствительности роговицы). Развитие методов конфокальной микроскопии роговицы позволяет перейти от качественных к более объективным количественным критериям структурного анализа состояния НВР.

2. В клинической практике может возникать необходимость в факохирургии при наличии выраженных в той или иной степени изменений НВР (состояние после кератопластики и эксимерлазерной кераторефракционной хирургии, кератоконус, сухой синдром).

3. При гибридной факоемульсификации нельзя исключить побочного воздействия фемтолазерного излучения на НВР, учитывая коаксиальное направление лазерного воздействия в процессе капсулотомии и фрагментации ядра хрусталика с одной стороны, и высокую плотность НВР в центральной зоне роговицы – с другой.

4. Новые возможности в изучении данного вопроса открывают современные диагностические цифровые технологии, которые обеспечивают возможность разработки новых алгоритмов как получения, так и архивирования информации.

Цель настоящего исследования: сравнительная динамическая оценка изменений НВР после различных методик факохирургии.

Для достижения поставленной цели определены следующие **задачи:**

1. Разработка алгоритма объективной количественной оценки состояния НВР после факохирургии.

2. Динамическая оценка изменений НВР после различных методик факохирургии:

- стандартной ультразвуковой факоэмульсификации,
- гибридной факоэмульсификации,
- экстракапсулярной экстракции катаракты.

3. Разработка практических рекомендаций по применению методик факохирургии в т.н. осложненных ситуациях (на фоне изменения НВР различной этиологии).

Научная новизна:

1) Впервые на основе современных цифровых технологий оценки состояния НВР получены объективные данные об их изменении в разные сроки после проведения различных методик факохирургии.

2) Впервые выявлены определённые закономерности восстановления структуры НВР в различные сроки послеоперационного наблюдения у пациентов после разных методик факохирургии.

3) Впервые проанализированы изменения длины и плотности НВР до и после различных методик удаления катаракты.

Теоретическая и практическая значимость работы:

- 1) Определено, что ход и структура НВР характерно меняются в зависимости от типа факохирургии и сроков послеоперационного наблюдения.
- 2) Впервые выявлены сроки восстановления НВР в зависимости от метода факохирургии.
- 3) Разработанный алгоритм анализа конфокальных изображений позволяет оценить ход и структуру НВР после различных вариантов факохирургии.
- 4) Выявлено объективное влияние сформированного в результате хирургии разреза на ход и структуру НВР.

Методология и методы диссертационного исследования:

Методологической основой диссертационной работы явилось применение комплекса методов научного познания. Диссертационная работа выполнена в соответствии с принципами научного исследования. При выполнении работы соблюдены схема и этапы научного исследования. В настоящей работе сочетаются методологии качественных и количественных исследований. Работа выполнена в дизайне проспективного, когортного клинического исследования с использованием клинических, инструментальных, аналитических и статистических методов.

Положения, выносимые на защиту:

- 1) Разработанный алгоритм анализа может быть использован в качестве критерия оценки состояния НВР после различных методик факохирургии.
- 2) Самое длительное восстановление нервов после хирургического вмешательства определено у пациентов, которым была проведена экстракапсулярная экстракция катаракты.
- 3) К сроку наблюдения 6 месяцев после вмешательства происходит частичное восстановление структуры НВР независимо от метода факохирургического вмешательства.
- 4) К сроку наблюдения 8 – 10 месяцев происходит относительно полное восстановление структуры нервных волокон роговицы.
- 5) Длина и плотность нервных волокон роговицы уменьшается после проведения хирургии катаракты, при этом к сроку наблюдения 6 месяцев происходит относительное восстановление длины и плотности НВР.

Степень достоверности работы:

Достоверность проведенного исследования и полученных результатов определяется достаточным и репрезентативным объемом материала исследования с использованием современных методов исследований. В работе использовано современное сертифицированное офтальмологическое, аналитическое и лабораторное оборудование. Исследование проведено в стандартизированных условиях на материале, достаточном для выполнения поставленных задач. Анализ материала и статистическая обработка полученных данных выполнены с применением современных методов и в соответствии с современными стандартами сбора и обработки научных данных.

Апробация результатов исследования:

Основные положения диссертации доложены и обсуждены на всероссийской научно-практической конференции с международным участием в 2020 году (Москва, МНТК «Микрохирургия глаза»); Международной конференции «Осенние рефракционные чтения», 2020 год; Международной конференции «Осенние рефракционные чтения», 2022 год.

Личный вклад автора в проведенное исследование:

Личный вклад автора состоит в непосредственном участии в подготовке и проведении всех исследований, апробации результатов, подготовке публикаций и докладов по теме работы. Обработка и интерпретация полученных результатов выполнена лично автором.

Реализация результатов работы:

Разработанный алгоритм анализа конфокальных изображений у пациентов, готовящихся к факохирургии, внедрен в практику ФГБНУ «НИИ ГБ».

Публикации:

По теме диссертации опубликовано 4 печатных работы, 3 из которых – в журналах, входящих в перечень рецензируемых журналов и изданий, определенных ВАК.

Структура и объем диссертационной работы:

Диссертация изложена на 88 страницах машинописного текста и состоит из введения, обзора литературы, материалов и методов

исследования, результатов собственных исследований, заключения, выводов и списка литературы. Работа иллюстрирована 15 рисунками и 8 таблицами. Библиографический указатель содержит 188 источников (83 отечественных и 105 зарубежных).

Глава 1. Обзор литературы.

1.1. Факохирургическое вмешательство. Различные варианты факохирургии.

Термин «факохирургия» объединяет различные вмешательства, направленные на удаление нативного (естественного) хрусталика. Подобные операции занимают лидирующие позиции в структуре офтальмохирургических пособий. Основная тенденция развития и совершенствования факохирургии в последние десятилетия связана с переходом от экстракапсулярной экстракции, требующей протяженного разреза и его шовной фиксации, к т.н. бесшовным микроинвазивным методикам [1, 2, 16, 48, 54].

Многовековой путь развития факохирургии позволил сформулировать основные требования к технологиям факохирургии на сегодняшний день: микроинвазивность (главным критерием которой является отсутствие необходимости шовной герметизации разрезов), сохранность капсульного мешка (за исключением центральной зоны передней капсулы), возможность имплантации через микроразрез и внутрикапсулярной фиксации интраокулярной линзы (ИОЛ), как наиболее оптимального средства оптической коррекции аметропии, индуцированной афакией [33, 34, 48, 51, 133, 183].

Возможность достижения микроинвазивности в факохирургии была обусловлена двумя основными факторами: разработкой принципов энергетического дробления ядра хрусталика с последующей аспирацией его вещества и созданием различных моделей эластичных (складывающихся) ИОЛ, соединенных в классическом варианте сегодняшней факохирургии – операции ультразвуковой факоэмульсификации [69, 81 -84]. При этом с точки зрения влияния «человеческого» фактора на качество факохирургии и возникновения интра- и послеоперационных осложнений наиболее

сложными с технической точки зрения остаются манипуляции с передней капсулой хрусталика (передний непрерывный круговой капсулорексис) и разделение (фрагментация, дробление) ядра хрусталика [31, 103, 122, 123, 168, 172, 177].

В последние годы в хирургии независимо от специализации наметилась четкая тенденция к использованию элементов роботизации в процессе выполнения вмешательства. В широком смысле понятие «роботизация» следует рассматривать как процесс снижения зависимости результата от т. н. человеческого фактора и вытеснения человека из производственного процесса. В факохирургии одно из перспективных направлений совершенствования связано именно с внедрением в клиническую практику фемтосекундных лазерных технологий, заявляемые преимущества которых потенциально могут обеспечить выполнение операции удаления хрусталика на качественно новом уровне по сравнению с известными мануальными хирургическими приемами [1, 22, 35, 92, 100, 143, 169, 176].

Использование излучения фемтосекундного лазера в микроинвазивной факохирургии принципиально возможно для выполнения роговичного тоннельного разреза, удаления центрального фрагмента передней капсулы и фрагментации ядра [11, 28, 30, 73, 102]. На сегодняшний день в клинической практике фемтосекундные лазерные системы в основном применяют для выполнения двух последних этапов. В литературе для обозначения данной технологии употребляют различные термины. По аналогии с применяемыми в других областях медицины современными хирургическими подходами это направление может быть обозначено как гибридная факохирургия [9]. Так, гибридный подход в сердечно-сосудистой хирургии – прогрессивное направление, объединяющее преимущества традиционных хирургических вмешательств и малоинвазивной рентгенэндоваскулярной хирургии, что в целом уменьшает травматичность

«открытых» операций на сердце. Применение фемтосекундного лазера также позволяет выполнять ряд технических элементов классической ультразвуковой операции, чреватых осложнениями (в частности, капсулотомия, фрагментация ядра), на «закрытом» глазном яблоке.

Следует отметить, что, несмотря на широкое внедрение в клиническую практику микроинвазивной факохирургии, экстракапсулярная экстракция до сих пор остается методом выбора в ряде осложненных ситуаций (например, при сочетании т.н. бурой катаракты с выраженными дистрофическими изменениями роговицы) [72, 108, 119].

При сравнительной оценке эффективности различных методик факохирургии обязательно используют ряд показателей состояния роговицы, в частности, состояние заднего эпителия, толщину, изменения рефракции [10]. В меньшей степени эти наблюдения касаются достаточно важной в функциональном отношении структуры роговицы – ее нервных волокон (НВР). Как известно, чувствительная иннервация роговицы осуществляется имеющими радиальное направление длинными цилиарными нервами (глазная ветвь тройничного нерва). Различают «толстые» миелиновые А-волокна (только на периферии) и безмиелиновые более тонкие С-волокна, располагающиеся в центральной зоне. НВР обеспечивают не только чувствительность, но и трофическую функцию.

Современные возможности прижизненного исследования НВР связаны с внедрением в клиническую практику конфокальной микроскопии. Топографически выделяют суббазальные НВР, субэпителиальное нервное сплетение и стромальные НВР [11-13]. НВР по результатам конфокальной микроскопии визуализируются в виде линейных, ихотомически делящихся рефлективных структур.

Актуальность исследования состояния НВР после факохирургии с одной стороны связана с возможностью различных нарушений исходного статуса (например, при заболеваниях роговицы в анамнезе или при наличии

сопутствующих неврологических и эндокринологических нарушениях), а с другой – совершенствованием методик конфокальной микроскопии роговицы. Совершенствование прижизненной конфокальной микроскопии НВР связано с объективизацией исследования за счет не только качественной, но, главным образом, количественной оценки их состояния [2 – 8].

В качестве количественных критериев рассматривают различные показатели: диаметр НВР, плотность и длину НВР и их ветвей, специальные коэффициенты [14-17]. Кроме этого, следует учитывать, что при внедрении любой лечебной лазерной технологии целесообразно тщательное изучение результатов взаимодействия лазерного излучения с тканями глаза (в том числе технологически не являющимися объектом прямого лазерного воздействия). Так, при применении фемтолазерных этапов гибридной факохирургии имеет место побочное воздействие лазерного излучения на центральную зону роговицы, анатомически богатую нервными волокнами.

1.2. Ультразвуковая факоэмульсификация.

Начиная с пятидесятих годов прошлого века началось активное внедрение ультразвука в медицинскую практику [36, 90, 117, 131, 159, 167, 179]. Наиболее широкое его применение нашлось в офтальмохирургии катаракты, до сих пор адекватной замены ультразвуку при применении данной методики хирургии не найдено.

Несмотря на попытки хирургов – офтальмологов дробить ядро хрусталика доступными альтернативными методами, основной методикой удаления хрусталика на сегодняшний день так и остаётся ультразвуковая факоэмульсификация катаракты (ФЭ), предложенная еще в 1967 году выдающимся ученым – офтальмологом *C. Kelman* [23, 51, 166, 174].

Относящаяся к «золотому стандарту» техника ультразвуковой ФЭ претерпела ряд усовершенствований (особенно в случае сочетания катаракты

с рядом других заболеваний глаза), связанных в первую очередь с попытками уменьшить пагубное влияние ультразвука на клетки эндотелия роговицы и другие внутренние структуры глаза [24, 32, 43, 44, 51, 52, 116]. Этапы оперативного вмешательства, разработанные *C. Kelman* остались прежними: после предварительного мидриаза проведение передней капсулотомии, далее дробление самого хрусталика ультразвуковым наконечником и затем ирригация – аспирация кортикальных масс с последующей имплантацией интраокулярной линзы (ИОЛ) в переднюю камеру глаза.

Однако дискуссионным остается вопрос формирования постоперационной воспалительной реакции после выполнения ультразвуковой ФЭ [70, 77 – 80, 99, 113, 127, 145]. Рядом авторов проводилось сравнение воспалительной реакции после хирургического удаления катаракты методом стандартной ультразвуковой факоэмульсификации и гибридной ФЭ, при этом не было отмечено выраженной статистически значимой разницы между указанными выше методами [114].

Сама техника факоэмульсификации включает в себя целый ряд мероприятий, проводимых хирургом во время оперативного вмешательства, однако до сих пор основным и самым важным этапом операции является фрагментация и аспирация ядра и хрусталиковых масс. Как правило, различные варианты факохирургии разрабатывается в стремлении повышения эффективности оперативного вмешательства, уменьшении времени экспозиции ультразвука и как следствие – снижения уровня послеоперационных осложнений [39, 58, 61, 112, 129, 144, 162,].

К сожалению, хирургам приходится сталкиваться с проведением факоэмульсификации катаракты в осложненных случаях. К таким случаям можно отнести наличие узкого угла передней камеры, образование синехий, невозможность полноценного мидриаза во время хирургического вмешательства, наличие наследственных заболеваний, сопровождаемых

слабостью связочного аппарата хрусталика и ряд других ситуаций [76, 110, 134, 149].

Рядом офтальмологов [87, 98, 115, 130] предложены оригинальные подходы, позволяющие проводить хирургические вмешательства в осложненных случаях. Так, к хирургическим мероприятиям, способствующим расширению зрачка, относят синехиотомию в сочетании с удалением зрачковой мембраны, в случае отсутствия эффекта проводится наложение микрокрючков либо дилататора зрачка на радужку. Зачастую для увеличения размера зрачка при наличии синехий применяют шпатель, которым разделяют сращения между передней капсулой хрусталика и радужкой.

Техника факоэмульсификации при наличии нарушений в связочном аппарате хрусталика (при глаукоме, увеитах, миопии высокой степени, псевдоэксфолиативном синдроме, наследственной абиотрофии сетчатки и ряде других заболеваний) имеет ряд особенностей. Так стоит отказаться от излишнего давления на капсулу и связки хрусталика. Также возможно применение специального инструмента, помогающего фиксировать и избежать дополнительной подвижности хрусталика. Такие этапы как гидродиссекция и гидроделинеация в данном случае необходимо выполнять крайне осторожно, чтобы избежать излишнего повреждения цинновых связок [53, 54, 101, 133]. В ряде случаев для укрепления связочного аппарата возможно применение внутрикапсульного кольца, позволяющего удерживать и укреплять связки.

Отдельно выделяют особенности проведения хирургии у пациентов с наличием заднеполярной катаракты, наличие которой сопровождается высоким риском нарушения целостности капсульной сумки [183]. Зачастую хирургам приходится отказываться от такого этапа операции как гидродиссекция в связи с возможностью разрыва задней капсулы, при этом

ультразвуковое дробление рекомендовано проводить без ротации ядра [59, 60, 75, 93, 101, 124, 146].

Отдельного внимания заслуживает проблема «зрелых» катаракт. К сожалению, в ряде случаев до сих пор приходится сталкиваться с особой выжидательной тактикой ведения пациентов с катарактой. Возможно, с этим связана поздняя обращаемость пациентов к фотальмологам-хирургам и как следствие более сложное вмешательство с последующими закономерными осложнениями, связанными с избыточным влиянием ультразвука. К самым ответственным этапам факоэмульсификации при зрелой катаракте относят капсулотомию и удаление плотного ядра хрусталика [42, 56, 64, 105, 125, 157].

Выполнение непрерывного кругового капсулорексиса крайне затруднительно, при этом сложности могут быть связаны, в том числе, с отсутствием рефлекса с глазного дна, а также наличием повышенного внутриглазного давления [11, 98, 107, 109, 173]. В таких сложных случаях при пункции капсулы «облакоподобное» содержимое выходит в переднюю камеру и значительно снижает прозрачность оптических сред и как следствие уменьшает обзор операционного поля. При этом рекомендовано применение вискоэластика повышенной вязкости, который способствует углублению передней камеры и предотвращению излишнего распространения содержимого капсульного мешка [31, 39, 55, 67, 74].

В редких случаях при наличии бурой катаракты при факоэмульсификации возможно использование максимальной мощности ультразвука, при этом хирург должен учитывать возможность возникновения термического повреждения роговицы. Предпочтительным вариантом хирургии при бурой катаракте, естественно, остается экстракапсулярная экстракция катаракты.

Отдельного внимания заслуживает хирургия катаракты при развитии глаукомы на этом же глазу. Однозначного хирургического подхода к таким пациентам, к сожалению, на сегодняшний момент нет. Возможно, предварительное антиглаукомное вмешательство в качестве подготовительного этапа перед непосредственным удалением хрусталика. Ряд хирургов, напротив, считает своевременно выполненную операцию по замене хрусталика залогом хорошего внутриглазного давления в будущем.

При проведении факохирургии на глаукомных глазах требуется достаточно высокий мануальный навык хирургии, при этом формируемый операционный разрез необходимо выполнять со значительно большей осторожностью, размер его должен быть меньше, чем при стандартной факохирургии. Также во время всего хода операции необходимо удерживать интраоперационное низкое внутриглазное давление [46, 65, 156].

Нередки случаи сочетания астигматизма с катарактой. В таком случае необходим подбор и расчёт сложной торической линзы, которую необходимо центрировать в определенном меридиане, что также как и при глаукоме требует высокого мануального навыка хирурга. Как правило, основной разрез выполняется в сильном меридиане роговицы [45, 57, 62, 68, 115, 130, 147]. В первую очередь успешность данного вида хирургического вмешательства во многом зависит от предшествующего корректного измерения анатомических параметров оптических сред глаза. В связи с этим необходимо уделять особое внимание корректному подбору ИОЛ до факоэмульсификации и адекватной разметке осей на глазу непосредственно во время хирургии [13, 21, 41, 66, 128, 150].

Несмотря на все сложности факохирургии, данный тип хирургического вмешательства остается одним из самых распространённых в общей практике врача – офтальмолога [9, 12, 14, 71, 143]. Необходимо помнить о наличии так называемой «экспульсивной геморрагической» реакции глаза на вмешательство. Данное осложнение относят к наиболее

тяжелым, способствующим в лучшем случае значительному ухудшению зрения, в худшем – полной его потере. Заранее предугадать прогноз такого вмешательства невозможно, от хирурга требуется огромная скорость реакции и большой навык выполнения техники оперативного вмешательства [10, 18 – 20, 27, 38].

