На правах рукописи

ШУХАЕВ

Сергей Викторович

КОМБИНИРОВАННЫЙ УЛЬТРАЗВУК В ХИРУРГИЧЕСКОМ ЛЕЧЕНИИ ПЛОТНЫХ КАТАРАКТ

14.01.07 – глазные болезни

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени

кандидата медицинских наук

Москва – 2019

Работа выполнена на базе Санкт-Петербургского филиала ФГАУ «Национальный медицинский исследовательский центр «Межотраслевой научно-технический комплекс «Микрохирургия глаза» им. акад. С.Н. Федорова» Минздрава России.

Научный руководитель:

Бойко Эрнест Витальевич – доктор медицинских наук, профессор

Официальные оппоненты:

Першин Кирилл Борисович **-** ведущий офтальмохирург и медицинский директор клиник «Эксимер», врач высшей категории, доктор медицинских наук, профессор, академик РАЕН

Куликов Алексей Николаевич **-** начальник кафедры офтальмологии Военно-Медицинской академии имени Сергея Мироновича Кирова, доктор медицинских наук, Заслуженный врач РФ

Ведущая организация:

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Научно-исследовательский институт глазных болезней»

Защита диссертации состоится «_02_» декабря__2019__ г. в 12.00_ часов на заседании диссертационного совета Д.208.014.01 при ФГАУ «НМИЦ «МНТК «Микрохирургия глаза» им. акад. С.Н. Федорова» Минздрава России по адресу: 127486, г. Москва, Бескудниковский бульвар, д. 59А.

С диссертацией можно ознакомиться в научной библиотеке при ФГАУ «НМИЦ «МНТК «Микрохирургия глаза» им. акад. С.Н. Федорова» Минздрава России по адресу: 127486, г. Москва, Бескудниковский бульвар, д. 59А.

Автореферат разослан «_____» _____ 20____ г.

Ученый секретарь
диссертационного совета,
доктор медицинских наук **Мушкова Ирина Альфредовна**

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы

В 1964 году Чарльзом Кельманом была предложена техника факоэмульсификации катаракты (ФЭК), эта технология прошла длительный путь, прежде чем стала золотым стандартом лечения катаракты (Буратто Л., 1999; Малюгин Б.Э., 2002, 2014; Kelman C.D., 1967; Cionni R.J., 1998). Современное оборудование и расходные материалы позволяют выполнить факоэмульсификацию практически при любом исходном состоянии хрусталика. Однако, определенное число интраоперационных осложнений, ведущих к снижению морфологических и функциональных результатов операции, всё же имеет место (Малюгин Б.Э., 2009; Головин А.В., 2011; Liu Y., 2009).

Одним из основных осложняющих факторов является высокая плотность (тердость) ядра хрусталика (Иошин И.Э., 2010; Fasce F 2007; Zeng M. 2009; Rekas M. 2009; Bourne R.R., 2004; Xie L.X., 2005; Kugu S., 2009; Jun B., 2010; Nagy Z.Z., 2014). С точки зрения хирурга плотный хрусталик – это хрусталик, который труднее разрушается механическими ультразвуковыми колебаниями факонаконечника. Аспирация плотных ядер требует использования высокой мощности ультразвука (УЗ) и времени звучания, что существенно повышает риск термического повреждения основного разреза (Singh R., 2001; Sippel K.C., 2002). Высокие ирригационно-аспирационные потоки, необходимые для работы с плотными ядрами, увеличивают риск повреждения капсульного мешка и радужки (Fasce F., 2007; Gonen T., 2012), а высокие ультразвуковые и гидродинамические нагрузки в купе с неизбежно высокой продолжительностью хирургии приводят к дополнительной травматизации тканей переднего отрезка глаза и, как следствие, таким послеоперационным осложнениям как кератопатия, иридоциклит, гипертензия (Bourne R.R., 2004; El-Moatassem Kotb A.M., 2010; Kim D.H., 2010; Fakhry M.A., 2011, Gonen T., 2012).

Сочетание низкой плотности эндотелиальных клеток роговицы с плотным хрусталиком существенно усложняет задачу хирурга и зачастую ставит под вопрос целесообразность выполнения бесшовной хирургии.