Необходимо вычленять группы пациентов относящихся к так называемой «группе риска», чтобы быть готовым к возможным нестандартным реакциям глаза на хирургическое вмешательство [170, 171]. Однако литературные данные указывают на высокий уровень функциональных результатов после ФЭ с последующей имплантацией интраокулярной линзы. Результаты операции сопровождаются не только повышением остроты зрения, но также значительным улучшением пространственной контрастной чувствительности [17, 37, 40, 94, 173].

1.3. Гибридная факоемульсификация и экстракапсулярная экстракция катаракты.

Гибридную факоемульсификацию можно отнести к относительно новому методу хирургии хрусталика, позволяющему более безопасно и эффективно произвести удаление мутного хрусталика. Общая энергетическая нагрузка на ткани глаза (в частности, на хрусталик) значительно уменьшается при выполнении гибридной факоемульсификации [29, 47, 50, 63, 89]. Использование фемтосекундного лазера позволяет сократить применение других хирургических этапов, таких как тоннельный разрез, формирование капсулорексиса и, наконец, предварительная фрагментация ядра.

Применение фемтосекундного лазера на этапе формирования разреза весьма дискуссионно, а вот использование данного типа лазера для формирования капсулорексиса может быть весьма обоснованным, ведь

разрез, формируемый при помощи лазерного воздействия, получается абсолютно ровным, точным по расположению и размеру [87, 91, 104, 118, 151, 154].

К сожалению, методика не лишена ряда недостатков. К ним можно отнести гиперемиию глазного яблока, а также незапланированное сужение зрачка после проведения фемтолазерного этапа операции [96, 97, 111]. Избежать гиперемиию глазного яблока возможно предварительным назначением простагландинов непосредственно до начала хирургического вмешательства. Однако проблемы, связанные с установкой вакуумного кольца на глаз так и не были решены [135, 148, 152].

В случае проведения операции экстракапсулярной экстракции катаракты происходит закономерное более выраженное отрицательное влияние на структуры глазного яблока. Формируют более длительный по своей протяженности разрез, сама операция относится к более травматическому типу вмешательства. Ряд пациентов в связи с отсутствием их достаточной информированности, а также – особенностями ментального развития предпочитает дожидаться полного созревания катаракты и как следствие формирования практически полной слепоты [120, 126, 132, 138, 140, 158, 164]. Единственным возможным вариантом хирургии при очень мутном хрусталике остаётся экстракапсулярная экстракция катаракты, сопровождаемая предсказуемыми осложнениями.

Сегодняшняя факохирургия нацелена на своевременное и менее травматичное вмешательство и как следствие – на более высокую прогнозируемую остроту зрения в послеоперационном периоде. Возникает необходимость проведения своевременной и качественной диагностики для подбора пациентов с последующей хирургией катаракты. Современные операционные оснащены достаточным оборудованием и способны пропускать большой поток пациентов [15, 139, 163].

Активное внедрение отечественных разработок позволяет использовать хрусталики Российского производства, что значительно снижает стоимость операции в удаленных населенных пунктах с низким уровнем жизни и заработной платы. Также, используемые на сегодняшний день техники хирургии достаточно быстры и относительно легки в исполнении в руках опытного практикующего хирурга, что в свою очередь делает еще более доступной факоэмульсификацию катаракты с последующей имплантацией ИОЛ [25, 136, 142].

Возможна также разработка специальных линз, имеющих особенности крепления не в типичных для ИОЛ местах, а также внедрение и активная хирургическая установка ИОЛ с множественными фокусами для возможности работы глазами на разных расстояниях [26, 141, 160]. Чаще такие линзы необходимы спортсменам средней возрастной группы, людям офисных профессий, работающих одновременно и на бумажных носителях, и за компьютером, когда нет возможности регулярного использования очков или дополнительных средств контактной коррекции (линз) [85, 95, 106, 153, 165].

1.4. Перспектива исследования нервных волокон роговицы. Полинейропатия. Особенности строения нервных волокон роговицы.

Роговица одна из самых иннервируемых тканей организма человека. Повышенная чувствительность роговицы обеспечивает активные моргательные движения, позволяющие активно смачивать поверхностный эпителий и верхние слои роговицы. Благодаря такой активной мигательной функции обеспечивается возможность быстрого вымывания попадающих на роговицу глаза инородных тел (соринки, пылинки, окалины металлической стружки и т.д.) [1 – 3].

Нервы роговицы относят к немиелинизированным, то есть в их составе отсутствует миелиновая оболочка, поэтому увидеть их невооруженным глазом (на обычной щелевой лампе) не представляется возможным. Для анализа структуры НВР было предпринято много попыток разработки приборов, позволяющих на близком к анатомическому уровнях произвести оценку состояния НВР.

Однако после изобретения М. Minsky конфокального микроскопа многие вопросы по дальнейшей разработке методов диагностики НВР отпали сами по себе. Современный лазерной конфокальный микроскоп позволяет провести диагностику НВР на уровне очень близком к гистологическому и получить достаточную информацию о структуре и строении нервных волокон [1].

Ранее практически отсутствовала возможность визуализации роговичных нервных волокон. В последние десятилетия многое поменялось, появились новые приборы, позволяющие на высоком уровне, качественно и детально производить оценку НВР. Одним из основных методов исследования нервных волокон роговицы на сегодняшний день является конфокальная микроскопия роговицы.

Метод получил широкое распространение и активно используется при ряде патологий, связанных как с изменением структуры самой роговицы, так и - системных заболеваниях организма, связанных с такой проблемой строения нервных волокон как полинейропатия. В первую очередь речь идет о таких проблемах офтальмологии как состояние роговицы и ее нервов, в частности, после таких оперативных вмешательствах на органе зрения как хирургия катаракты, глаукомы, а также после различных кераторефракционных вмешательств. Отдельного внимания заслуживает проблема восстановления нервных волокон роговицы после различных вариантов пересадок роговицы глаза.

Учеными были проанализированы случаи различной полинейропатии, развивающейся при ряде системных заболеваний. Нервные волокна

роговицы являются безмиелиновыми и самыми тонкими в организме человека, за счет этого они прозрачные и мы не замечаем их в роговице глаза без специальных диагностических методов. При таких серьезных патологиях как сахарный диабет, болезнь Паркинсона, системный амилоидоз, полинейропатия тонких нервных волокон, а также после перенесенной вирусной инфекции (в том числе вызванной коронавирусом) в ряде случаев развивается полинейропатия нервных волокон [2 – 8].

При этом на ранних стадиях полинейропатии страдают только тонкие немиелинизированные нервные волокна, которые удается визуализировать только в роговице глаза. Более толстые миелинизированные нервные волокна начинают страдать уже при появлении ярких клинических симптомов полинейропатии, таких как боль, тяжесть в ногах, чувство онемения, а также скованность при движении конечностями. Зачастую лишь на стадии повреждения толстых нервных волокон происходит обращение пациента к врачу.

Рядом авторов в качестве критериев количественной оценки структуры нервных волокон роговицы были использованы такие критерии как анализ длины и плотности основных нервных стволов и их ветвей. Отдельного внимания заслуживает анализ хода и извитости нервов, которые, как правило, анализируют, используя специальные диагностические программы с длительным математическим расчетом. Врачам, занимающимся анализом полинейропатии (эндокринологи, неврологи, врачи общей практики) зачастую приходится сталкиваться с проблемами нервных волокон, появляющимися при обращении пациентов на более поздних этапах развития заболевания (уже при повреждении более толстых миелинизированных нервных волокон) [7, 187].

В качестве дополнительных критериев используют анализ толстых нервных миелинизированных нервных волокон, чаще всего для этого используют электронейромиографию (ЭНМГ). Рядом авторов метод ЭНМГ расценен как основной метод объективной оценки функционального

состояния периферических нервов. Так, зарубежные авторы указывают на сильную корреляцию между изменениями хода и структуры нервных волокон роговицы и состоянием толстых миелинизированных нервов у пациентов с наличием сахарного диабета (СД) [46, 47, 184 – 188].

Диабетическая полинейропатия является отдельной проблемой, заслуживающей большого внимания, адекватной ранней диагностики и как следствие – своевременного лечения. При этом лазерная конфокальная микроскопия роговицы наряду с методом ЭНМГ рассматривается в качестве основного диагностического метода. [4, 49, 137, 175, 178].

Однако вопрос о потенциальных изменениях НВР, индуцированных факохирургией, остается малоизученным. При анализе изменений чувствительности роговицы и плотности суббазального нервного сплетения после ультразвуковой ФЭ с использованием темпорального и верхнего роговичного тоннельного разрезов отмечено снижение чувствительности роговицы в проекции «тоннеля» в первые три месяца после операции, более выраженное при применении темпорального разреза [121].

Детального изучения хода и структуры нервных волокон роговицы при различных вариантах факохирургии ранее не проводилось (при длительном сроке наблюдения), также отсутствуют данные в литературных источниках об изменении и скорости восстановления нервных волокон в разные сроки после выполнения факохирургических вмешательств. В связи с этим весьма интересным представляется анализ нервных волокон (их морфологической составляющей) при различных вариантах факохирургии.

Глава 2. Материалы и методы исследования.

Исследования проведены в трех группах пациентов в возрасте от 50-и до 73-х лет, которым были выполнены стандартная ультразвуковая факоэмульсификация, гибридная факохирургия, а также экстракапсулярная экстракция катаракты (по 35 операций в I и II группе, 18 – в III, соответственно). При формировании I и II группы учитывали плотность катаракты (вторая и третья степень по классификации Буратто). Основным критерий исключения из сформированных групп исследования – выявленные на этапе дооперационного обследования изменения роговицы и НВР любого генеза. Исследование проведено с помощью сертифицированного в РФ оборудования. Пациенты были проинформированы об особенностях исследования и дали добровольное согласие на его проведение.

Нами были использованы как общепринятые методы диагностики, так и специальные (уточняющие) методы. Применяемое в нашей работе оборудование сертифицировано и разрешено к применению на территории Российской Федерации.

Максимальную остроту зрения (МОЗ) определяли по оптотипам со 100% контрастностью, равно отстоящим друг от друга в десятичной шкале. При наличии сферической аметропии и/или астигматизма для определения этого показателя использовали сферические и цилиндрические пробные линзы, а также дуохромный тест, одновременно уточняя вид и степень клинической рефракции субъективным способом.



Рисунок 1. Общий вид лазерной установки VICTUS («Technolas Perfect System», Германия).

Стандартную ультразвуковую факоэмульсификацию (I группа пациентов), включавшую тоннельный разрез, переднюю круговую капсулотомию диаметром 5,0-6,0 мм, гидродиссекцию ядра и хрусталиковых масс, факофрагментацию и эмульсификацию, аспирацию масс и имплантацию эластичной интраокулярной линзы, выполняли на установках

«Infiniti Vision System» (Alcon, США) и Stellaris (Baush&Lomb, США) (рис. 1).

В процессе гибридной факохирургии (II группа пациентов) фемтосекундную лазерную установку VICTUS («Technolas Perfect Visison», Германия) применяли только для переднего капсулорексиса и предварительной фрагментации ядра, при этом использовали интерфейс, который включал апланационную линзу, раствор между линзой и роговицей, а также вакуумное кольцо.

Диаметр фемтолазерной капсулотомии составлял 5,0 мм, а паттерн фемтолазерной фрагментации ядра включал 8 радиальных разрезов. После этого переходили непосредственно к хирургическому этапу гибридной ФЭ, в процессе которого применяли описанные выше приемы стандартной ультразвуковой методики.

Сначала глазное яблоко иммобилизовали, далее осуществляли стыковку поверхности роговицы глаза с лазерной частью прибора. Дополнительно специально был использован так называемый жидкий интерфейс, который позволял уменьшить давление на роговицу во время стыковки с прибором. Жидкий интерфейс заполнял пространство между рабочей поверхностью прибора и поверхностью роговицы специальным солевым раствором.

При необходимости нами дополнительно проводилась пневмотонометрия, гониоскопия и периметрия. Определение послеоперационной воспалительной реакции осуществлялось в том числе по влаге передней камеры (эффект Тиндаля). Все применяемые нами диагностические методы были дублированы в случае необходимости (при наличии осложнений или активной воспалительной реакции).

При этом хирургическая фемтолазерная система позволила осуществить выбор центрации капсулотомии в разных вариантах. При стандартной и

самой распространенной методике центрация осуществлялась в передней капсуле по зрачку (рис. 2).

Прозрачность роговицы оценивали с помощью биомикроскопии на основе получения оптического среза.

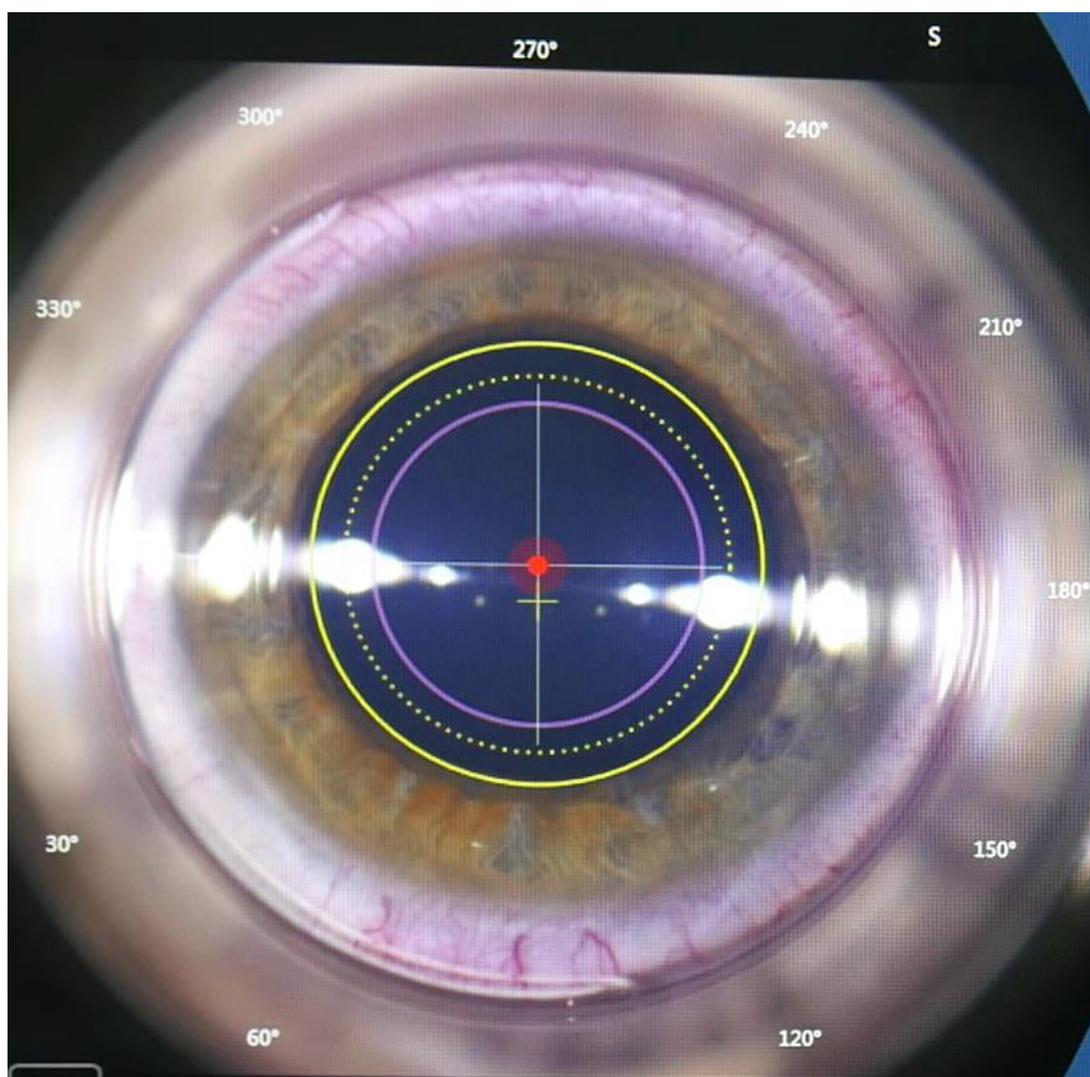


Рисунок 2. Центрация фемтолазерной капсулотомии по зрачку.

При стандартной технологии гибридной факоемульсификации диаметр в среднем составил 5 – 5,2 мм, при этом хирургом удавалось соблюсти

условие, чтобы расстояние между зрачковым краем радужки и зоной непосредственного лазерного вмешательства составила не менее 1 мм.

При фемтолазерной фрагментации ядра учитывали уровень энергии лазера, а также отдельно анализировали плотность ядра хрусталика. Учитывая плотность ядра хрусталика подбирали оптимальный диапазон лазерного излучения.

Среднее значение излучения составили от 6700 нДж (при незрелых катарактах) до 7800 нДж при запущенных катарактах (плотности ядра соответствующей IV ст. по Бурато). Для профилактики повреждений задней капсулы условный «зазор» между зоной лазерного воздействия на ядро хрусталика и задней капсулой находился в пределах 0,8 – 1,0 мм.

Средние показатели т.н. эффективного времени ультразвука при эмульсификации ядра в I и II группе составили $3,11 \pm 0,21$ и $2,99 \pm 0,32$, соответственно.

В процессе экстракапсулярной экстракции (III группа) выполняли роговичный разрез (в миллиметре от лимба) протяженностью от 10.00 до 02.00 часов циферблата, тангентную капсулотомию в верхней трети передней капсулы, экспрессию ядра, промывание хрусталиковой сумки, межкапсулярную имплантацию интраокулярной линзы и удаление центральной части передней капсулы. Разрез герметизировали с помощью непрерывного х-образного нейлонового шва с погружным узлом.

Клиническую рефракцию и рефракцию роговицы проводили с помощью авторефрактокератометра (RK-F1, «Canon», Япония). В сложных случаях при необходимости дополнительно рефракцию роговицы уточняли с помощью топографической кератометрии («Pentacam HR Oculus», Япония). Для осмотра глазного дна использовали щелевую лампу и асферическую линзу с оптической силой (+) 68,0 дптр.

Для анализа состояния заднего эпителия роговицы (ЗЭР) и в случае необходимости – определения толщины роговицы использовали бесконтактный микроскоп SP-3000P («Торсон», Япония) (рис. 3).



Рисунок 3. Внешний вид эндотелиального микроскопа Торсон 3000P.

Ультразвуковую биометрию (измерение ПЗО) выполняли на приборе OcuScan («Alcon», США).

В качестве метода, позволяющего оценить структуру роговицы и нервного волокна, в частности, был использован лазерный конфокальный микроскоп. Данный прибор отличается большой скоростью съёмки и высоким разрешением визуализации. Нами был выбран именно метод лазерной, а не световой конфокальной микроскопии по ряду причин.

В ранее проведенных исследованиях было отмечено, что прибор обладает большой визуализационной способностью, высоким контрастом и разрешением. При этом скорость съёмки при лазерной конфокальной

микроскопии существенно выше, чем при световой. На рисунке 4 а и б представлен внешний вид лазерного конфокального микроскопа, используемого в нашей работе.



Рисунок 4а. Внешний вид лазерного конфокального микроскопа роговицы с использованием специальной насадки для роговицы.