Вероятность возникновения описанных выше операционных осложнений зависит не только от мануальных способностей хирурга, но, и в значительной степени, от использования адекватных хирургической ситуации параметров работы факоэмульсификатора (Сметанкин И.Г., 2018; Chikamoto N. et al., 2008). Подбор и оценка различных ультразвуковых и гидродинамических настроек для аспирации плотных хрусталиков, достаточно трудоемкая и непростая задача. Сравнение различных принципов колебаний ультразвуковой иглы и различных модуляций ультразвука (Bozkurt E., 2009; Liu Y, 2009; Wang Y., 2009; Vasavada A.R., 2010), в частности показало, что торсионный ультразвук с дозированным вакуумобусловленным подключением продольного (технология Intelligent Phaco) более эффективна по сравнению с использованием чисто торсионного УЗ (Cionni R.J., 2011; Ratnarajan G., 2011; Helvacioglu F., 2012, 2014; Ugurbas S.C., 2012). Однако, для удаления плотных хрусталиков эта технология не показала убедительных преимуществ в сравнении с комбинированным ультразвуком (Kim D.H., 2010; Fakhry M.A., 2011). Работы, в которых в той или иной форме осуществлялись попытки сравнить эффективность комбинированного ультразвука (торсионный и продольный) и технологии IP не многочисленны, противоречивы (Zeng M., 2008; Fakhry M.A., 2011; Helvacioglu F., 2012) и не дают однозначного ответа на вопрос о перспективности использования комбинированного ультразвука на плотных хрусталиках. Одной из проблем проведения подобных исследований исследований является сложность в критериях отбора объективности результатов. Классические подходы в данных исследованиях основаны на подборе двух сопоставимых по исходным параметрам, в частности степени плотности ядра хрусталика, групп пациентов, что практически невозможно. Альтернативой являются лабораторные исследования, в которых используются материалы сходные по свойствам с человеческим хрусталиком (Kishimoto M., 2013), ядра хрусталиков полученных после выполнения экстра или

интракапсулярной экстракции катаракты (DeMill D.L., 2012) или хрусталики животного происхождения (Boulter T. et al., 2017., Wright A.J. et al., 2017), однако они не отражают реальную клиническую ситуацию. Методики, которая позволяла бы сравнивать особенности аспирации вещества хрусталика в реальных условиях в настоящий момент не существует.

Цель работы

Разработать хирургический метод удаления плотных катаракт с комбинированным использованием торсионного и продольного ультразвука.

Задачи исследования

1. На основе ретроспективного анализа, изучить ультразвуковые и гидродинамические параметры, а также интра- и послеоперационные осложнения факоэмульсификации плотных катаракт.
2. На основе применения фемтосекундного лазера разработать методику «Фемтосравнение» – объективного сравнения различных ультразвуковых и гидродинамических параметров при факоэмульсификации катаракт различной степени плотности.
3. Разработать хирургический этап удаления плотных катаракт с применением комбинированных ультразвуковых настроек и определить оптимальное соотношение продольного и торсионного ультразвука в последних.
4. Провести сравнительный анализ ультразвуковых и гидродинамических параметров факоэмульсификатора при использовании предложенных и стандартных (основанных на технологии IP) настроек при аспирации катаракт различной степени плотности.
5. На основе ультразвуковых и гидродинамических показателей факоэмульсификатора и клинико-функциональных результатов, сравнить разработанный метод хирургического лечения плотных катаракт с технологией IP.

Научная новизна

1. Впервые предложена и апробирована в клинической практике новая методика «Фемтосравнение», основанная на использовании фемтосекундного лазера, которая позволяет значительно объективизировать сравнение различных ультразвуковых и гидродинамических параметров факоэмульсификатора.
2. На основе тестирования различных комбинаций торсионного и продольного ультразвука с использованием разработанной методики «Фемтосравнение» при аспирации плотных катаракт определены оптимальные сочетания, обеспечивающие эффективное дробление ядра хрусталика с минимальной ультразвуковой и ирригационной нагрузкой.
3. Разработанный хирургический метод удаления плотных катаракт с использованием комбинации торсионного и продольного ультразвука при оценке ультразвуковых и гидродинамических показателей, а так же клинико-функциональных данных показал низкий расход ультразвуковой энергии, высокую скорость аспирации, низкую степень потери эндотелиальных клеток роговицы, а так же менее выраженную реакцию переднего отрезка глаза на операционную травму в сравнении с технологией IP.