Рисунок 46. Внешний вид лазерного конфокального микроскопа роговицы с использованием специальной насадки для роговицы.

Оценку состояния НВР в различных группах проводили до, через 7 – 10 дней, 2 – 2,5, 6, 8 - 10 мес после вмешательства. Разработанный ранее алгоритм оценки состояния НВР основан на анализе получаемых с помощью лазерного конфокального микроскопа (прибор НРТ III с роговичной насадкой Rostock Cornea, Германия) изображений с использованием оригинального программного обеспечения *Liner 1.2S* [68]. Для количественной оценки состояния НВР использовали два коэффициента: анизотропии ($K_{\Delta L}$) и симметричности направленности (K_{sym}), а в качестве дополнительных критериев – длину и плотность основных ветвей нервных волокон (в mm/mm^2 и $ед/mm^2$, соответственно) (рис. 5, 6).

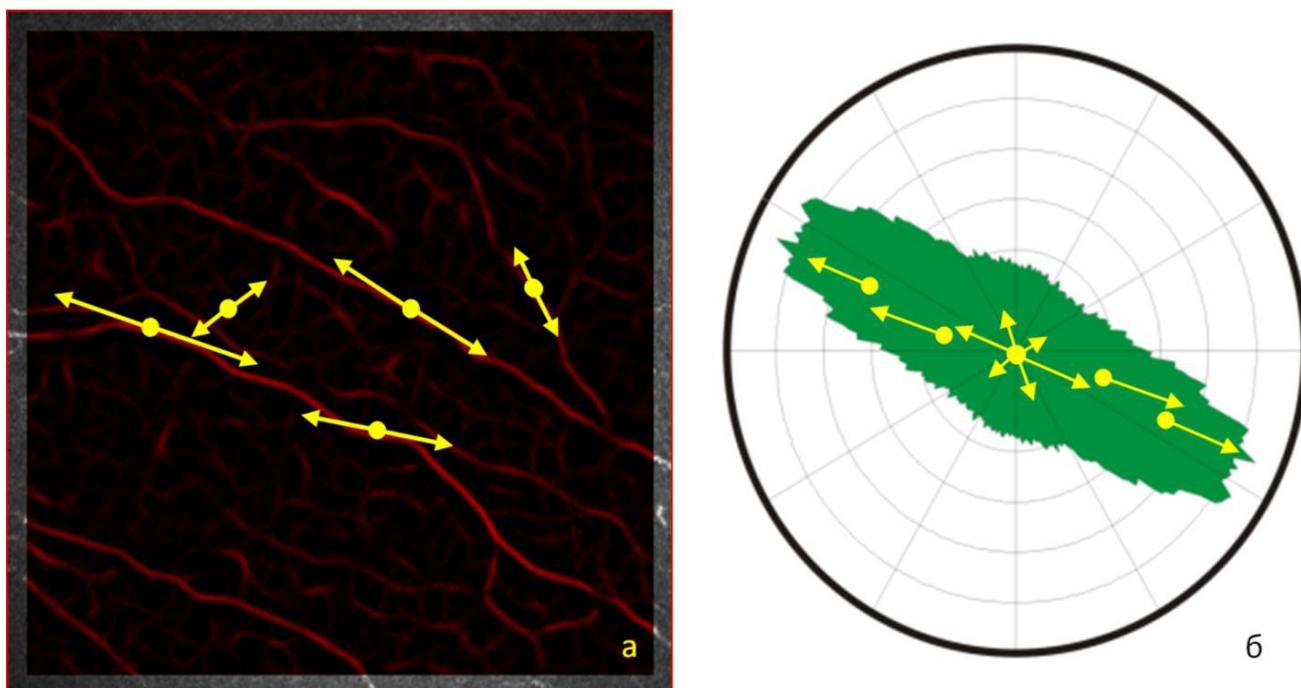


Рисунок 5. Интерфейс рабочего ПО во время работы программы, происходит анализ коэффициентов анизотропии и симметричности направленности нервных волокон роговицы.

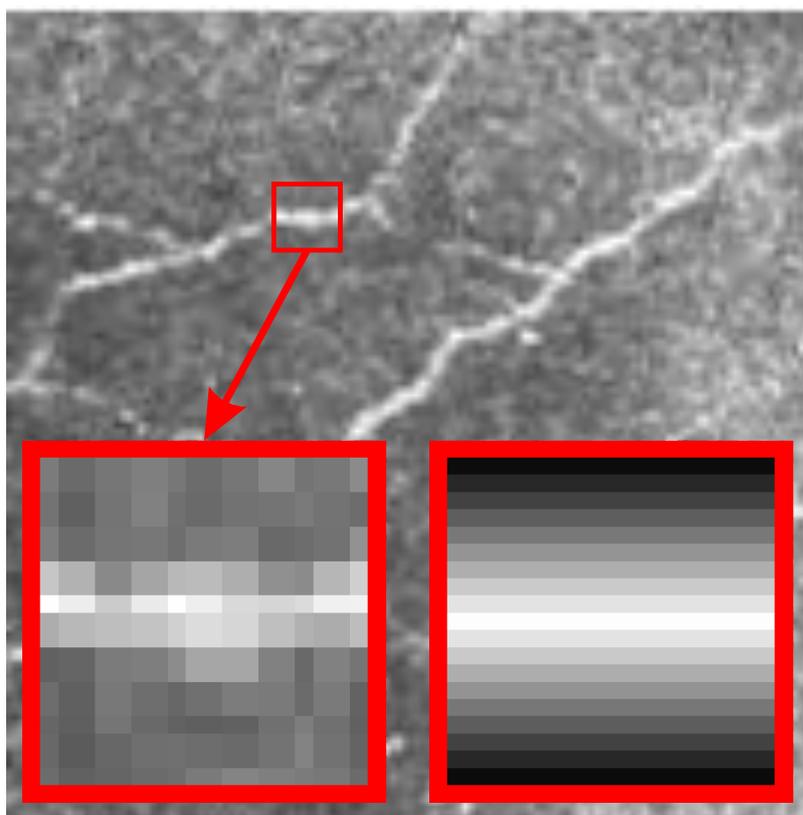


Рисунок 6. Процесс работы ПО Liner 1.2 S.

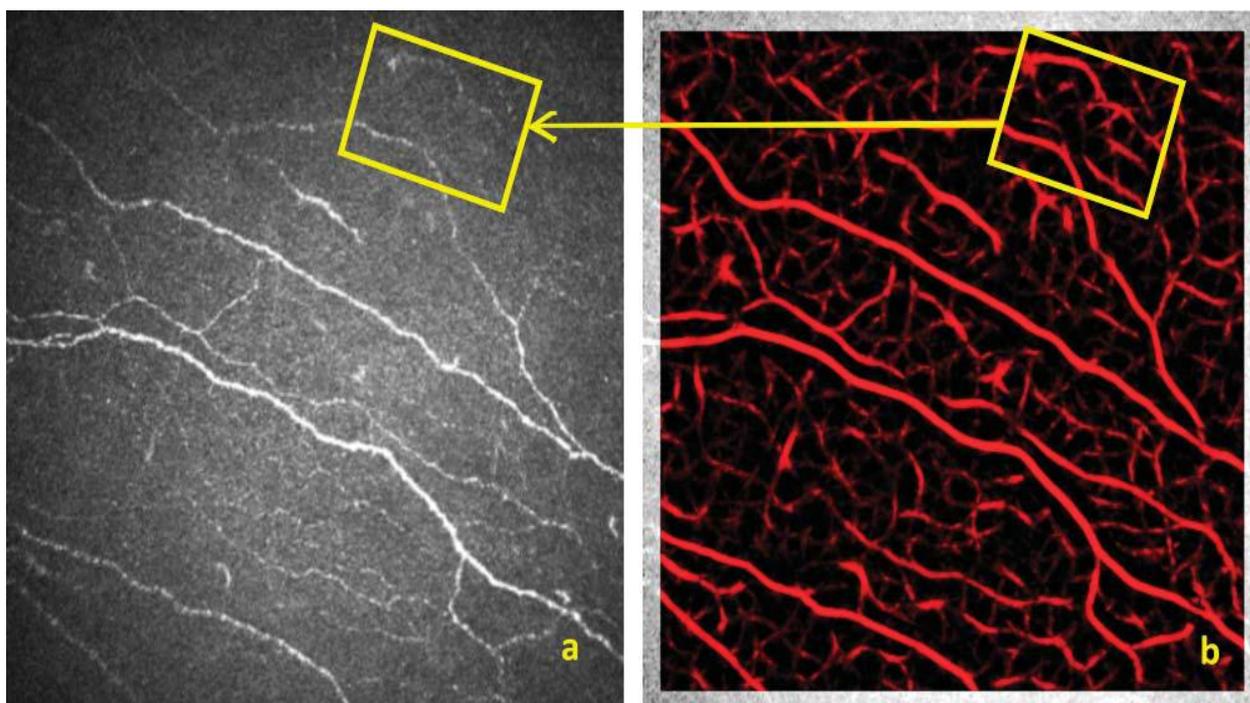


Рисунок 7. Изображение ПО в процессе анализа конфокальных снимков.

Во время работы компьютерной программы происходит последовательный анализ конфокальных снимков и сравнение их с «идеальной» модельной функцией, обозначающей абсолютно белый цвет на темном фоне. Нервные волокна роговицы являются относительно светлыми полосами на более темном фоне (рис. 6).

На рисунке 7 также указан процесс работы программы, примечательно, что те области НВР, которые не так явно были замечены на исходном снимке более отчётливо проявляются на обработанном программой изображении. В этом состоит большое преимущество авторской программы. Она позволяет производить анализ «затемненных» участков конфокальных снимков и «зашумленных» областей кадра.

Суть работы компьютерной программы состоит в последовательном анализе исходных конфокальных изображений, получаемых при помощи

лазерного конфокального микроскопа. Программа сравнивает НВР с искусственно сгенерированной идеальной модельной функцией, при этом абсолютно белые участки соответствуют белым полосам модельной функции и, наоборот, более темные – черным. В процессе анализа происходит сравнение всех исходных направлений нерва с автоматически сгенерированной модельной функцией и последующее автоматическое построение розы – диаграммы направленности нервных волокон роговицы.

При этом участки НВР наносятся на розу-диаграмму направленности под тем углом, под которым они были на исходном конфокальном снимке. Сама по себе роза-диаграмма несет много информации, однако нами в качестве основных оценочных критериев были дополнительно разработаны два коэффициента, позволяющие оценивать общую извитость нервного волокна: коэффициенты анизотропии и симметричности направленности нервных волокон роговицы. Чем более извитые нервные волокна, тем более округлая форма розы- диаграммы направленности, тем с большей долей вероятности мы можем утверждать о наличии признаков полинейропатии и нарушения структуры НВР.

В качестве иллюстративного примера на рисунке 8 представлена роза-диаграмма направленности у участника группы контроля и пациента с наличием нарушения структуры НВР (диабетическая полинейропатия). Наглядно продемонстрирована разница в форме и размере розы-диаграммы направленности, что естественно отражается на её форме и «округлости».

Форма розы-диаграммы направленности уже дает право постановки диагноза, однако дополнительно оценены коэффициенты анизотропии и симметричности направленности нервных волокон роговицы. Коэффициент анизотропии направленности НВР в данном случае был существенно ниже, а коэффициент симметричности направленности – наоборот, закономерно выше.

Дополнительным критерием, позволяющим оценить полинейропатию были показатели длины и плотности основных нервных волокон. В данном случае (и в работе в целом) мы пользовались анализом наиболее показательных критериев – длиной и плотностью именно основных нервных стволов. Отмечали при этом выраженное снижение длины и как следствие плотности основных нервных стволов. Возможность анализа только выбранных критериев длины и плотности позволила избежать огромных размеров статистических расчётов и более внимательно проанализировать критерии, на которых в итоге остановились исследователи.

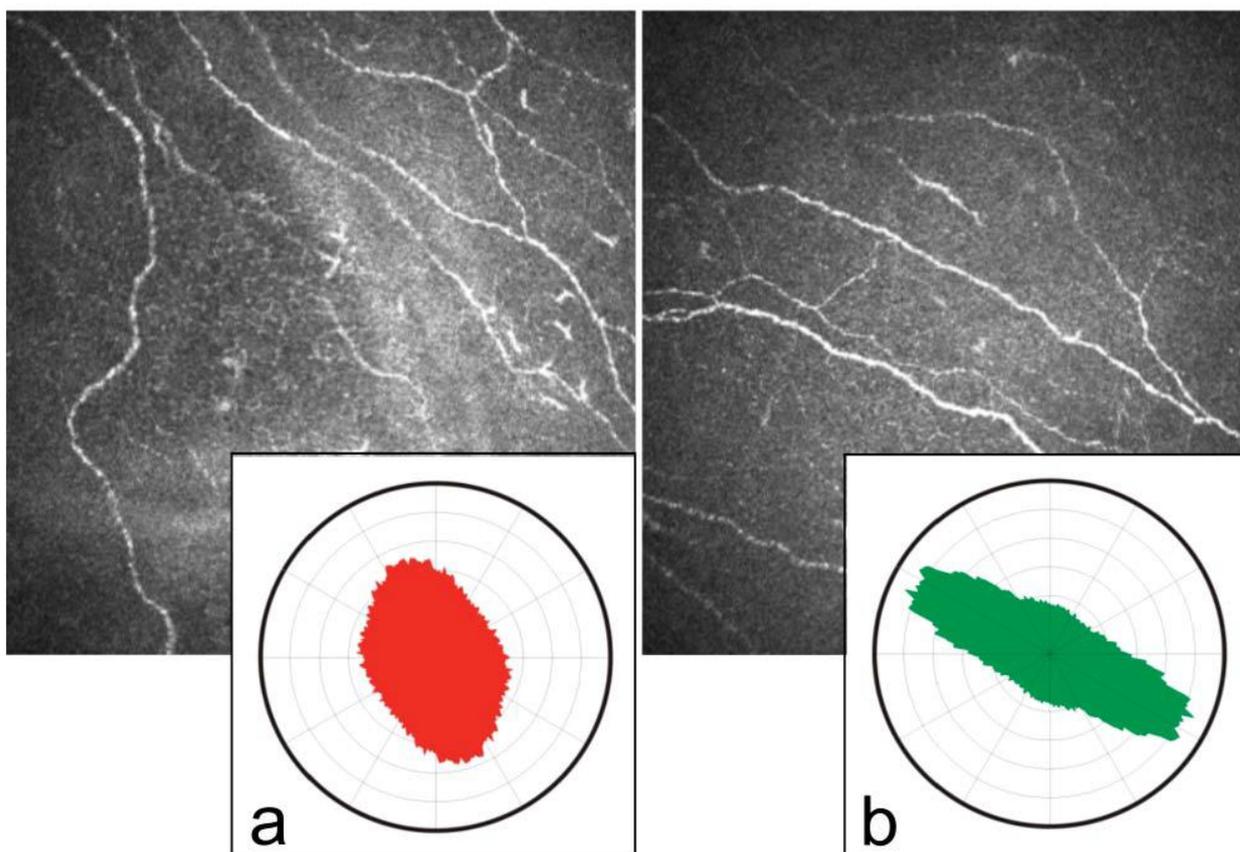


Рисунок 8. Конфокальные снимки, обработанные авторским ПО. А) пациент с признаками полинейропатии; Б) участник группы контроля.

Как нами было отмечено выше для определения структурных изменений достаточно анализа самой розы-диаграммы, однако нами дополнительно

разработаны коэффициенты анизотропии и симметричности направленности НВР. Также нами дополнительно использовалось ПО с возможностью оценки длины и плотности нервных волокон роговицы (рис. 9). Нами был сделан акцент на длину и плотность основных нервных стволов, изменения которых при длительном наблюдении были статистически достоверны. Сама авторская компьютерная программа позволяла оценивать структуру любого нервного волокна роговицы, появляющегося на снимках, также отдельно предполагалось определение воспалительных макрофагов -клеток Лангерганса.

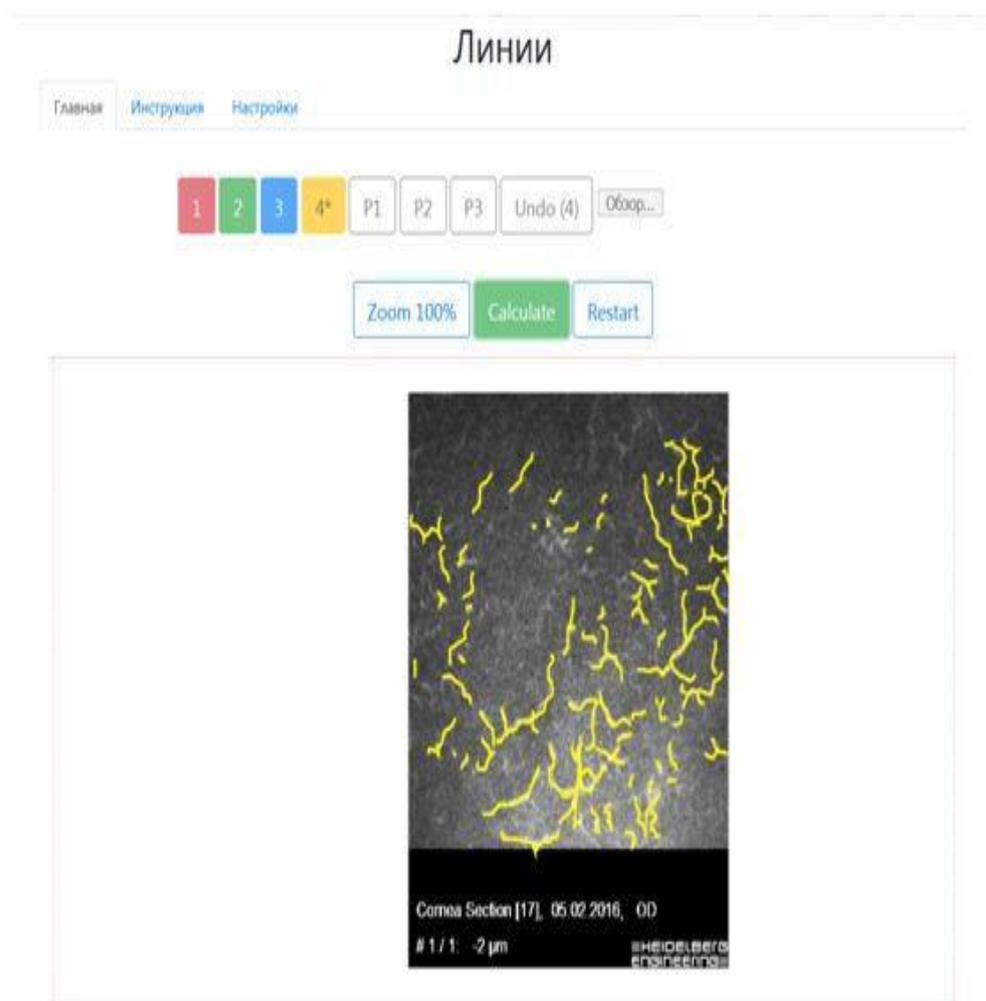


Рисунок 9. Интерфейс рабочей программы во время подсчета длины и плотности нервных волокон роговицы.

Статистический анализ и оценка достоверности получаемых результатов проведены с помощью программ Microsoft Excel 2010 и Statistica 8.0. Количество исследований в группах было достаточным для применения методов параметрической статистики. При распределении всех исследуемых показателей, близком к нормальному, в качестве характеристик распределения использовали среднее и стандартное отклонение ($M \pm \delta$), а при сравнении параметров – параметрические критерии и тесты (t-test - критерий Стьюдента и парный критерий Стьюдента). Различия (P) считали достоверными при величине указанных критериев менее 0,05.

Глава 3. Результаты собственных обследований.

Характер и степень изменений различных морфофункциональных показателей роговицы после факохирургии являются общепринятыми качественными критериями «успешности» проведенного вмешательства. При этом вопрос влияния факохирургии на состояние НВР остается недостаточно изученным.

При анализе средних величин т. н. эффективного времени ультразвука в процессе ультразвуковой и гибридной ФЭ (группы 1 и 2, соответственно) выявлена тенденция к уменьшению этого показателя в последнем случае ($3,11 \pm 0,21$ и $2,99 \pm 0,32$ сек, соответственно).

Ранее на основе использованного в настоящем исследовании алгоритма количественной оценки состояния НВР было выявлено, что возрастные изменения НВР проявляются в виде усиления извитости волокон – коэффициент анизотропии направленности при этом снижается, а симметричности – наоборот, увеличивается. Выявленная тенденция усиливается при сахарном диабете [Сурнина З.В., 2015].

Средние исходные значения коэффициентов анизотропии и симметричности направленности, а также длины и плотности основных ветвей НВР представлены в табл.1, 2. В табл. 3 и 4 представлена динамика средних значений различных показателей состояния НВР в различных группах. Обозначения 1, 2, 3, 4 и 5 в этих таблицах соответствуют срокам обследования (до, через 7 – 10 дней, 2 – 2,5, 6 и 8 -10 мес после операции, соответственно).

Таблица 1.

Средние исходные показатели состояния НВР ($M \pm \delta$) в различных группах.

Показатель	Группа I	Группа II	Группа III
K Δ L	2,73 \pm 0,75	2,91 \pm 0,62	2,62 \pm 0,61
Ksym	0,91 \pm 0,04	0,92 \pm 0,06	0,89 \pm 0,05
Длина основных ветвей НВР (мм/мм ²)	39,3 \pm 4,8	32,9 \pm 4,6	34,4 \pm 5,1
Плотность основных ветвей НВР (ед/мм ²)	5,1 \pm 1,2	6,2 \pm 1,4	5,2 \pm 1,7

Таблица 2.

Сравнение дооперационных показателей с учетом t-критерия.

Показатель	Группа 1	Группа 2	Группа 3	P (t-критерий)
K Δ L до	2,73 \pm 0,75	2,91 \pm 0,62	2,62 \pm 0,61	0,188
Ksym до	0,91 \pm 0,04	0,92 \pm 0,06	0,89 \pm 0,05	0,892

Дооперационные показатели в группах статистически значимо не отличаются, поэтому можно сравнивать показатели после операции между этими группами.

Таблица 3.

Средние показатели коэффициентов анизотропии ($K_{\Delta L}$) и симметричности (K_{sym}) направленности НВР ($M \pm \delta$) в различных группах.

Группа	Показатель	Сроки обследования				
		1	2	3	4	5
I	$K_{\Delta L}$	2,73 ± 0,75	2,37 ± 0,44*	2,48 ± 0,61*	2,61 ± 0,44*	2,69 ± 0,41*
I	K_{sym}	0,91 ± 0,04	0,81 ± 0,07	0,91 ± 0,37*	0,91 ± 0,06*	0,92 ± 0,05
II	$K_{\Delta L}$	2,91 ± 0,62	2,54 ± 0,71*	2,63 ± 0,61	2,79 ± 0,43*	2,84 ± 0,42
II	K_{sym}	0,91 ± 0,06	0,95 ± 0,03	0,93 ± 0,06*	0,87 ± 0,05	0,89 ± 0,06
III	$K_{\Delta L}$	2,62 ± 0,61	2,21 ± 0,51*	2,17 ± 0,45	2,53 ± 0,39*	2,59 ± 0,38
III	K_{sym}	0,89 ± 0,05	0,92 ± 0,07	0,84 ± 0,07	0,93 ± 0,04*	0,91 ± 0,07

* различия по сравнению с исходными данными статистически достоверны ($p \leq 0,05$)

Таблица 4.

Средние показатели длины и плотности основных НВР ($M \pm \delta$) в различных группах.

Группа	Показатель	Сроки обследования				
		1	2	3	4	5
I	Длина основных НВР (мм/мм ²)	39,3 ± 4,8	22,6 ± 6,1*	24,3 ± 5,5*	32,7 ± 4,2*	34,6 ± 3,7
I	Плотность основных НВР (ед/мм ²)	5,1 ±1,2	3,2 ±1,1*	4,4 ±0,8	4,9 ±1,6*	3,9 ±1,4*
II	Длина основных НВР (мм/мм ²)	32,9 ± 4,6	21,5 ± 5,4*	26,7 ± 5,8	33,7 ± 6,1	29,7 ± 6,2
II	Плотность основных НВР (ед/мм ²)	6,2 ± 1,4	4,7 ±2,1*	4,9 ±1,2	5,3 ±1,5*	3,7 ±1,2
III	Длина основных НВР (мм/мм ²)	34,4 ± 5,1	19,1 ± 3,9	21,3 ± 4,3*	26,8 ± 3,4*	31,3 ± 5,3
III	Плотность основных НВР (ед/мм ²)	5,2 ±1,7	2,2 ±0,9*	3,4 ±1,3*	3,8 ±1,6	3,9 ±1,8

* различия по сравнению с исходными данными статистически достоверны ($p \leq 0,05$)

Отдельно нами было выполнено сравнение дооперационных и послеоперационных показателей в 1 и 2 группах (табл. 5 а,б и 6 а,б). 3 группа была представлена меньшим количеством пациентов в связи с этим было принято решение не анализировать аналогичные показатели группы 3, используя параметрическую статистику нормального распределения.

Таблица 5 а. Сравнение дооперационных и послеоперационных показателей в группе 1.

Показатель	До (n=29)	После 1 (n=29)	После 2 (n=29)	P (t- критерий)
	1	2	3	
KΔL	2,73±0,75	2,37±0,44	2,48±0,61	P ₁₂ =0,124 P ₂₃ =0,071 P ₁₃ =0,017
Ksym	0,91±0,04	0,81±0,07	0,91±0,37	P ₁₂ =0,335 P ₂₃ =0,350 P ₁₃ =0,212

Статистически значимое снижение KΔL достигается после второго периода наблюдения.

Таблица 5 б. Сравнение дооперационных и послеоперационных показателей в группе 1.

Показатель	До (n=11)	После 1 (n=11)	После 2 (n=11)	После 3 (n=11)	P (t- критерий)
	1	2	3	4	
$K\Delta L$	3,32±1,05	2,38±0,53	2,20±0,73	2,63±0,80	P₁₂=0,013 P ₂₃ =0,238 P₃₄=0,007
K_{sym}	0,91±0,01	0,93±0,04	0,94±0,05	0,92±0,06	P ₁₂ =0,288 P ₂₃ =0,715 P ₃₄ =0,767 P ₁₄ =0,345

Статистически значимое снижение $K\Delta L$ достигается после1, а после3 начинается значимый рост этого показателя.

Таблица 6 а. Сравнение дооперационных и послеоперационных показателей в группе 2

Показатель	До (n=29)	После 1 (n=29)	После 2 (n=29)	Р (t- критерий)
	1	2	3	
$K\Delta L$	2,91±0,62	2,54±0,71	2,63±0,61	P₁₂=0,029 P ₂₃ =0,238 P ₁₃ =0,251
K_{sym}	0,91±0,06	0,95±0,03	0,93±0,06	P ₁₂ =0,112 P ₂₃ =0,235 P ₁₃ =0,696

Во 2-й группе статистически значимое снижение $K\Delta L$ достигается после1, после2 – увеличивается, и значимо не отличается от дооперационного значения.

Таблица 6б. Сравнение дооперационных и послеоперационных показателей в группе 2

Показатель	До (n=11)	После 1 (n=11)	После 2 (n=11)	После 3 (n=11)	Р (t- критерий)
	1	2	3	4	
$K\Delta L$	3,01±0,60	2,36±0,36	2,46±0,54	2,43±0,38	P₁₂=0,012 P ₂₃ =0,527 P ₃₄ =0,834 P ₁₃ =0,066 P₁₄=0,006
K_{sym}	0,92±0,05	0,93±0,05	0,92±0,05	0,89±0,07	P ₁₂ =0,608 P ₂₃ =0,582 P ₃₄ =0,477 P ₁₃ =0,928

					$P_{14}=0,336$
--	--	--	--	--	----------------

Во 2-й группе статистически значимое снижение КΔL также достигается после 1, затем начинаются некоторые колебания показателя, но после 3 значимое снижение сохраняется.

Показатель K_{sum} значимо не изменялся ни в одном послеоперационном периоде, ни в одной из групп, поэтому в дальнейшем он не анализируется.

Сравнение групп (n=29), 2 периода.

Отмечаем статистически значимое как внутригрупповое ($P=0,003$), так и межгрупповое отличие ($P=0,021$) (рис. 10).

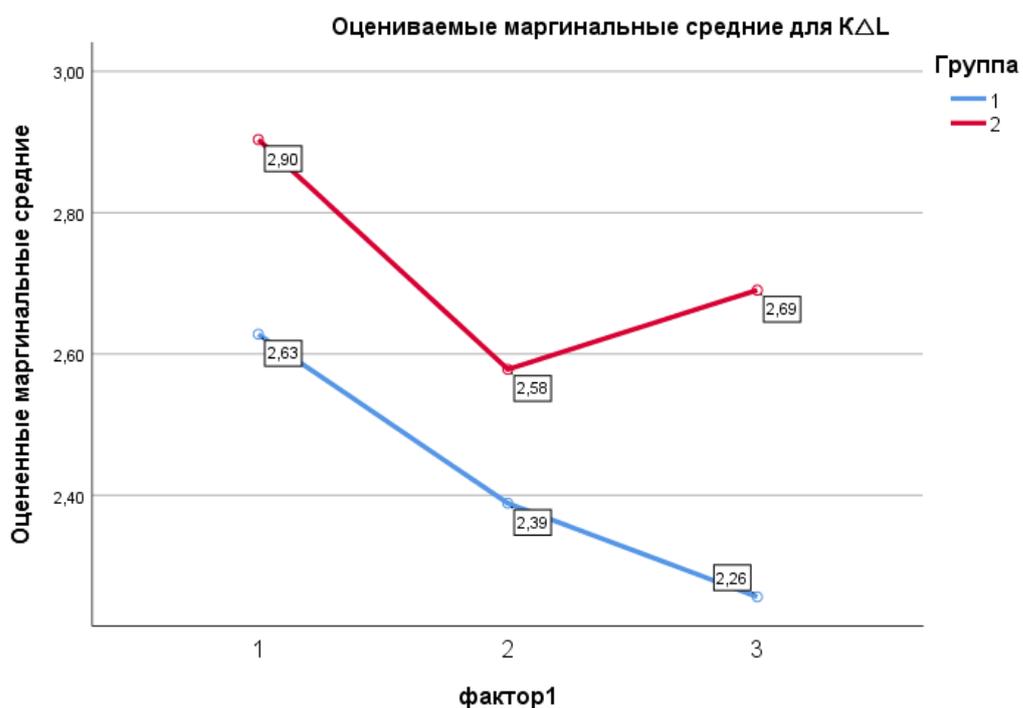


Рисунок 10. Сравнение внутригруппового и межгруппового отличия.

Таблица 7. Сравнение показателей в двух группах (n=29)

Показатель	Группа1	Группа2	P (t-критерий)
КΔL до	2,73±0,75	2,91±0,71	0,188
КΔL после 1	2,37±0,44	2,54±0,71	0,168
КΔL после 2	2,48±0,61	2,63±0,61	0,006

Сравнение групп 3 периода

Нами также отмечено статистически значимое внутригрупповое отличие ($P=0,003$), но при этом нет значимого межгруппового отличия ($P=0,830$) (рис. 11).

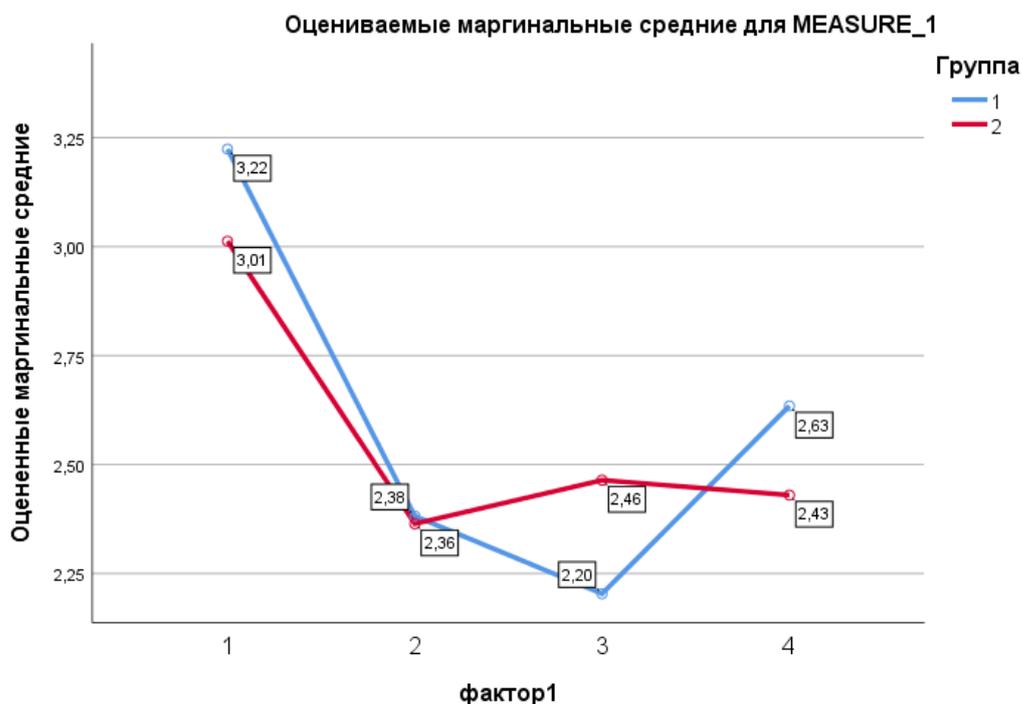


Рисунок 11. Внутригрупповое и межгрупповое отличие 3 периода.

Таблица 8. Сравнение показателей в двух группах (n=11)

Показатель	Группа1	Группа2	P (t-критерий)
КΔL до	3,22±1,05	3,01±0,60	0,555
КΔL после 1	2,38±0,53	2,36±0,36	0,926
КΔL после 2	2,20±0,73	2,46±0,54	0,337
КΔL после 3	2,63±0,80	2,43±0,38	0,436

Независимо от методики вмешательства при внутригрупповом анализе отмечена тенденция к выраженному уменьшению коэффициента анизотропии направленности (КΔL) и незначительному увеличению симметричности направленности (Ksym) НВР [4]. Через 2-2,5 мес после вмешательства наиболее существенное и достоверное снижение коэффициента анизотропии направленности НВР наблюдали после экстракапсулярной экстракции катаракты, а наименее выраженное – после гибридной факохирургии.

Независимо от методики факохирургии через 6 мес после вмешательства имела место тенденция к близкому к исходному уровню восстановлению коэффициентов. Следует отметить, что после микроинвазивных методик (I и II группы) динамика восстановления была более выраженной, а после экстракапсулярной экстракции (III группа) коэффициент анизотропии стал приближаться к исходному уровню только к концу 6 месяца наблюдения, а коэффициент симметричности так и не восстановился полностью в указанные сроки наблюдения.

Указанные выше изменения коэффициентов направленности сопровождались схожими нарушениями протяженности и плотности ветвей НВР. Так, через 6 мес после стандартной ультразвуковой факоэмульсификации и гибридной факохирургии отмечено «отставание» в

восстановлении только одного показателя – длины или плотности основных НВР, соответственно. После экстракапсулярной экстракции в эти сроки сохранялось достоверное снижение обоих показателей.

В ранее проведенных исследованиях были изучены функциональные и структурные изменения НВР после стандартной ультразвуковой факоэмульсификации. При оценке чувствительности роговицы и плотности суббазального нервного сплетения после этого вмешательства с использованием темпорального и верхнего роговичного тоннельного разрезов выявлено снижение обоих показателей в первые три месяца после операции, более выраженное при применении темпорального разреза [161]. В другом исследовании выявлено утолщение НВР после стандартной ультразвуковой ФЭ [66, 67].

Возможность снижения чувствительности роговицы (функции НВР) в проекции роговичного разреза отмечено и в других исследованиях. Кроме этого имеется ряд сообщений, в которых была показана возможность как увеличения, так и уменьшения толщины эпителия роговицы (структуры, анатомически и функционально близкой к НВР) после микроинвазивной факохирургии [86, 88].

Результаты, полученные в настоящем исследовании, свидетельствуют о потенциальной возможности изменений НВР независимо от методики факохирургии, при этом в сроки наблюдения до 6 мес прослеживается четкая тенденция к восстановлению различных показателей, характеризующих состояние НВР.