Теоретическая и практическая значимость исследования

1. В результате проведенного исследования определено, что использование комбинации торсионного и продольного ультразвука в соотношении 70%/30% является оптимальным для аспирации плотных (бурых) катаракт по сравнению с технологией IP.
2. Предложенная методика «Фемтосравнение», дает возможность врачу-офтальмологу постоянно совершенствовать индивидуальные настройки факоэмульсификатора с целью снижения травматизации и улучшения функциональных результатов хирургии катаракты.

Основные положения, выносимые на защиту

1. Применение комбинированных ультразвуковых настроек в хирургическом лечении плотных катаракт, заключающееся в использовании торсионного ультразвука с постоянном контролируемым хирургом дозированным подключением продольного ультразвука с соотношением мощностных и временных ультразвуковых нагрузок 70% к 30% соответственно, обеспечивает снижение расхода ультразвуковой энергии, ускоряет удаление вещества хрусталика и обеспечивает высокий клинико-функциональный результат.
2. Предложенная методика «Фемтосравнение» является эффективным средством для объективизации сравнения основных ультразвуковых и гидродинамических параметров и может быть использована для оптимизации настроек факоэмульсификатора.

Внедрение в клиническую практику

Разработанные рекомендации внедрены в научно-клиническую деятельность Санкт-Петербургского филиала НМИЦ МНТК «Микрохирургия глаза» им. акад. С.Н. Федорова, ФГАУ МНТК «Микрохирургия глаза» им. акад. С.Н. Федорова Минздрава РФ Чебоксарский филиал.

Материалы используются на занятиях по первичной специализации врачей, при обучении интернов и клинических ординаторов кафедры офтальмологии СЗГМУ им. И.И. Мечникова, ФГБОУ ВО «Саратовский государственный медицинский университет имени В.И. Разумовского» Минздрава России.

Фильм, демонстрирующий основные принципы методики «Фемтосравнение», включён в обучающую программу Американской ассоциации катарактальных и рефракционных хирургов (ASCRS).

Апробация работы

Основные материалы работы доложены и обсуждены на заседаниях научных обществ и конференций: ARVO – 2009 Annual Meeting (Форт-Лотердейл, 2009); Республиканская научно-практическая конференция с международным участием «Актуальные вопросы в офтальмологии» (Минск, 2010); XXVIII Congress of the ESCRS (Париж, 2010); XXIX Congress of the ESCRS (Вена, 2011); VIII-я научно-практическая конференция с международным участием «Современные технологии катарактальной и рефракционной хирургии» (Москва, 2012); XXXI Congress of the ESCRS – 2013 (Амстердам, 2013); ASCRS – 2013 (Сан-Фанциско, 2013); XIV Научно-практическая конференция с международным участием «Современные технологии катарактальной и рефракционной хирургии – 2013» (Москва, 2013); Научная офтальмологическая конференция «Невские горизонты» (Санкт-Петербург, 2014); XXXII Congress of the ESCRS (Лондон, 2014); X Съезд офтальмологов России (Москва, 2015); XXVI Всероссийская научно-практическая конференция «Новые технологии микрохирургии глаза» (Оренбург, 2015); Республиканская конференция с международным участием «Инновации в офтальмологии» (Минск, 2015); XXXIII Congress of the ESCRS (Барселона, 2015); Современные технологии в офтальмологии (Москва, 2016); Научная конференция офтальмологов «Невские горизонты – 2016» (Санкт-Петербург, 2016); XXXV Congress of ESCRS (Лиссабон, 2017); XVII Всероссийская научно-практическая конференция с международным участием «Современные технологии катарактальной и рефракционной хирургии» (Москва, 2016); ASCRS-ASOA – 2017 (Лос-Анджелес, 2017); ASCRS-ASOA – 2018 (Вашингтон, 2018); ESCRS – 2018 (Вена, 2018).

Публикации

По теме диссертации опубликовано 18 печатных работ, из них 4 – в журналах, рецензируемых ВАК РФ и 1 в зарубежном издании.

Объем и структура диссертационной работы

Диссертация изложена на 142 страницах машинописного текста и состоит из введения, 4 глав, заключения, выводов, практических рекомендаций и списка литературы. Библиографический указатель содержит 211 источников, в том числе 40 отечественных и 171 иностранный. Работа иллюстрирована 29 таблицами и 20 рисунками.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Материал и методы

Клиническое исследование было выполнено в Санкт-Петербургском филиале НМИЦ «МНТК «Микрохирургия глаза» им. акад. С.Н. Федорова» Минздрава России в период с 2009 по 2019 года. В исследование вошло 460 пациентов (460 глаз) с возрастной катарактой различной степени плотности. Плотность хрусталика оценивалась по классификации Lens Opacities Classification System III (LOCS III).

Для реализации поставленной цели работа была разделена на последовательные этапы, которые соответствовали задачам исследования.

В соответствии с поставленными задачами все пациенты были разделены на 4 группы.

1 группа – 240 пациентов (240 глаз) с катарактами различной степени плотности, которым проводилась ретроспективная оценка частоты осложнений, а так же ультразвуковых и гидродинамических параметров при выполнении факоэмульсификации;

2 группа – 60 пациентов (60 глаз) с возрастной катарактой плотностью NC 6+, были разделены на 3 подгруппы в каждой из которых выполнялось попарное сравнение (согласно методике «Фемтосравнение») трех вариантов УЗ настроек с различным соотношением торсионного и продольного ультразвука (30%/70%, 50%/50% и 70%/30%);

3 группа – 88 пациентов (88 глаз) с возрастной катарактой различной степени плотности, у которых с помощью методики «Фемтосравнение» выполнялось сравнение двух вариантов ультразвуковых настроек (технология IP и вариант комбинированных настроек полученный по результатам сравнения во 2-й группе) путем оценки различных ультразвуковых и гидродинамических параметров;

4 группа – 72 пациента (72 глаза) с возрастной катарактой плотностью NC 6+, были разделены на 2 подгруппы (OZIL IP и COMBI) и выполнено сравнение двух вариантов ультразвуковых настроек (технология IP и вариант комбинированных настроек полученный по результатам сравнения во 2-й группе) путем оценки клинико-морфофункционального состояния переднего отрезка глаза, а так же основных ультразвуковых и гидродинамических показателей.

На предоперационном диагностическом обследовании всем пациентам выполнялся набор стандартных диагностических исследований пациента идущего на хирургию катаракты: визометрия (SZP-111), тонометрия (Tomey П-1000), кератометрия (Tomey RL-5000), рефрактометрия (Tomey RC-5000), биометрия (Tomey AL-3000), пахиметрия (Tomey EM-3000), периметрия (ПРП-60), биомикроскопия (SM-70 Takagi). Для оценки состояния эндотелия роговицы использовали зеркальный эндотелиальный микроскоп Tomey EM-3000 (Tomey, Japan). Для оценки толщины цилиарного тела выполнялась ультразвуковое В-сканирование (Aviso). Расчет ИОЛ выполнялся по формулам МНТК и с помощью прибора IOL Master 500 (Carl Zeiss meditec). С целью применения методики «Фемтосравнение» фемтолазерная подготовка выполнялась с использованием фемтосекундного лазера Victus у всех пациентов 2 и 3 групп (n=148). Операции выполнялись на факоэмульсификаторе Infinity и операционном микроскопе (Opmi Lumera\Lumera 700). После удаления ядра хрусталика или его фрагментов фиксировались следующие параметры: общая рассеянная энергия УЗ (условные единицы), время аспирации (секунды), количество аспирированной жидкости (мл/мин).