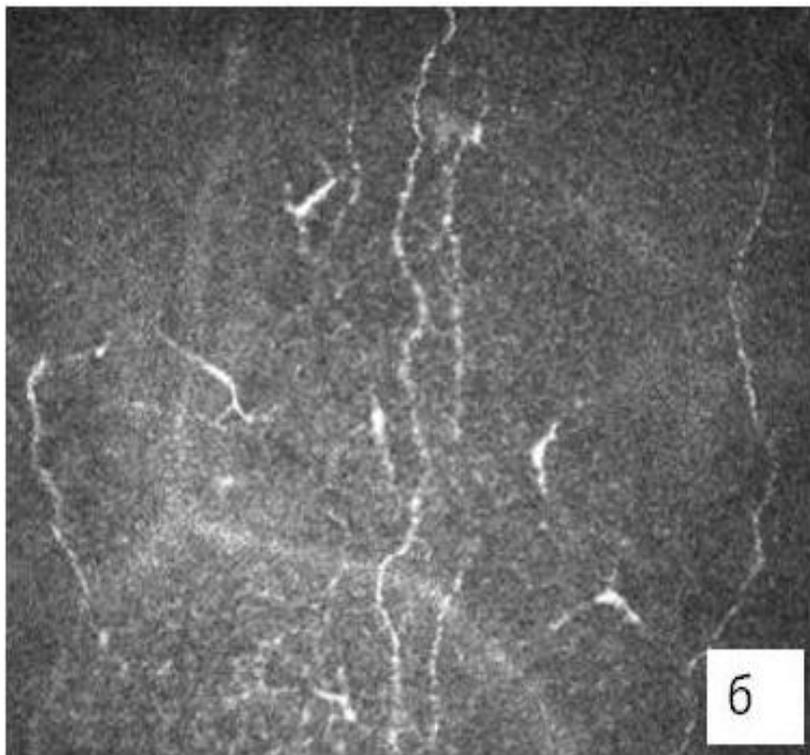
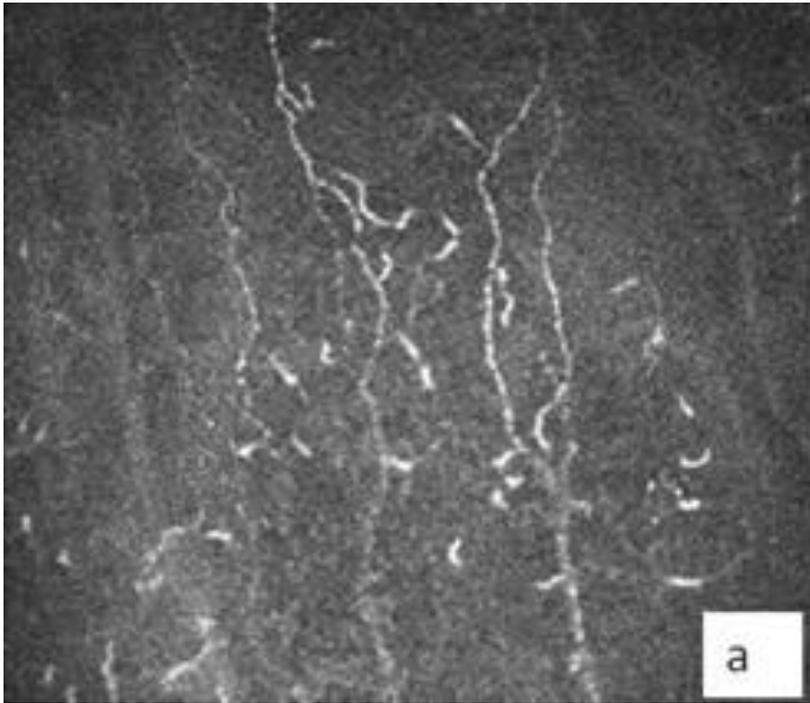
К факторам, индуцирующим изменения НВР, следует отнести их пересечение в процессе выполнения хирургического разреза (существенно более выраженное при экстракапсулярной экстракции) и энергетическое воздействие на роговицу при применении микроинвазивных методик в результате ультразвуковой эмульсификации ядра хрусталика.

Менее выраженные изменения показателей НВР при гибридной факохирургии по сравнению со стандартной ультразвуковой

факоэмульсификацией возможно объясняются отмеченным выше уменьшением энергетической нагрузки на роговицу (эффективное время ультразвука в процессе фрагментации и эмульсификации ядра хрусталика в среднем составило $3,11 \pm 0,21$ и $2,99 \pm 0,32$, соответственно). Наиболее выраженные изменения состояния НВР ожидаемо отмечены после экстракапсулярной экстракции, выполнение которой сопровождается существенным увеличением протяженности роговичного разреза.

В целом, изменения, происходящие в результате факохирургии можно рассматривать как транзитное нарушение структуры НВР. В раннем послеоперационном периоде во всех группах наблюдения при отсутствии изменений толщины НВР были значительно извиты, что отражают соответствующие коэффициенты, а длина и соответственно плотность основных НВР уменьшена. Высокая регенераторная способность НВР проявляется в постепенном восстановлении их структуры независимо от методики факохирургии.

На *рис. 12 - 14* наглядно представлены клинические примеры, иллюстрирующие результаты исследования НВР после различных методик факохирургии.



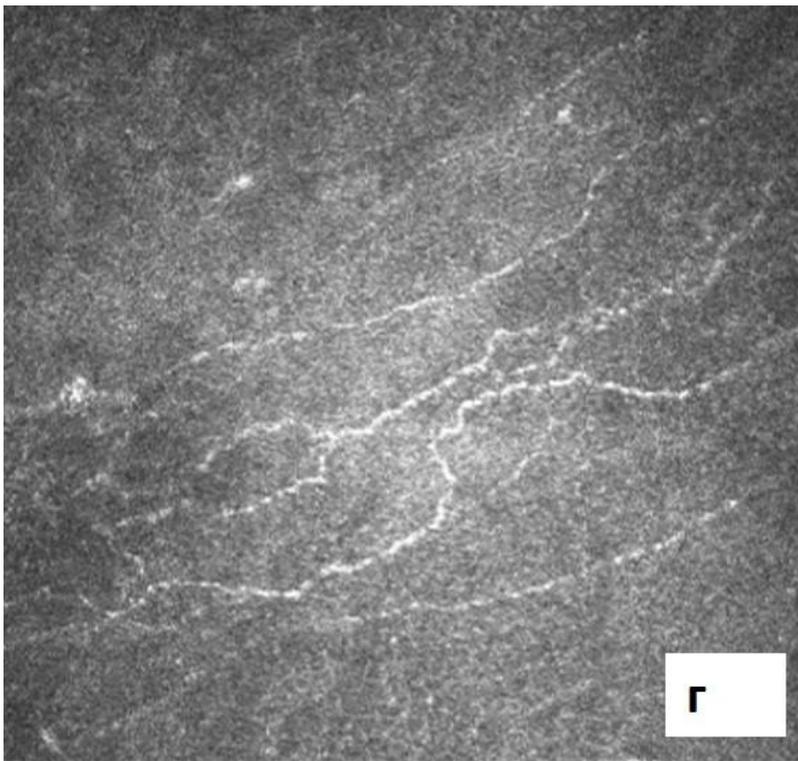
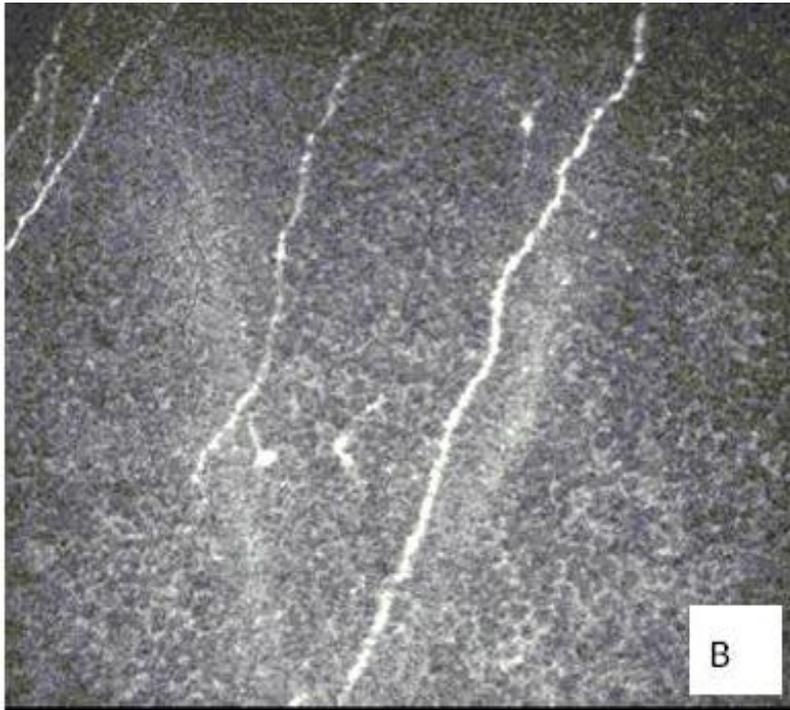
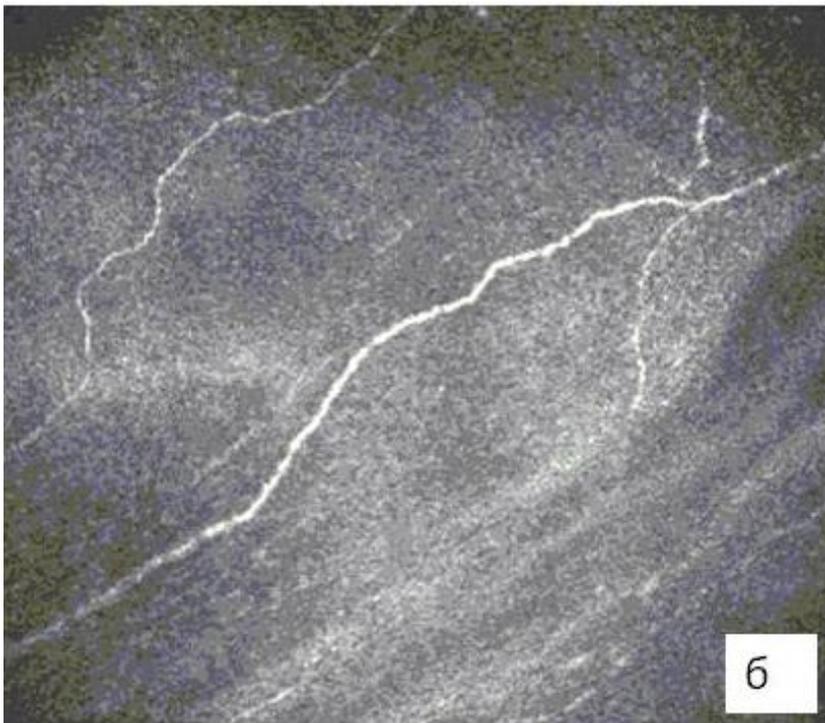
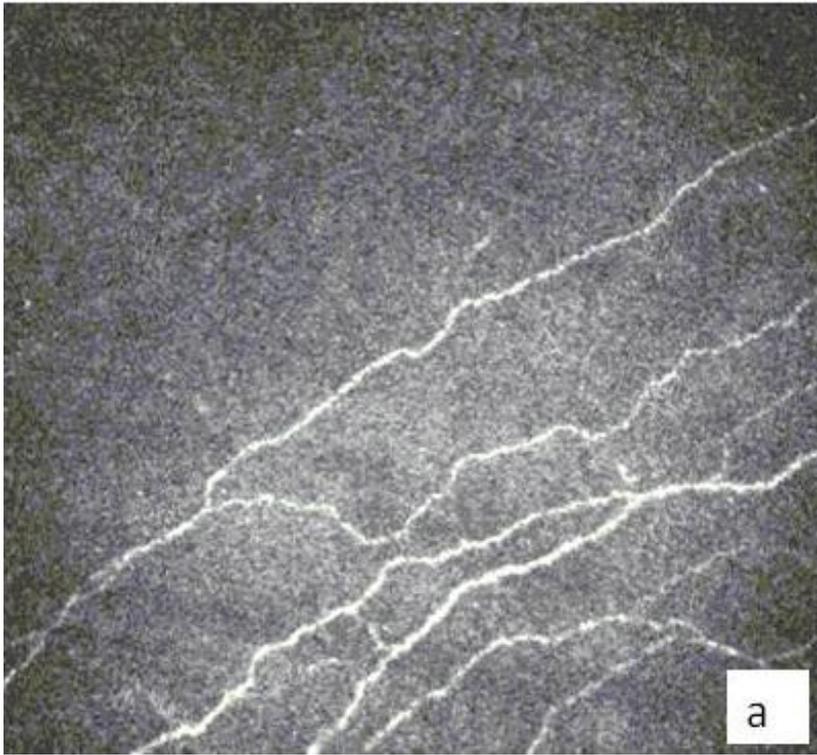


Рис. 12. Результаты исследования НВР пациентки А. до (А. $K_{\Delta L}= 2,63$; $K_{sym}= 0,89$), через 7 дней (Б. $K_{\Delta L}=2,28$; $K_{sym}= 0,95$), 2 мес (В. $K_{\Delta L}=2,43$; $K_{sym}=0,90$) и 6 мес (Г $K_{\Delta L}= 2,54$; $K_{sym}= 0,9$) после стандартной ультразвуковой ФЭ.



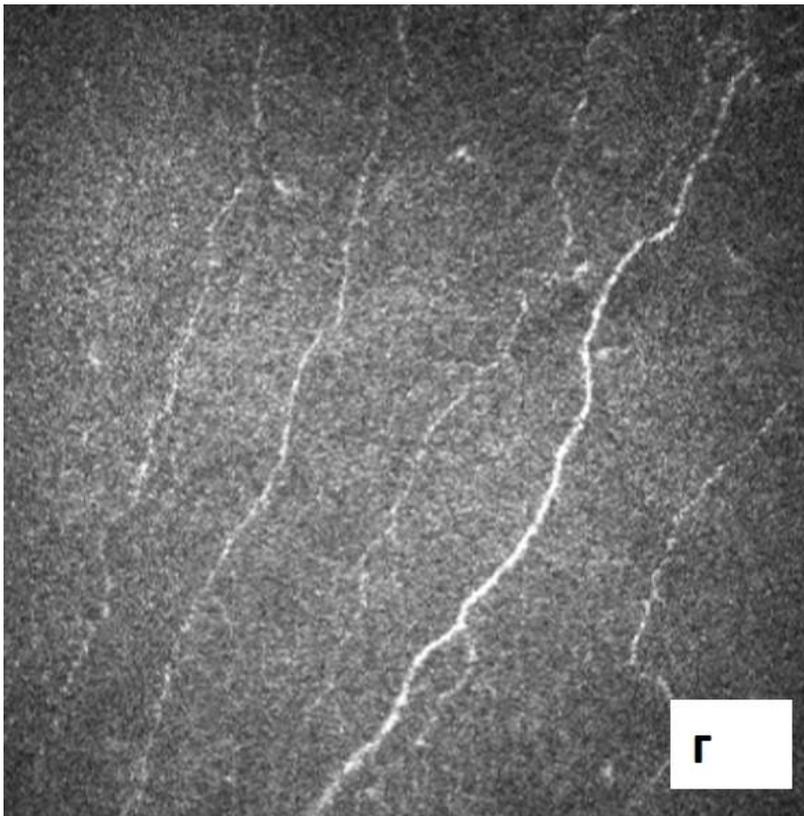
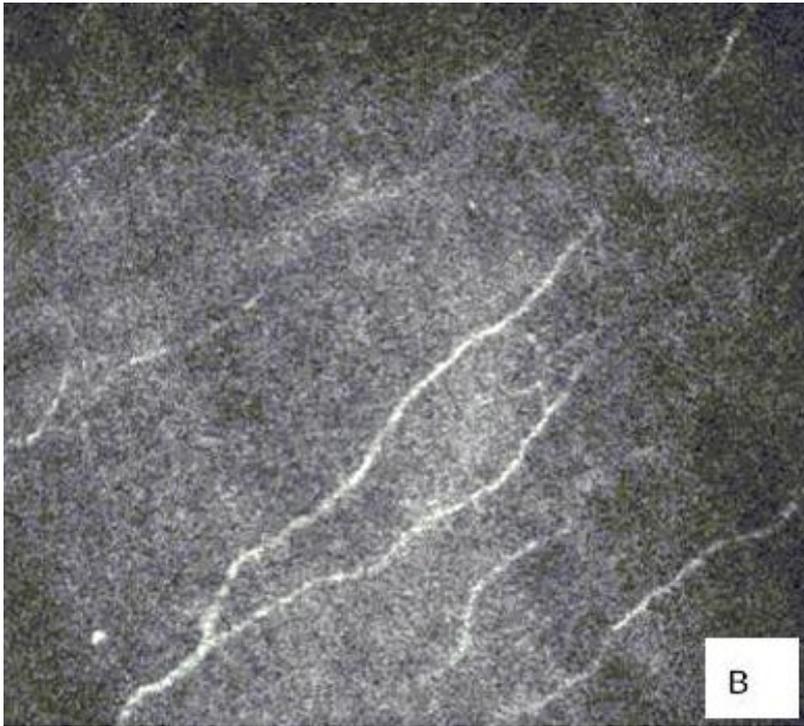
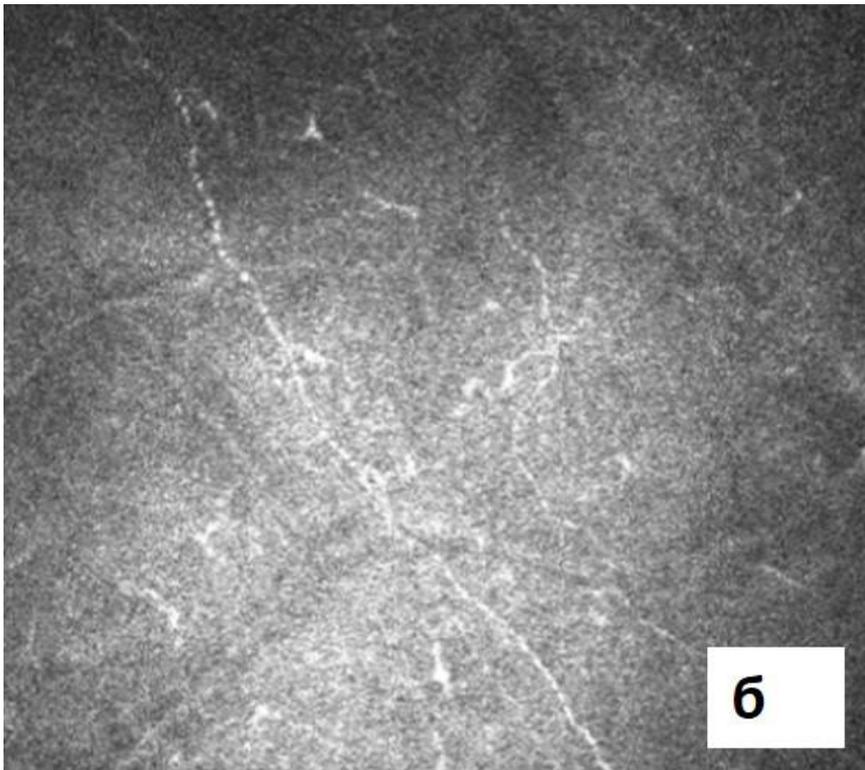
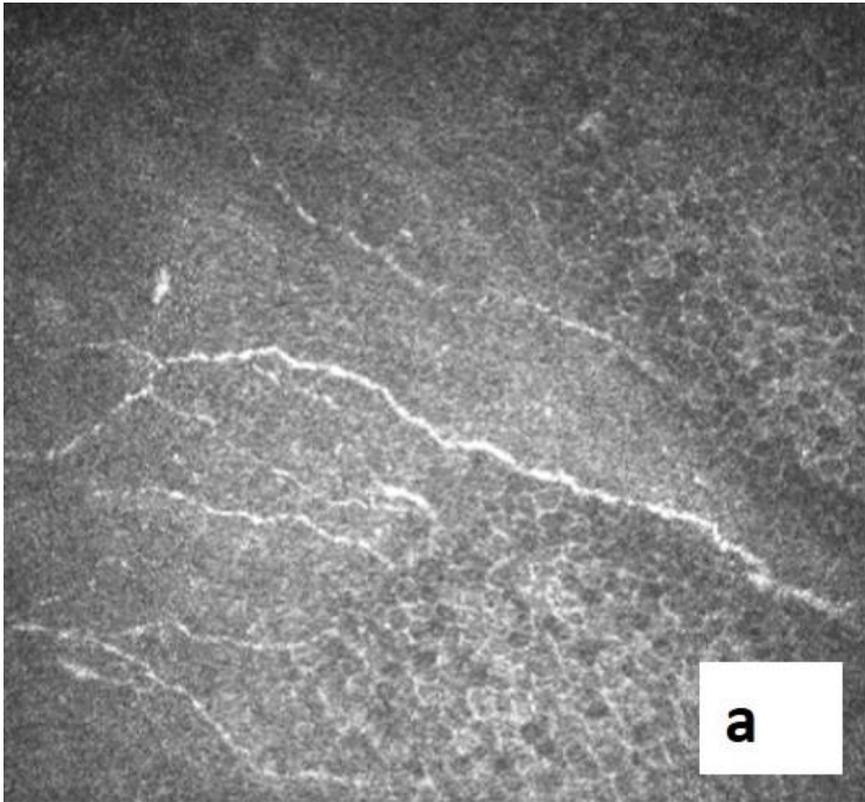


Рис. 13. Результаты исследования НВР пациента X. до (А. $K_{\Delta L}= 2,98$; $K_{sym}= 0,93$), через 7 дней (Б. $K_{\Delta L}=3,08$; $K_{sym}= 0,86$), 2 мес (В. $K_{\Delta L}=2,55$; $K_{sym}=0,90$) и 6 мес (Г. $K_{\Delta L}=2,98$; $K_{sym}= 0,91$) после гибридной ФЭ.



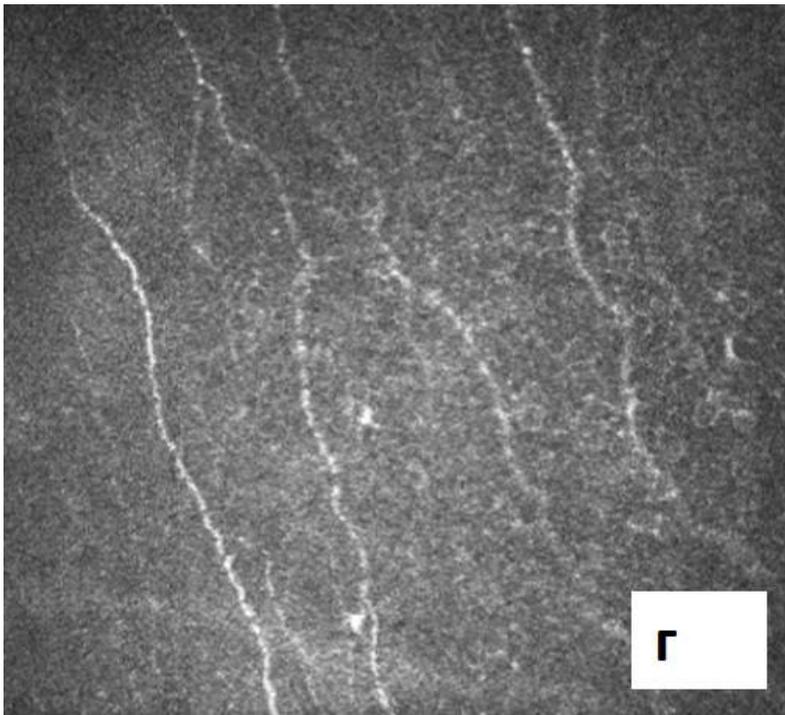
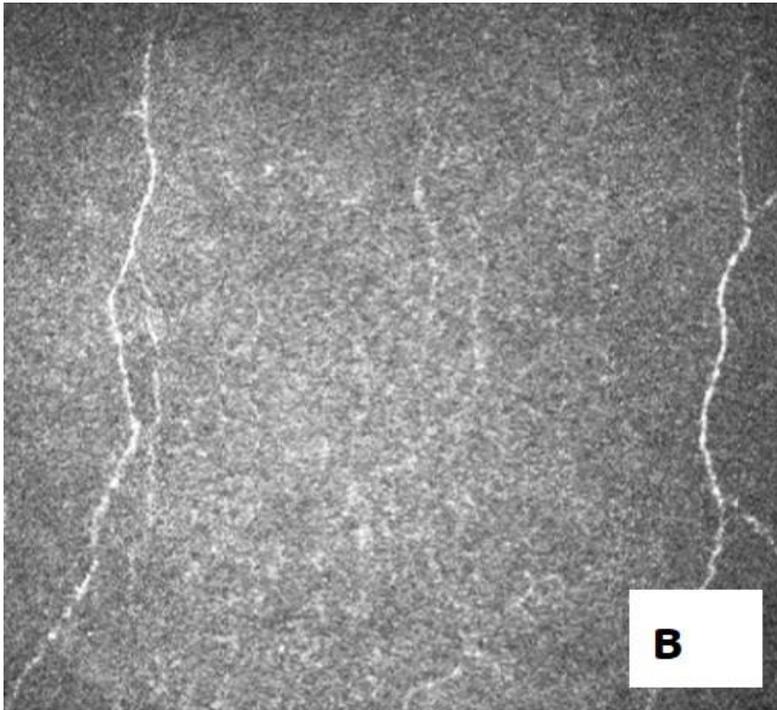


Рис. 14. Данные конфокальной микроскопии роговицы пациента В. до операции (А. $K_{\Delta L}= 2,68$; $K_{sym}= 0,9$), через 7 дней (Б. $K_{\Delta L}=2,18$; $K_{sym}= 0,96$), 2 мес (В. $K_{\Delta L}=2,13$; $K_{sym}=0,94$) и 6 мес (Г $K_{\Delta L}=2,47$; $K_{sym}=0,93$) после экстракапсулярной экстракции катаракты.

На основе метода конфокальной микроскопии роговицы с применением авторского алгоритма анализа конфокальных снимков были проанализированы количественные показатели структуры нервных волокон роговицы у пациентов после различных вариантов хирургического удаления катаракты. За основу анализа приняты изменения коэффициентов анизотропии и симметричности направленности НВР, характеризующие извитость нервного волокна, а также нарушение длины и плотности основных НВР.

Отмечена тенденция к уменьшению коэффициента анизотропии направленности и увеличению коэффициента симметричности направленности, что может косвенно говорить об увеличении извитости нервных волокон и выраженному нарушению их хода и структуры, также отмечено снижение длины и плотности НВР у пациентов всех групп, подвергшихся факохирургии.

Наиболее выраженные количественные изменения структуры НВР наблюдали у пациентов, перенесших экстракапсулярную экстракцию катаракты, что сопровождалось более длительным периодом восстановления.

Отдельного внимания заслуживает наличие послеоперационной воспалительной реакции, которая заключалась в увеличении количества макрофагов (клеток Лангерганса). Нами было отмечено, что активная воспалительная реакция была более выражена в первые 7-10 дней после оперативного вмешательства, в то время как к сроку наблюдения 6 месяцев воспаление не было активным во всех группах исследования (рис. 15 а, б).

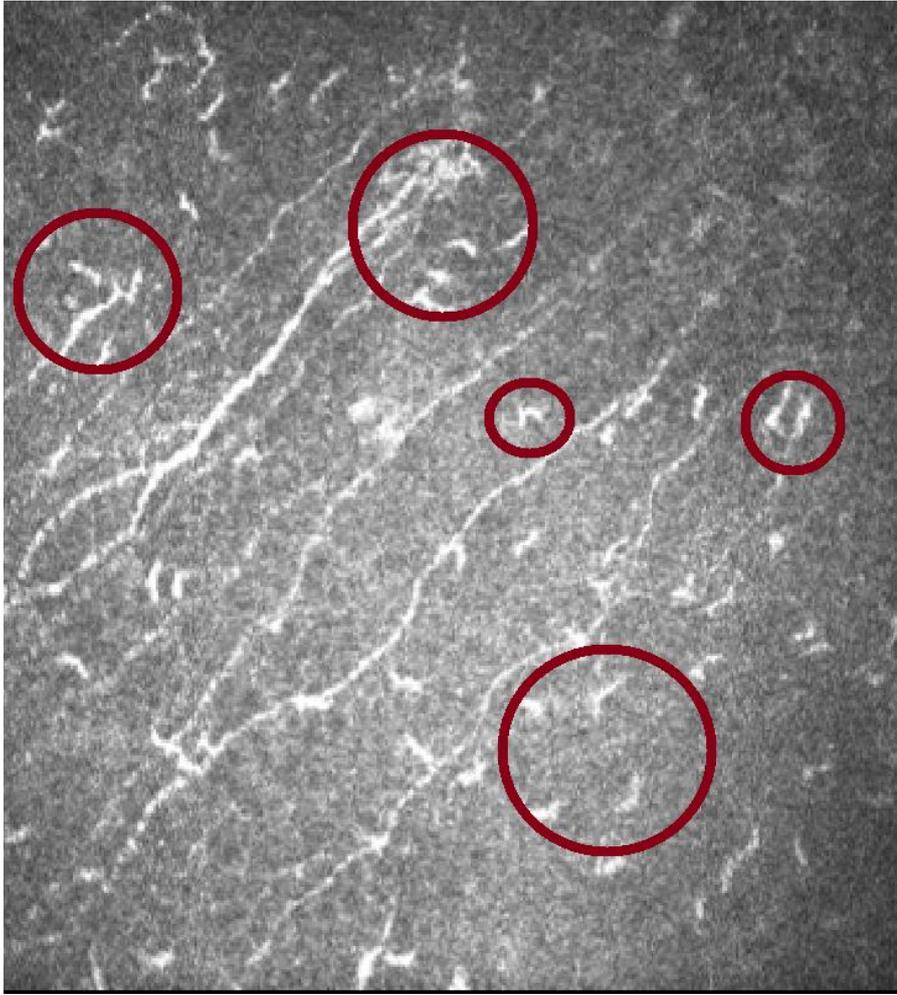


Рисунок 15а. Конфокальный снимок. Овалами обведены места скопления воспалительных макрофагов. Пациент группы III в срок наблюдения 7-10 дней.



Рисунок 15 б. Конфокальный снимок. Овалами обведены места скопления воспалительных макрофагов. Пациент группы III в срок наблюдения 6 месяцев.

Наше авторское ПО позволяет анализировать структуру клеток Лангерганса (длину и плотность их отростков), однако, учитывая, что послеоперационного восстановления роговицы удалось достичь практически у всех участников групп исследования, было принято решение об отказе от этой затеи. На рис. 15 б наглядно продемонстрировано восстановление структуры роговицы и выраженное снижение количества

клеток Лангерганса, а также уменьшение длины их отростков.

Нами были зафиксированы активные воспалительные реакции, которые практически отсутствовали во всех группах наблюдения к концу нашего исследования.

Всем пациентам после проведенного оперативного вмешательства дополнительно к имеющимся каплям для инстилляций была добавлена слезозаместительная терапия, при этом чем более выраженный активный компонент воспаления (то есть чем большее количество макрофагов найдено при лазерной конфокальной микроскопии), тем большее количество инстилляций назначали пациенту той или иной группы исследования. Соответственно после назначения слезозаменителей следили за количеством макрофагов и при последующих обследованиях и анализе конфокальных снимков принимали решение об отмене или снижении кратности инстилляций препаратов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ.

Впервые на основе метода конфокальной микроскопии роговицы с применением авторского алгоритма анализа конфокальных снимков были проанализированы структурные показатели НВР (коэффициенты анизотропии и симметричности направленности, а также длина и плотность основных ветвей) после различных, рассматриваемых на сегодняшний день в качестве методов выбора вариантов факохирургии (стандартная ультразвуковая факоэмульсификация, гибридная факохирургия, экстракапсулярная экстракция). Полученные результаты могут быть обобщены в виде следующих основных положений:

1. независимо от методики факохирургии отмечены увеличение извитости и нарушение хода НВР, проявляющиеся в уменьшении коэффициента анизотропии направленности, увеличении коэффициента симметричности направленности, снижении длины и плотности волокон;

2. наиболее выраженные изменения структуры НВР наблюдали после экстракапсулярной экстракции;

3. динамические изменения показателей состояния НВР в сроки до 6 мес после факохирургии свидетельствуют об общей тенденции восстановления структуры НВР после различных методик факохирургии.

4. при анализе конфокальных снимков у пациентов, подвергшихся различным вариантам факохирургии, следует анализировать не только показатели извитости (учет коэффициентов анизотропии и симметричности направленности нервных волокон роговицы), но и показатели длины и плотности нервных волокон.

В клинической практике потенциальные нарушения структуры нервных волокон роговицы после факохирургии следует учитывать в ситуациях, чреватых выраженными исходными изменениями НВР (состояние после кератопластики и эксимерлазерной кераторефракционной

хирургии, различные варианты системной полинейропатии, а также перенесенные инфекционные заболевания переднего отрезка глаза).

ВЫВОДЫ

1. Впервые на достаточном клиническом материале (35 пациентов (35 глаз) после стандартной ультразвуковой, 35 пациентов (35 глаз) после гибридной ФЭ, а также 18 пациентов (18 глаз) после экстракапсулярной экстракции катаракты) на основе разработанного метода анализа состояния НВР проведена динамическая оценка изменений структуры и хода НВР после факохирургических вмешательств.

2. Независимо от методики факохирургии отмечены увеличение извитости и нарушение хода НВР, проявляющиеся в уменьшении коэффициента анизотропии направленности, увеличении коэффициента симметричности направленности, снижении длины и плотности волокон;

3. Отмечено, что в ранние сроки наблюдения (7 - 10 дней) выявляется самое выраженное уменьшение коэффициента анизотропии во всех группах наблюдения. При этом наиболее выраженные изменения структуры НВР имеют место после экстракапсулярной экстракции;

4. Активность регенерации в сроки наблюдения 2 – 2,5 мес после вмешательства была более выражена в группе пациентов, подвергшихся гибридной факоэмульсификации (высокие значения коэффициента анизотропии) и, напротив, более длительное восстановление структуры НВР (низкие значения коэффициента анизотропии) в указанные сроки имело место после экстракапсулярной экстракции катаракты.

5. Динамические изменения показателей состояния НВР в сроки до 8-10 мес после факохирургии свидетельствуют об общей тенденции восстановления структуры НВР после различных методик факохирургии.

6. Полученные данные свидетельствуют о возможности применения разработанного алгоритма с анализом структуры нервного волокна в качестве метода уточняющего вариант факохирургии в так называемых осложнённых ситуациях, связанных с дооперационными изменениями роговицы.

Практические рекомендации:

1) Апробированный метод оценки состояния НВР может быть включен в комплексное офтальмологическое обследование пациентов с катарактой и предстоящей операцией по замене хрусталика.

2) Предлагаемые количественные показатели (коэффициенты $K_{\Delta L}$ и K_{sym}), а также показатели длины и плотности НВР могут быть использованы для оценки динамики послеоперационного восстановления после факохирургии.

3) Согласно разработанному алгоритму, могут быть отобраны пациенты группы риска с изначально низким коэффициентом анизотропии и значительно уменьшенной длиной и плотностью основных НВР, что в дальнейшем будет способствовать адекватному подбору тактики хирургического лечения.

Список используемой литературы:

1. Абсалямов М.Ш., Бурханов Ю.К. Функциональные результаты фемтолазер-ассистированной ультразвуковой факоемульсификации катаракты // X Съезд офтальмологов России: Тезисы докладов. – М., 2015. – С. 230
2. Аветисов С.Э., Егорова Г.Б., Федров А.А. и др. Конфокальная микроскопия роговицы. Сообщение 1. Особенности нормальной морфологической картины // Вестник офтальмологии. – 2008. - №3. –С. 3-5.
3. Аветисов С.Э., Сурнина З.В., Ахмеджанова Л.Т., Георгиев С. Первые результаты клинико-диагностического анализа постковидной периферической невропатии. // Вестник офтальмологии. – 2021. –Т. 137.- № 4. –С. 58 - 64
4. Аветисов С.Э., Сурнина З.В., Зиновьева О.Е., Сафиулина Э.И., Щеглова Н.С., Носовский А.М. Состояние нервных волокон роговицы при системном амилоидозе. // Вестник офтальмологии. – 2021. –Т. 5.-№ 2. –С. 231-237
5. Аветисов С.Э., Сурнина З.В., Карабанов А.В., Гамидов А.А. Изменение нервных волокон роговицы на ранних стадиях болезни Паркинсона по данным лазерной конфокальной микроскопии (предварительное сообщение). // Вестник офтальмологии. – 2020. –Т. 136.-№ 2. –С. 81-85
6. Аветисов С.Э., Сурнина З.В., Новиков И.А., Махотин С.С. Вычисление коэффициентов анизотропии и симметричности направленности нервов роговицы на основе автоматизированного распознавания цифровых конфокальных изображений // Медицинская техника. – 2015. - № 3. – С. 23-25
7. Аветисов С.Э., Сурнина З.В., Новиков И.А., Махотин С.С. Новый принцип морфометрического исследования нервных волокон на основе

- конфокальной биомикроскопии при сахарном диабете // Вестник офтальмологии. – 2015. –Т. 131.-№ 4. –С. 5-11
8. Аветисов С.Э., Сурнина З.В., Новиков И.А., Черненкова Н.А., Тюрина А.А. Влияние слезной пленки на результаты прямой оценки чувствительности роговицы. // Вестник офтальмологии. – 2020. –Т. 136.-№ 2. –С. 81-85
 9. Анисимов С.Ю., Авсинеева К.С., Новак И.В. и др. Клинический анализ осложнений факоемульсификации с фемтолазерным сопровождением и особенности проведения факоемульсификации после фемтоэтапа // Офтальмохирургия. – 2014.-№ 4. –С. 14-20
 10. Анисимов С.Ю., Анисимов С.И., Арутюнян Л.Л., Новак И.В. Отдаленные результаты комбинированной факоемульсификации с фемтолазерным сопровождением и непроникающей глубокой склерэктомии // Отражение. – 2018. –С. 21-24
 11. Анисимов С.Ю., Анисимов С.И., Трубилин В.Н. Факоемульсификация катаракты с фемтолазерным сопровождением (первый отечественный опыт) // Современные технологии катарактальной и рефракционной хирургии -2012: Сб. науч. Статей. –М., 2012. –С. 19-22
 12. Анисимов Н.С., Малюгин Б.Э., Соболев Н.П. Фемтолазерное сопровождение в хирургии набухающей катаракты // Современные технологии в офтальмологии. – 2016. –С. 11-14
 13. Анисимов С.Ю., Трубилин В.Н., Трубилин А.В., Анисимов С.И. Сравнение механического и фемтосекундного капсулорексиса при факоемульсификации катаракты // Катарактальная и рефракционная хирургия. – 2012. –Т. 12. -№4. –С. 16-18
 14. Бикбов М.М., Бикбулатова А.А., Бурханов Ю.К. и др. Результаты фемтолазерной хирургии катаракты с использованием платформы VICTUS // Современные технологии катарактальной и рефракционной хирургии – 2013: Сб. науч. Статей. –М., 2013. –С. 40-43

15. Бикбов М.М., Бурханов Ю.К., Оренбуркина О.И. и др. Применение фемтолазер-ассистированной ультразвуковой факоэмульсификации при плотных катарактах // Современные технологии в офтальмологии. – 2017. -№7. – С. 15-18
16. Бикбов М.М., Бурханов Ю.К., Усубов Э.Л. Фемтолазер-ассистированная хирургия катаракты // Медицинский вестник Башкортостана. – 2014. -№6. –С. 116-119
17. Бранчевский С.Л., Малов И.В., Бранчевская Е.С. Сравнительный анализ рефракционных результатов стандартной факоэмульсификации и фемтолазер-ассистированной факоэмульсификации с имплантацией дифракционных мультифокальных ИОЛ // Практическая медицина. – 2017. - №9. –С. 22-24
18. Бранчевский С.Л., Малов И.В., Бранчевская Е.С. Сравнительный анализ клинических результатов стандартной факоэмульсификации и фемтолазер-ассистированной факоэмульсификации с имплантацией дифракционных мультифокальных ИОЛ // Современные технологии в офтальмологии. – 2017. - №6. – С. 29-31
19. Введенский А.С. Система комбинированного патогенетически ориентированного хирургического лечения катаракты и открытоугольной глаукомы: Автореферат дисс... док. Мед. Наук. –М., 2011
20. Дога А.В., Качалина Г.Ф., Кишкин Ю.И. и др. Фемтосекундный лазерные возможности в рефракционной хирургии // Федоровские чтения – 2009: Сб. статей. –М., 2009. –С. 162-163
21. Егорова Э.В., Зубарева Л.Н., Коростелева Н.Ф., Толчинская А.И. Прогнозирование состояния эндотелия роговой оболочки после факоэмульсификации и одномоментной имплантации ИКЛ Федорова-Захарова // Офтальмологический журнал. – 1984. -№8. –С. 504-506.