Статическая обработка данных пациентов была проведена с помощью скриптов, реализованных на языке программирования «R». Для выявления статически значимых отличий по каждому качественному признаку на уровне значимости 0,05 был использован критерий χ^2 с поправкой Йейтса. Для проверки нормальности распределения количественных признаков внутри каждой подгруппы был применен тест Шапиро-Уилка. Для сравнения значений количественных признаков в зависимых выборках был применен критерий Уилкоксона, в независимых критерий Мана-Уитни.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Разработка методики «Фемтосравнение» на основании результатов ретроспективного анализа факоэмульсификации плотных катаракт

В соответствии с задачами данного исследования на первом этапе работы проведен ретроспективный анализ осложнений у 240 пациентов, прооперированных по поводу возрастной катаракты, которые были разделены на две подгруппы в зависимости от исходной плотности хрусталика: в подгруппу «Плотные» (n=120) вошли пациенты с плотностью хрусталика NC 6+ по классификации LOCS III (Chylack L.T. Jr. et al., 1993). В подгруппу «Мягкие» (n=120) вошли пациенты с плотностью хрусталика NC1 – NC5. Анализ основных интра- и постоперационных осложнений выявил что частота разрывов задней капсулы (10,8% против 2,5%) и несостоятельность основного разреза требующая наложения швов (10,0% против 0,8%) была достоверно выше в подгруппе с плотными ядрами. Удаление плотных хрусталиков сопровождалось достоверно большим расходом ультразвуковой энергии (48,13 условных единиц против 7,09), объемом аспирированного вещества (215,98 мл. против 70,58 мл.) и временем аспирации (170,06 секунд против 61,19 секунд).

С целью уменьшить ультразвуковые и гидродинамические показатели факоэмульсификатора после удаления плотного хрусталика, а так же для

обоснования оптимального подбора параметров торсионного и продольного ультразвука в ходе решения 2-й задачи была предложена методика, основанная на применении фемтосекундного лазера и позволяющая создать объективные условия для сравнения различных вариантов настроек факоэмульсификатора в одном глазу.

Суть ее заключается в следующем: в ходе выполнения факоэмульсификации катаракты осуществлялась фемтолазерная подготовка, в ходе которой выполнялся основной роговичный разрез, капсулотомия и факофрагментация. После разделения ядра по лазерным резам на две одинаковые половины каждая аспирировалась с применением различных настроек. Для сравнения использовались «выходные» данные факоэмульсификатора после удаления каждой из половин. Описанная методика определена как – «Фемтосравнение», подразумевая под этим термином, что подобное сравнение возможно только с использованием фемтосекундного лазера.

Разработка комбинированных настроек факоэмульсификатора и их сравнение с технологией IP

В рамках решения третьей задачи настоящего исследования, проводилось виртуальное тестирование с помощью программы симулятора Dr. View с последующей «проверкой» полученных настроек с использованием методики «Фемтосравнение». В начале путем последовательного виртуального тестирования были сформированы 3 варианта комбинированных ультразвуковых настроек, отличающихся друг от друга долей торсионного и продольного ультразвука:

1. 30% продольный, 70% торсионный.
2. 50% продольный, 50% торсионный.
3. 70% продольный, 30% торсионный.

Поскольку методика «Фемтосравнения» предполагает сравнение настроек на двух половинах одного ядра хрусталика, 60 пациентов с плотными

хрусталиками 2-й группы были разделены на 3 подгруппы (по 20 случаев в каждой), в которых выполнялось последовательное сравнение друг с другом трех вариантов комбинированных настроек. Полученные результаты представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Ультразвуковые и гидродинамические параметры полученные при сравнении трех вариантов комбинированных настроек с применением методики «Фемтосравнение»

Параметры	№ 1 30/70 ½ ядра	№ 2 50/50 ½ ядра	p-value
CDE	15,44±1,51 15,5 (1,45)	17,19±3,91 17,9 (3,7)	0,00098
Время аспирации	104,9±18,85 106,5 (31,25)	97,1±22,21 94 (35,75)	0,2121
Объем аспирированной жидкости	52,4±14,20 53 (20,25)	54,7±13,26 56,5 (21,5)	0,7089
Параметры	№ 2 50/50 ½ ядра	№ 3 70/30 ½ ядра	p-value
CDE	16,66±1,47 16,4 (1,975)	17,955±2,33 18,05 (2,825)	0,03484
Время аспирации	96,05±21,60 96,5 (41,25)	106,75±18,07 109 (30,25)	0,1699
Объем аспирированной жидкости	57,15±11,59 56,5 (13,75)	63,40±8,98 62,5 (11,25)	0.1848
Параметры	№ 1 30/70 ½ ядра	№ 3 70/30 ½ ядра	p-value
CDE	14,885±1,68 15 (2,675)	18,765±2,50 19 (4,075)	0,000481
Время аспирации	104,55±18,53 106,5 (29,75)	121,5±16,08 120,5 (21)	0,006057
Объем аспирированной жидкости	43,1±8,47 43,5 (10)	45,4±9,09 45 (11,25)	0,5879

Анализ ультразвуковых, гидродинамических и временных параметров факоэмульсификации плотных фрагментов ядер с использованием трех вариантов комбинированных настроек выявил следующие закономерности:

- при сравнении первого типа настроек (30% – продольный/70% – торсионный) со вторым (50% – продольный/50% – торсионный) статически достоверно было значение CDE в пользу настроек с преимущественным использованием торсионного УЗ;
- при сравнении 2-го (50% – продольный/50% – торсионный) и 3-го (70% – продольный/30% – торсионный) типа настроек отмечается достоверно меньший расход ультразвука при использовании настроек с меньшим «содержанием» продольного УЗ (№ 2: 50% – продольный/50% – торсионный);
- при сравнении двух крайних вариантов настроек (№ 1: 30% – продольный/70% – торсионный и № 3 (70% – продольный/30% – торсионный) достоверно лучшие показатели в расходе УЗ энергии и скорости аспирации отмечаются при использовании настроек № 1 с процентным соотношением 30% продольный и 70% торсионный.

Для реализации четвертой задачи исследования, с помощью предложенной методики, проведен сравнительный анализ двух типов настроек: постоянного линейного торсионного ультразвука с активной функцией IP и комбинированного ультразвука (30% продольный, 70% торсионный) у 88 пациентов (88 глаз) с катарактой различной плотности.

При сравнении данных полученных после удаления мягких ядер (NC 1-3) комбинированный ультразвук продемонстрировал достоверно больший расход ультразвуковой энергии (6,60 против 6,09, p=0,014), при отсутствии достоверных различий во времени аспирации и объеме израсходованной жидкости. После удаления ядер средней плотности (NC 4-5) ни в одном из сравниваемых параметров достоверных отличий не выявлено (p>0,49). После удаления плотных хрусталиков количество израсходованной ультразвуковой

энергии составило 20,24 и 16,07 (p=0,001) при использовании торсионного УЗ с IP и комбинированного ультразвука, соответственно. Аналогичное преимущество показал комбинированный ультразвук при сравнении времени аспирации 128,10 против 108,00 (p=0,008). Объем аспирированной жидкости в этой группе был несколько больше при использовании комбинированного ультразвука, однако разница не достоверна (p=0,94).

Для решения пятой задачи настоящего исследования было выполнено сравнение ультразвуковых (CDE), гидродинамических (объем аспирированного вещества и время аспирации), функциональных (МКОЗ), морфологических (пахиметрия, потеря эндотелиальных клеток, плеоморфизм и полимегатизм), а так же реактивных (степень выраженности послеоперационного воспаления и послеоперационной кератопатии) показателей после аспирации плотных хрусталиков с использованием стандартных и комбинированных настроек при хирургическом лечении плотных катаракт в динамике. Кроме того исследовалась частота и диапазон послеоперационных осложнений. Для оценки выраженности воспалительной реакции выполнялось исследование толщины цилиарного тела до и после операции.

Параметры CDE были достоверно меньше (p=0,071) при использовании комбинированного ультразвука (35,08±8,53 и 40,94±6,29), что согласовывается с результатами полученными при решении четвертой задачи, где применялась методика «Фемтосравнение» (p=0,001). Время аспирации не выявило достоверных отличий (p=0,07) при сравнении в двух независимых выборках, в то время как при использовании «Фемтосравнения» оно было достоверно меньше в группе где применялся комбинированный ультразвук (p=0,008). Полученные данные по сравнению с использованием классической методики с двумя независимыми группами и методики «Фемтосравнение» с двумя зависимыми группами демонстрируют преимущества последней.

При анализе максимально коррегированной остроты зрения после операции и пахиметрических данных не было выявлено достоверной разницы между группами: МКОЗ после операции составила 0,80±0,16 в группе где

использовался комбинированный ультразвук и 0,75±0,17 в группе OZIL IP (p=0,146), в ранние сроки наблюдения, хотя и можно говорить о некоторой тенденции к увеличению центральной толщины роговицы в группе, где использовался торсионный УЗ с IP (+25 мкм), что возможно обусловлено функциональной недостаточностью эндотелия в результате большего УЗ воздействия, которая, впрочем исчезает в отдаленные сроки (+2 мкм, p=0,38).