22. Егорва Г.Б., Митичкина Т.С., Рогова А.Я. Диагностические возможности конфокальной микроскопии первичных эктазий роговицы // Вестник офтальмологии. – 2015. –Т. 128.-№6. –С. 25-29
23. Егорова Э.В., Толчинская А.И., Кузнецов Ю.В. Анализ операционных осложнений при различных типах доступов при факоэмульсификации катаракт // Современные технологии хирургии катаракты – 2002: Сб. науч. статей. –М., 2002. –С. 97-101.
24. Ефимов О.А. Сравнительная оценка состояния заднего эпителия роговицы при различных энергетических методах экстракции катаракт // VIII Съезд офтальмологов России: Тез. Докл –М., 2005. –С. 581.
25. Завгородняя Н.Г., Исакова О.А. Методика стабилизации капсульного мешка при проведении факоэмульсификации катаракты, осложненной подвывихом хрусталика // Современные технологии катарактальной и рефракционной хирургии -2009: Сб. науч. статей. –М., 2009. –С. 94-98.
26. Загорулько А.М. Особенности лазерной экстракции катаракты на новом отечественном аппарате «Ракот 6» // Новые технологии микрохирургии глаза: Сб. науч. работ. –Оренбург., -2003. –С. 79-80.
27. Загорулько А.М., Немсвицверидзе М.Н. Клинико-экономические аспекты лазерной экстракции катаракты // VIII Съезд офтальмологов России: Тез. докл. –М., 2005. –С. 582.
28. Иомдина Е.Н., Бауэр С.М., Котляр К.Е. Биомеханика глаза: теоретические аспекты и клинические приложения // М. – 2015. – 207с.
29. Ключникова Е.В., Бойко Э.В., Алексеева Н.Ф. Сравнительная оценка эффективности импульсного и микроимпульсного ультразвука при коаксиальной факоэмульсификации катаракт различной плотности // Офтальмохирургия. – 2007.- №1. –С. 33-37
30. Костенев С.В., Черных В.В. Фемтосекундная лазерная хирургия. Принципы и применение в офтальмологии. – Новосибирск, 2012. – 141с.

- 31.Краснов М.М., Акопян В.С. Использование лазерной капсулофакопунктуры при лечении «мягких» катаракт // Вестник офтальмологии. – 1976. –Т. 92. - №1. – С. 22-25
- 32.Копаева В.Г. Лазерная энергия в хирургии катаракты // Современные технологии катарактальной и рефракционной хирургии – 2012: Сб. науч.статей. –М., 2012. –С. 11-16.
- 33.Копаева В.Г., Андреев Ю.В. Оптимизация техники малых разрезов при лазерной экстракции катаракты по отношению к задней капсуле хрусталика // III Российского симпозиум по рефракционной хирургии: Тез. докл. –М., 2001.-С. 74-76.
- 34.Копаева В.Г., Андреев Ю.В., Беликов А.В. и др. Лазерная экстракция бурых катаракт с Nd:YAG 1,44 мкм лазером // Вестник офтальмологии – 2002. - № 1. –С. 22-55.
- 35.Копаева В.Г., Андреев Ю.В., Дорохова М.Ю. Новый подход к защите задней капсулы хрусталика во время факоэмульсификации // Современные технологии хирургии катаракты – 2004: Сб. науч. статей. – М., 2004.-С. 179-182.
- 36.Копаева В.Г., Андреев Ю.В., Кравчук О.В. Оценка плотности заднего эпителия роговицы после лазерной экстракции катаракты // VIII Съезд офтальмологов России: Тез. докл. –М., 2005. –С. 593.
- 37.Коростелева Н.Ф., Марченкова Т.Е. Ультразвуковая факоэмульсификация и её влияние на эндотелий роговой оболочки // Офтальмохирургия. – 1991. – №2. –С. 22-26-
- 38.Косенко Т.Г., Косенко С.М. Изменение роговичного астигматизм при стандартной факоэмульсификации // Современные технологии катарактальной и рефракционной хирургии – 2010: Сб. науч. статей. –М., 2010. –С. 104-107.
- 39.Костенев С.В., Черных В.В. Фемтосекундная лазерная хирургия. Принципы и применение в офтальмологии. –Новосибирск, 2012. -141с.

- 40.Краснов М.М. Экстракапсулярная экстракция катаракты и её перспективы // Вестник офтальмологии. -1977. -№1. –С. 3-8.
- 41.Краснов М.М., Бочаров В.Е., Двали М.Л. Факоэмульсификация катаракты с имплантацией искусственного хрусталика // Вестник офтальмологии. – 1975. -№5. –С. 41-47.
- 42.Лаптев Б.В., Шиловских О.В., Фечин О.Б., Ульянов А.Н. Возможность проведения факоэмульсификации с низким ирригационным потоком // Катарактальная и рефракционная хирургия. – 2012. -№3. –С. 16-18.
- 43.Лившиц С.А. Разработка оптимальных параметров ультразвукового воздействия при проведении операции факоэмульсификации катаракты с имплантацией ИОЛ: Дис... канд. мед. наук. –М., 1998.
- 44.Лоскутов И.А., Калугина О.Н. Динамика изменения толщины роговицы после факоэмульсификации катаракты с использованием препарата корнерегель // Российский офтальмологический журнал. -2012. -№4. –С. 53-36.
- 45.Малюгин Б.Э. Хирургия катаракты и интраокулярная коррекция на современном этапе развития офтальмохирургии // Вестник офтальмологии. – 2014. –Т. 130. - №6. – С. 80-88
- 46.Малов В.М., Ерошевская Е.Б., Малов И.В. Панфилов С.Н. Каркасные конструкции в хирургии катаракты при подвывихе хрусталика // Современные технологии хирургии катаракты – 2003: Сб. науч. статей. – М., 2003. –С. 203-205.
- 47.Малюгин Б.Э. Медико-технологическая система хирургической реабилитации пациентов с катарактой на основе ультразвуковой факоэмульсификации с имплантацией интраокулярной линзы: Дисс... докт. мед. наук. –М., 2002.
- 48.Малюгин Б.Э. Хирургия катаракты и интраокулярная коррекция на современном этапе развития офтальмохирургии // Вестник офтальмологии. -2014. -№6. –С. 80-88.

49. Малюгин Б.Э., Эль-Маатауй Л.М. Результаты факоемульсификации с одномоментной кератотомией // VII Съезд офтальмологов России: Тез. докл. –М., 2000. –Т. 1. –С. 59-60.
50. Малюгин Б.Э., Головин А.В. Особенности техники факоемульсификации у пациентов с обширными дефектами связочного аппарата хрусталика // Современные технологии катарактальной и рефракционной хирургии – 2009: Сб. науч. статей. –М., 2009. –С. 160-165.
51. Малюгин Б.Э., Головин А.В., Узунян Д.Г., Исаев М.А. Особенности техники и результаты микроинвазивной факоемульсификации с использованием оригинальной модели внутрикапсульного кольца у пациентов с обширными дефектами связочного аппарата хрусталика // Офтальмохирургия. -2011. -№3. –С. 22-27.
52. Мачехин В.А., Кузьмин С.И. Техника креста с последующим формированием кратера в лазерной экстракции катаракты // Современные технологии хирургии катаракты – 2003: Сб. науч. статей. – М., -С. 225-227.
53. Мачехин В.А., Бессонов И.Л. Сравнительная оценка результатов факоемульсификации с применением торсионного и традиционного ультразвука // Современные технологии катарактальной и рефракционной хирургии: Сб. научных статей- М., 2007. –С. 191-195.
54. Нарбут Н.П. Воздействие фокусированного и низкочастотного ультразвука (факоемульсификации) на ткани глаза при облучении хрусталика (экспериментальные исследования): Дисс.... Канд. мед. наук. –М., 1975.
55. Нестерова Е.Е. Оценка плотности эндотелия роговицы при торсионном ультразвуковом «Ozil» и гидромониторном «AquaLase» методах факоемульсификации катаракты // Актуальные проблемы в офтальмологии: 2-я Всероссийская конференция молодых ученых: Сб. научных работ. –М., 2007. –С. 102-104.

56. Николашин С.И. Технология факоэмульсификации твердых катаракт // IX Съезд офтальмологов России: Тез. докл. –М., 2010. –С.216.
57. Окаша К.Д. Лазерная экстракция катаракты при приобретенном подвывихе хрусталика: Автореф. Дисс...канд. мед. наук. –М., 2004.
58. Олин В.В., Чуприн В.В., Семикова М.В. Способ расширения зрачка при факоэмульсификации катаракты // VII Съезд офтальмологов России: Тез. докл –М., 2000. –Т.1. –С. 64-65.
59. Пашинова Н.Ф., Першин К.Б. Особенности и возможности современной факоэмульсификации // Современные технологии хирургии катаракты – 2004: Сб. науч. статей. –М., 2004. –с. 248-252.
60. Паштаев Н.П. Классификация дислокаций хрусталика, современная тактика лечения // Актуальные проблемы хирургии хрусталика стекловидного тела и сетчатки. –М., 1986. –С. 34-37.
61. Першин К.Б., Пашкин И.А. Ускоренный метод фрагментации ядра III и IV степеней плотности при факоэмульсификации // Современные технологии хирургии катаракты – 2004: Сб. науч.статей. –М., 2004. – С.262-265.
62. Пучковская Н.А., Красновид Т.А. Основные показания к операции ультразвуковой факоэмульсификации // Офтальмологический журнал. - 1978. -№4. –С. 247-250.
63. Резникова Е.В. Факоэмульсификация катаракты при близорукости высокой степени: Дисс....канд. мед. наук. –М., 2004.
64. Романенко С.Я. Опыт применения лазерной экстракции катаракты в Калужском филиале ГУ МНТК «Микрохирургия глаза им. Акад. С.Н. Федорова // VIII Съезд офтальмологов России: Тез. докл. –М., 2005. –С. 614.
65. Сахнов С.Н., Кузнецов Ю.В., Бойко А.А. Круговая непрерывная капсулотомия методом радиочастотной диатермии при факоэмульсификации // Новые технологии микрохирургии глаза. – Оренбург., 1998. –С. 40.

- 66.Сметанкин И.Г. Первые результаты факоэмульсификации катаракты, выполненных бимануальных методик. // Вестник офтальмологии -2009.- №2. –С.36-39.
- 67.Сметанкин И.Г., Агарков Д.И. Сравнительная оценка некоторых морфологических изменений роговицы после факоэмульсификации катаракты методами конфокальной микроскопии и оптической когерентной томографии // Вестник офтальмологии - 2012. – №6. –С.30-32.
- 68.Сурнина З.В. Методы и клиническое значение оценки состояния нервных волокон роговицы: Дисс...докт. мед. наук. –М., 2024.
- 69.Тахтаева Ю.В., Бойко К.В. Результаты тепловизометрического исследования роговицы при микрокоаксиальной факоэмульсификации // Катарактальная и рефракционная хирургии. – 2012. -№1. –С. 31-34.
- 70.Тахчиди Х.П., Зубарева А.Б. Диагностика и хирургическая тактика при нарушении целостности связочного аппарата хрусталика // Офтальмохирургия. – 2001. - №2. –С. – 27-36.
- 71.Тахчиди Х.П., Фечин О.Б., Шиловских О.В., Ульянов А.Н. Механическая факофрагментация через малые тоннельные разрезы // Современные технологии хирургии катаракты -2001: Сб. науч. статей. –М., 2001. –С. 199-202.
- 72.Темиров Н.Э., Вакарев П.Б. Сравнительная оценка влияния гидромониторной и ультразвуковой факоэмульсификации на послеоперационное состояние роговицы // IX Съезд офтальмологов России: Тез. докл. –М., 2010. –С. 223.
- 73.Трубилин В.Н., Зимина Т.Ю. Использование факоэмульсификатора Infiniti Vision System при удалении катаракт различной плотности // Современные технологии хирургии катаракты – 2005: Сб. науч. статей. – М., 2005. –С. 304-309.

- 74.Фабрикантов О.Л., Кузьмин С.И., Козлов В.А. Конфигурация роговичных разрезов при факоэмульсификации катаракты // Современные технологии катарактальной и рефракционной хирургии -2011: Сб. науч. статей. –М., 2011. –С. 240-242.
- 75.Федоров С.Н. Основные тенденции современной хирургии катаракты // VII Съезд офтальмологов России: Тез. докл. –М., 2000. –Т.1. –С. 11-14.
- 76.Федоров С.Н., Егорова Э.В., Багров С.Н., Коростелева Н.Ф. Изменения заднего эпителия роговой оболочки после факоэмульсификации // Офтальмологический журнал. – 1981. - №7. –С. 428-430.
- 77.Хисматуллин Р.Р., Оренбуркина О.И., Хуснитдинов И.И., Чайка О.В. Результаты факоэмульсификации осложненной с дефектами связочного аппарата // Современные технологии катарактальной и рефракционной хирургии – 2012: Сб. науч. статей. –М., 2012. –С. 161-163.
- 78.Черняков Л., Першин К. «Crack and Cram» - техника, упрощающая факоэмульсификацию и снижающая риск потенциальных осложнений // Современные технологии хирургии катаракты: Сб. науч. статей. –М., 2000. –С. 183-192.
- 79.Чупов А.Д., Замыров А.А., Кудрявцева Ю.В. Результаты микрокоаксиальной факоэмульсификации с использованием хирургической системы Millenium (Bausch&Lomb) и стандартной ирригационно-аспирационной системы // Современные технологии катарактальной и рефракционной хиургии- 2010:Сб. науч. статей. –М., 2010. –С. 228-230.
- 80.Чупров А.Д., Кудрявцева Ю.В., Замыров А.А. Опыт применения отечественной интраокулярной линзы «МИОЛ-26» для микрокоаксиальной факоэмульсификации // Современные технологии катарактальной и рефракционной хирургии – 2010: Сб. науч. статей. –М., 2010. –С. 231-234.
- 81.Шухаев С.В., Томилова Е.В. Сравнительная эффективность комбинаций торсионного и продольного ультразвука при удалении катаракт высокой

- плотности // Современные технологии катарактальной и рефракционной хирургии – 2013: Сб. науч. статей. –М., 2013. –С. 196-198.
- 82.Юсеф Ю.Н. Факоэмульсификация при дефектах связочного аппарата хрусталика // Первый Российский симпозиум по рефракционной хирургии: Тез. докл. –М., 1999. –С. 22.
- 83.Юсеф Ю.Н. О новых возможностях усовершенствования современной факоэмульсификации при различных видах катаракт: Дисс...докт. мед. наук. –М., 2000.
- 84.Abell R., Allen P., Vote B. Anterior chamber flare after femtosecond laser-assisted cataract surgery // J. Cataract Refract. Surg. – 2013. – Vol. 39. – P. 1321-1326.
85. Abell R., Davies P., Phelan D. et al. Anterior capsulotomy integrity after femtosecond laser-assisted cataract surgery // Ophthalmology. – 2014. – Vol. 121. – P. 17 - 24.
86. Abell R., Darian-Smith E., Kan J. et al. Femtosecond laser-assisted cataract surgery versus standart phacoemulsification cataract surgery: Outcomes and safety in more than 4000 cases at a single center // J. Cataract Refract. Surg. – 2015. – Vol. 41. – P. 47 – 52.
87. Agarwal A., Agarwal S., Agarwal A. Phakont: phacoemulsification through a 0,9 mm incision // J. Cataract Refract. Surg. – 2001. – Vol. 27. – P. 1548 – 1552.
88. Agarwal A., Agarwal S., Agarwal A. Phakont with an acrytec IOL // J. Cataract Refract. Surg. -2003. –Vol. 29. –P.854-855.
- 89.Agarwal A., Jacob S. Current and effective advantages of femto phacoemulsification // Curr. Opin. Ophthalmol. – 2017. – Vol. 28. - P. 49 – 57.
- 90.Araujo-Gomes F. Ultra small incisions phacoemulsification with white star – one more step to lens refractive surgery // XX Congress of the ESCRS. – Nice., 2002. – P. 104.
- 91.Arshinoff S. Dispersive and cohesive viscoelastics material in phacoemulsification // Ophthalmic Prac. – 1995. – Vol. 13. – P. 98 – 104.

92. Avni I, McDonald M., Kaufman H. Modification of suction cannulas to prevent capsular or zonular tears during cataract extraction // *Ophthalmic Surg.* – 1986. - Vol.17. – P.308.
93. Badoza D., Fernandez Mendy J., Ganly M. Phacoemulsification using the burst mode // *J. Cataract Refract. Surg.* – 2003. – Vol. 29. – P. 1101 – 1105.
94. Basti S., Garg P., Reddy M. Posterior capsule dehiscence during phacoemulsification and manual extracapsular cataract extraction: comparison of outcomes // *J. Cataract Refract Surg.* – 2003. – Vol. 29. – P. 532 – 536.
95. Beesley R., Olson R., Brady S. The effect of prolonged phacoemulsification time on the corneal endothelium // *Ann. Ophthalmol.* – 1986. – Vol. 18. – P. 216 – 219.
96. Berger J., Talamo J., LaMarche K. et al. Temperature measurement during phacoemulsification and erbium:YAG laser phacoablation in model system // *J. Cataract. Refract. Surg.* – 1996. – Vol. 22. – P. 372 – 378.
97. Bissen-Miyajima H., Shimmura S., Tsubota K. Thermal effect on corneal incisions with different phacoemulsification ultrasonic tips // *J. Cataract Refract Surg.* – 1999. – Vol. 25. – P. 60 – 64.
98. Buratto L. Хирургия катаракты. Переход от экстракапсулярной экстракции катаракты к факоэмульсификации. – Fabiano Editore. – Milan, 1999.
99. Cameron M., Poyer J., Aust S. Identification of free radicals produced during phacoemulsification // *J. Cataract Refract. Surg.* – 2001. – Vol. 27. – P. 463 – 470.
100. Can I., Takmaz T., Cakici F., Ozgul M. Comparison of Nagahara phaco chop and stop-and-chop phacoemulsification nucleotomy // *J. Cataract Refract. Surg.* – 2004. – Vol. 30. – P. 663 – 668.
101. Cavallini G., Campi L., Torlai G. et al. Clear corneal incisions in bimanual microincision cataract surgery: Long-term wound-healing architecture // *J. Cataract Refract. Surg.* – 2012. – Vol. 38. – P. 1743 – 1748.

102. Chan T., Pattamatta U., Butlin M. et al. Intereye comparison of femtosecond laser-assisted cataract surgery capsulotomy and manual capsulorhexis edge strength J. Cataract Refract. Surg. – 2017. – Vol. 43. – P. 480 – 485.
103. Chansel J., Polack F. Phacoemulsification, utilisant l'appareil de Girard // Arch. Ophthalmol. (Paris) . – 1976. – Vol. 36. – P. 595 – 604.
104. Chen M., Swinney C., Chen M. Comparing the intraoperative complication rate of femtosecond laser-assisted cataract surgery to traditional phacoemulsification // Int. J. Ophthalmol. – 2015. – Vol. 18. – P. 201 – 203.
105. Chen X., Yu Y., Song X. Et al. Clinical outcomes of femtosecond laserassisted cataract surgery versus conventional phacoemulsification surgery for hard nuclear cataracts // J. Cataract Refract. Surg. – 2017. – Vol. 43. – P. 486 – 491.
106. Cleasby G. Bimanual phacoemulsification // Ophthalmic Surg. – 1980. – Vol. 10. – P. 348 – 349.
107. Conrad-Hengerer I., Hengerer F., Joachim S. et al. Femtosecond laserassisted cataract surgery in intumescent white cataracts // J. Cataract Refract. Surg. – 2014. – Vol. 40. – P. 44 - 50.
108. Davis E., Lindstrom R. Corneal thickness and visual acuity after phacoemulsification with 3 viscoelastic materials // J. Cataract Refract. Surg. – 2000. – Vol. 26. – P. 1505 – 1509.
109. Davison J. Cumulative tip travel and implied followability of longitudinal and torsional phacoemulsification // J.Cataract Refract. Surg. – 2008. – Vol.34. – P. 986 – 990.
110. Demco T., Sutton H., Demco C. et al. Topical diclofenac sodium compared with prednisolone acetate after phacoemulsification – lens implant surgery // Eur. J. Ophthalmol. – 1997. – Vol. 7. – P. 236 – 240.
111. Dick H., Schelenz D., Schultz T. Femtosecond laser-assisted pediatric cataract surgery: Bochum formula // J. Cataract Refract. Surg. – 2015. – Vol. 41. – P. 821 - 826.

112. Elkady B., Pinero D., Alio J. Corneal incision quality: Microincision cataract surgery versus microaxial phacoemulsification // J.Cataract Refract. Surg. – 2009. – Vol. 35. - P. 446 – 474.
113. Emery J., Little J. Phacoemulsification and aspiration of cataracts. Surgical technique, complications and results. – St. Louis, 1979.
114. Emery J. McIntyre D. Extracapsular cataract surgery. – St. Louis.- 1983.
115. Faramarzi A., Javadi M., Karimian F. et al. Corneal endothelial cell loss during phacoemulsification: Bevel-up versus bevel-down phaco tip // J. Cataract Refract. Surg. – 2011. – Vol. 37. – P. 1971 – 1976.
116. Feldman B. Femtosecond laser will not be a standart method for cataract extraction ten years from now // Surv. Ophthalmol. – 2015. – Vol. 60. – P. 360 – 365.
117. Fine H. The chip and flip phacoemulsification techniques // J. Cataract Refract Surg. – 1991. – Vol. 17. – P. 366 – 371.
118. Fine H. Pupilloplasty for small pupil phacoemulsification // J. Cataract Refract. Surg. – 1994. – Vol. 20. – P. 192 – 196.
119. Fine H. Phacoemulsification in the presence of pseudoexfoliation: Challenges and options // J. Cataract Refract. Surg. – 1997. – Vol. 23. – P. 161 – 165.
120. Fine H. Phacoemulsification through two 1 mm incisions // XX Congress of the ESCRS. – Nice, 2002. – P. 134.
121. Fine H., Packer M., Hoffman R. New phacoemulsification technologies // J. Cataract Refract. Surg. – 2002. – Vol. 28. – P. 1054 - 1060.
122. Fine H., Hoffman R., Packer M. Profile of clear corneal cataract incisions demonstrated by optical coherence tomography // J. Cataract Refract. Surg. – 2007. – Vol. 33. – P. 94 – 97.
123. Gimbel H. Two-stage capsulorhexis for endocapsular phacoemulsification // J. Cataract Refract Surg. – 1990. – Vol. 16. – P. 246 – 249.

124. Gimbel H. Divide and conquer nucleofractis phacoemulsification: development and variations // *J. Cataract Refract. Surg.* – 1991. – Vol. 17. – P. 281 – 291.
125. Gimbel H., Sun R., Ferensowicz M. et al. Intraoperative management of posterior capsule tears in phacoemulsification and intraocular lens implantation // *Ophthalmology.* – 2001. – Vol. 108. – P. 2186 – 2189.
126. Graether J. A comparison of the effects of phacoemulsification and nucleus expression on endothelial cell density // *Am. Intra-Ocular Implant. Soc. J.* – 1983. – Vol. 9. – P. 420 – 423.
127. Hayashi K., Yoshida M., Manabe S., Hirata A. Cataract surgery in eyes with low corneal endothelial density // *J. Cataract Refract. Surg.* – 2011. – Vol. 37. – P. 1419 – 1425.
128. He L., Sheehy K., Culbertson W. Femtosecond laser-assisted cataract surgery // *Curr. Opin. Ophthalmol.* – 2011. – Vol. 22. – P. 43 – 52.
129. Hengerer F., Dick H., Buchwald S. et al. Evaluation of corneal endothelial cell loss and corneal thickness after cataract removal with highlight-adjustable intraocular lens implantation: 12-month follow-up // *J. Cataract Refract. Surg.* – 2011. – Vol. 37. – P. 2095 – 2100.
130. Hoffman R., Fine H, Packerr M., Brown L. Comparison of sonic and ultrasonic phacoemulsification using the Staar Sonic Wave system // *J. Cataract Refract. Surg.* – 2002. – Vol. 28. – P. 1581 - 1584.
131. Holmberg A., Philipson B. Sodium hyaluronate in cataract surgery. II Report on the use of Healon in extracapsular surgery using phacoemulsification // *Ophthalmology.* – 1984. – Vol. 91. – P. 53 – 59.
132. Izak A., Werner L., Pandey S., Apple D. Analysis of the capsule edge after Fugo plasma blade capsulotomy, continuous capsulorhexis, and canopener capsulotomy // *J. Cataract Refract. Surg.* – 2004. – Vol. 30. – P. 2606 – 2611.
133. Jacob S., Agarwall A., Agarwall A. et al. Efficacy of a capsular tension ring for phacoemulsification in eyes with zonular dialysis // *J. Cataract Refract Surg.* – 2003. – Vol. 29. – P. 315 – 321.

134. Jaffe N., Jaffe M., Jaffe G. Cataract Surgery and its complications. – St. Louis, 1997.
135. Jardine G., Wong G., Elsnab J. et al. Endocapsular carousel technique phacoemulsification // J. Cataract Refract. Surg. – 2011. – Vol. 37. – P. 433 – 437.
136. Jiraskova N., Rozsival P. Phacoemulsification parameters: series 20000 Legacy versus Legacy with AdvanTec software and NeoSoniX handpiece // J. Cataract Refract Surg. – 2004. – Vol. 30. – P. 144 – 148.
137. Jiraskova N., Kadlecova J., Rozival P. et al. Comparison of the effect of AquaLase and NeosoniX phacoemulsification on the corneal endothelium // J. Cataract Refract. Surg. - 2008. – Vol. 34. – P. 377 - 382.
138. Jun B., Berdahi J., Kim T. Thermal study of longitudinal and torsional ultrasound phacoemulsification: tracking the temperature of the corneal surface, incision, and handpiece // J. Cataract Refract. Surg. 2010. – Vol. 36. – P. 832 – 837.
139. Kanellopoulos A. Laser cataract surgery // Ophthalmology. – 2001. – Vol. 108. – P. 649 – 654.
140. Kansas P., Sas R. Small incision cataract extraction and implantation surgery using a manual phacofragmentation technique // J. Cataract Refract. Surg. – 1988. – Vol. 14. – P. 334 – 336.
141. Kelman C. Phaco-emulsification and aspiration // Am. J. Ophthalmol.- 1967. – Vol.64. – P. 23 – 25.
142. Kelman C. Phacoemulsification and aspiration // Am. J. Ophthalmol.- 1969. – Vol. 67. – P. 464 – 477.
143. Kershner R. Management of the small pupil for clear corneal cataract surgery // J. Cataract Refract. Surg. – 2002. – Vol. 28. – P. 1826 – 1831.
144. Kim E., Byun Y., Kim M. Microincision versus small-incision coaxial cataract surgery using different power models for hard nuclear cataract // J. Cataract Refract. Surg. – 2011. – Vol. 37. – P. 1799 – 1805.

145. Kiss B., Findl O., Menapace R. et al. Corneal endothelial cell protection with a dispersive viscoelastic material and irrigating solution during phacoemulsification // *J. Cataract Refract. Surg.* – 2003. – Vol. 29. – P. 733 – 740.
146. Kohnen T. Compromised corneal endothelium and cataract: How should we decide // *J. Cataract Refract. Surg.* – 2011. – Vol. 37. – P. 1377 – 1378.
147. Kosrirukvongs P., Slade S., Berkeley R. Corneal endothelial changes after divide and conquer versus chip and flip phacoemulsification // *J. Cataract Refract. Surg.* – 1997. – Vol. 23. – P. 1006 – 1012.
148. . Lee V., Bloom P. Microhook capsule stabilization for phacoemulsification in eyes with pseudoexfoliation syndrome induced lens instability // *J. Cataract Refract. Surg.* – 1999. – Vol. 25. – P. 1567 – 1570.
149. Levy J., Pisacano A. Clinical endothelial cell loss following phacoemulsification and silicone or PMMA lens implantation // *J. Cataract Refract. Surg.* – 1988. – Vol.14. – P. 299 – 302.
150. Mackool R. Small pupil enlargement during cataract extraction. A New method // *J. Cataract Refract. Surg.* – 1992. – Vol. 18. – P. 523 – 526.
151. Mackool R. Preventing incision burn during phacoemulsification // *J. Cataract Refract. Surg.* – 1994. – Vol. 20. – P. 367 – 368.
152. Mackool R., Brint S. Aqualase: a new technology for cataract extraction // *Curr. Opin. Ophthalmol.* – 2004. – Vol. 15(1). – P. 40 – 43.
153. Maloney W., Shapiro D. Universal small incision for cataract surgery // *J. Cataract Refract. Surg.* – 1991. – Vol. 17(suppl). – P. 702 – 705.
154. Mamalis N. Femtosecond laser: The future of cataract surgery // *J. Cataract Refract. Surg.* – 2011. – Vol. 37. – P. 1177 – 1178.
155. McCarey B. The phacoemulsification procedure. I The effect of intraocular irrigating solution on the corneal endothelium // *Invest. Ophthalmol.* – 1976. – Vol. 15. – P. 449 – 453.

156. Nagahara K. Phaco-chop technique eliminates central sculpting and allows faster and safer phaco // *Ocular Surg. News.* –International edition. - 1993. – Vol. 4(10). – P. 12 – 13.
157. Nayak B., Shukla R. Effect on corneal endothelial cell loss during phacoemulsification: fortified balanced salt solution versus Ringer lactate // *J. Cataract Refract. Surg.* – 2012. – Vol. 38. – P. 1552 – 1558.
158. Obstbaum S. Phacoemulsification: the favored surgical technique // *J. Cataract Refract. Surg.* – 1991. – Vol. 17. – P.267.
159. Oetting T., Omphroy L. Modified technique using flexible iris retractors in clear corneal cataract surgery // *J. Cataract Refract. Surg.* – 2002. – Vol. 28. – P. 596 – 598.
160. Packard R. New software system may allow phaco surgery through a 1 mm incision // *ESCRS EuroTimes.* – 2001. – Vol. 6(6). – P. 8.
161. Packer M., Teuma E., Glasser A., Bott S. Defining the ideal femtosecond laser capsulotomy // *Br. J. Ophthalmol.* – 2015. – Vol. 99. – P. 1137 - 1142.
162. Park R., Chen P. Karyampudi P. et al. Effects of cataract extractiot with intraocular lens placement on scanning laser polarimetry of the nerve fiber layer // *Am. J. Ophthalmol.* – 2001. – Vol. 132. – P. 507 - 511.
163. Pereira A., Porfirio F., Freitas L., Belfort R. Ultrasound energy and endothelial cell loss with stop-and-chop and nuclear preslice phacoemulsification // *J. Cataract Refract. Surg.* – 2006. – Vol. 32. – P. 1661 – 1666.
164. Rho C., Joo C. Effects of steep meridian incision on corneal astigmatism in phacoemulsification cataract surgery // *J. Cataract Refract. Surg.* – 2012. – Vol. 38. – P. 666 – 671.
165. Schmutz J., Olson R. Thermal comparison of Infiniti OZil and Signature Ellips phacoemulsification system // *Am.J.Ophthalmol.* – 2010. – Vol. 149. – P. 762 – 767.

166. Scott W., Tauber S., Gessler J. et al. Comparison of vitreous loss rates between manual phacoemulsification and femtosecond laser-assisted cataract surgery // *J. Cataract Refract. Surg.* – 2016. – Vol. 42. – P. 1003 – 1008.
167. Searle A., Pearce J., Shaw D. Topical use of indomethacin on the day of cataract surgery // *Br. J. Ophthalmol.* – 1990. – Vol. 74. – P. 19 – 21.
168. Soscia W., Howard J., Olson R. Bimanual phacoemulsification through 2 stab incisions; a wound temperature study // *J. Cataract Refract. Surg.* – 2002. – Vol. 28. – P. 1039 – 1043.
169. Stegman R., Miller D. Extracapsular cataract extraction with hyaluronate sodium // *Ann. Ophthalmol.* – 1982. – Vol. 14. – P. 813 – 815.
170. Stern D., Schoenlein R., Puliafito C. et al. Corneal ablation by nanosecond, picosecond, and femtosecond lasers 532 and 625 nm // *Arch. Ophthalmol.* – 1989. – Vol. 107. – P. 587 – 592.
171. Sugar A., Schertzer R. Clinical course of phacoemulsification wound burns // *J. Cataract Refract. Surg.* – 1999. – Vol. 25. – P. 678 – 682.
172. Tcherniakov L., Butter J., Heundenreich Phakoemulsifikation durch Crack and Cram // *Ophthalmochirurgie.* – 1996. – Vol. 8. – P. 147 – 152.
173. Tognetto D., Cecchini P., Leon P. et al. Stroke dynamics and frequency of 3 phacoemulsification machines // *J. Cataract Refract. Surg.* – 2012. – Vol. 38. – P. 333 – 342.
174. Toyos R. Comparison of endothelial cell count of corneas undergoing Aqualase versus phacoemulsification cataract removal // *XXII Congress of the ESCRS.* – Paris, 2004. – P. 184.
175. Tsuneoca H., Shiba T., Takahashi Y. Ultrasonic phacoemulsification using 1,4 mm incision: clinical results // *J. Cataract Refract. Surg.* – 2002. – Vol. 28. – P. 81 – 86.
176. Ursell P., Spalton D., Whitcup S., Nussenblatt R. Cystoid macular edema after phacoemulsification: relationship to blood-aqueous barrier damage and visual acuity // *J. Cataract Refract. Surg.* – 1999. – Vol. 25. – P. 1492 – 1497.

177. Vasavada A, Rai S., Lee Y. NeoSoniX ultrasound versus ultrasound alone for phacoemulsification. Randomized clinical trial // J. Cataract Refract Surg. – 2004. – Vol. 30. – P. 2332 – 2335.
178. Vasavada A., Vasavada V., Vasavada V. Comparison of the effect of torsional and microburst longitudinal ultrasound on clear corneal incision during phacoemulsification // J. Cataract Refract Surg. – 2012. – Vol. 38. – P. 833 – 839.
179. Walkow T., Anders N., Klebe S. Endothelial cell loss after phacoemulsification: relation to preoperative and intraoperative parameters // J. Cataract. Refract. Surg. – 2000. – Vol. 26. – P. 727 – 732.
180. Wilhelm F., Holtkamp A., Dunker G. et al. Phacoemulsification of human lens nucleus with a waterjet // Ophthalmologe. – 2002. – Vol. 99. – P. 286 – 288.
181. Yamazoe K., Yamaguchi T., Hotla K. et al. Outcomes of cataract surgery in eyes with a low corneal endothelial cell density // J. Cataract Refract. Surg. – 2011. – Vol. 37. – P. 2130 – 2136.
182. Zacharias J. Lateral approach in superior cortex removal during small incision cataract surgery // J. Cataract Refract. Surg. – 1994. – Vol. 20. – P. 111 – 112.
183. Zacharias J. Role of cavitation in the phacoemulsification process // J.Cataract Refract. Surg. - 2008. – Vol. 34. – P. 846 – 852.
184. Zacharias J. Thermal characterization of phacoemulsification probes operated in axial and torsional modes // J.Cataract Refract. Surg. - 2015. – Vol. 41. – P. 208 – 216.
185. Ziegler D., Rathmann W., Dickhaus T., Meisinger C., Mielck A . Prevalence of Polyneuropathy in Prediabetes and Diabetes is Associated with Abdominal Obesity and Macroangiopathy. The MONICA/KORA Augsburg Surveys S2 and S3 // Diabetes Care. – 2008. – Vol. 31(3). – P. 464–469

186. Ziegler D., Papanas N., Zhivov A., [et al.]. Early detection of nerve fiber loss by corneal confocal microscopy and skin biopsy in recently diagnosed type 2 diabetes. // *Diabetes*. – 2014. – Vol. 63(7). – P. 2454–2463
187. Ziegler D., Rathmann W., Dickhaus T., Meisinger C., Mielck A. KORA Study Group. Neuropathic pain in diabetes, prediabetes and normal glucose tolerance: the MONICA/KORA Augsburg Surveys S2 and S3 // *Pain Med*. – 2009. – Vol. 10(2). – P. 393-400
188. Zochodne D. Diabetic polyneuropathy: an update // *Curr Opin Neurol*. – 2008. – Vol. 21(5). – P. 527–33