Установлено, что при использовании комбинированных настроек во все сроки наблюдения процент потери эндотелиальных клеток роговицы был достоверно ниже при использовании комбинированных настроек, на 3,05% в первый день, 3,04% через 1 неделю и 4,01% через 6 месяцев (p<0,011). Результаты оценки состояния эндотелия роговицы показали, что при использовании комбинированного ультразвука количество гексагональных клеток (60,75%) отмечалось достоверно выше, чем при использовании торсионного ультразвука с IP (51,33%, p<0,00006), изменения CV во все сроки наблюдения носили хаотичный характер и достоверно не отличались в исследуемых группах (от +0,6 до +4, p>0,09).

При анализе клинических данных в послеоперационном периоде выявлено, что при хирургическом лечении плотных катаракт использование комбинированного ультразвука в сравнении с группой контроля обуславливало достоверно меньшую частоту фибринозного иридоциклита, а так же степень выраженности и частоту послеоперационной кератопатии (9% и 20,5% соответственно). Кроме того, анализ толщины цилиарного тела в ранние сроки после операции выявил достоверно большие показатели после применения технологии IP (0,204±0,11 против 0,101±0,09, p=0,008).

Полученные клинические данные наглядно демонстрируют, что применение комбинированных ультразвуковых настроек в подрежиме «custom pulse» факоэмульсификатора Infinity Vision System обеспечивает меньшую степень операционной травмы в переднем отделе глаза.

Таким образом, в ходе выполненного исследования показана эффективность методики «Фемтосравнение» для оценки основных

ультразвуковых и гидродинамических показателей во время факоэмульсификации. С помощью предложенной методики определено что комбинированный (торсионный 70% + продольный 30%) ультразвук более эффективен и безопасен при факоэмульсификации плотных хрусталиков в сравнении с технологией IP.

ВЫВОДЫ

1. Факоэмульсификация плотных катаракт сопряжена высоким расходом ультразвуковой энергии, ирригационного раствора, что в сочетании с длительностью операции является одной из ведущих причин осложнений, в структуре которых превалирует разрыв задней капсулы – 10,2%, несостоятельность основного роговичного разреза требующая наложение швов – 10% и повреждение связочного аппарата (8,3%).
2. Предложенная методика «Фемтосравнение» является эффективным средством для объективизации сравнения ультразвуковых, гидродинамических и временных параметров при факоэмульсификации катаракты. Методика позволяет совершенствовать ультразвуковые и гидродинамические настройки прибора в повседневной практике катарактального хирурга.
3. Проведенное с применением методики «Фемтосравнение», сравнение трех разработанных вариантов настроек комбинированного ультразвука, полученных в результате виртуального тестирования показало, что оптимальным соотношением мощностных характеристик торсионного и продольного ультразвука в цикле для эффективной аспирации плотных катаракт является соотношение 70% торсионного и 30% продольного ультразвука.
4. При аспирации мягких катаракт торсионным ультразвуком с технологией IP расходуется меньше ультразвуковой энергии, чем при использовании комбинированного (70% торсионный, 30% продольный) ультразвука –

6,09 и 6,6 соответственно. При удалении плотных хрусталиков расходуется больше ультразвуковой энергии и требуется больше времени для аспирации при использовании торсионного ультразвука с IP в сравнении с комбинированным (20.21, 16.12 и 125.95, 111.95 соответственно).

5. Сравнение клинико-функциональных параметров состояния переднего отдела глаза после удаления плотных хрусталиков с использованием торсионного ультразвука с IP и комбинации продольного и торсионного ультразвука в одном цикле показало преимущества комбинированных ультразвуковых настроек: достоверно менее выраженный клеточный плеоморфизм (51,33% против 60,75% гексагональных клеток, $p<0,05$), потеря клеток заднего эпителия роговицы (4,07% против 8,08%, $p=0,001$), степень утолщения цилиарного тела (на 0,094 мм против 0,19 мм, $p=0,0002$).

ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

1. Хирургическое лечение плотных катаракт на этапе аспирации хрусталиков целесообразно проводить в условиях применения комбинированного (торсионного и продольного ультразвука) с мощностным соотношением торсионного ультразвука к продольному 70% к 30%.

2. Методику «Фемтосравнение» следует рекомендовать для объективизации оценки ультразвуковых и гидродинамических параметров при сравнении различных настроек факоэмульсификатора и создании персонифицирвоанных настроек факоэмульсификатора.

3. Для создания и виртуального тестирования индивидуальных настроек факоэмульсификатора рекомендуется к использованию программ симулятор Dr. View для факоэмульсификаторов Infinity и Centurion Vision System.

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1. Шухаев, С.В. Вязкоупругие биополимеры: физико-механические свойства и применение в офтальмологии / С.В. Шухаев, Е.Д. Федорович, Ю.Е. Каряки, В.В. Кораблев // Науч.-тех. ведомости СПбГПУ. Сер.: Физико-математические науки. – 2011. – Т. 134, № 4. – С. 154-161.
2. Шухаев, С.В. Сравнительная эффективность комбинаций торсионного и продольного ультразвука при удалении катаракт высокой плотности / С.В. Шухаев, Е.В. Томилова // Современные технологии катарактальной и рефракционной хирургии – 2013 : сб. науч. статей. XIV науч.-практ. конф. с междунар. участием. – М., 2013. – С. 196-198.
3. Шухаев, С.В. Комбинированное использование торсионного и продольного ультразвука для аспирации катаракт различной плотности / С.В. Шухаев, Е.В. Томилова // Невские горизонты – 2014 : материалы науч. конф. офтальмологов. – СПб.: Политехника-сервис, 2014. – С. 478-481.
4. Шухаев, С.В. Использование торсионного ультразвука в комбинации с продольным для аспирации плотных катаракт / С.В. Шухаев, И.Б. Литвин, С.В. Березин // Глаукома теория и практика. Горизонты нейропротекции : сб. науч. ст. VIII науч. конф. – СПб., 2015. – Вып. № 10. – С. 92-94.
5. Шухаев, С.В. Факоэмульсификация катаракты с фемтолазерной подготовкой на глазах с низкой плотностью эндотелиальных клеток роговицы / С.В. Шухаев, В.В. Науменко, О.М. Долгошей, И.В. Курьянова, Э.В. Бойко // Инновации в офтальмологии : сб. материалов Республиканской науч.-практ. конф. с междунар. участием. Междунар. науч.-практ. журн. «Офтальмология Восточная Европа». – Минск, 2015. – № 4, прил. – С. 15.
6. **Шухаев, С.В. Факоэмульсификация катаракты с фемтолазерным сопровождением на глазах с эндотелиальной дистрофией Фукса / С.В. Шухаев, В.В. Науменко, Э.В. Бойко // Вестн. Оренбургского гос. ун-та. – 2015. – Т. 187, № 12. – С. 318-320.**

7. Шухаев, С.В. Комбинированное использование торсионного и продольного ультразвука для аспирации плотных катаракт / С.В. Шухаев, С.В. Березин, И.Б. Литвин // Глаукома: теория и практика. Горизонты нейропротекции : сб. статей IX Рос. глаукомной школы и конф. – СПб., 2016. – С. 84-85.
8. **Шухаев, С.В. Метод сравнительной оценки ультразвуковых и гидродинамических показателей в процессе факоэмульсификации / С.В. Шухаев, О.М. Ельцина, Л.И. Балашевич // Вестн. офтальмологии. – 2018. – Т. 134, № 6. – С. 33-40.**
9. **Шухаев, С.В. Сравнение плотности эндотелиальных клеток роговицы после факоэмульсификации плотной катаракты с использованием комбинированного ультразвука и торсионного ультразвука с intelligent Phaco / С.В. Шухаев, Э.В. Бойко // Офтальмология. – 2018. – № 15 (2S). – С. 145-152.**
10. **Шухаев, С.В. Факоэмульсификация катаракты с фемтолазерным сопровождением на глазах с эндотелиально-эпителиальной дистрофией роговицы / С.В. Шухаев, В.В. Науменко, О.М. Ельцина, Л.И. Балашевич, Э.В. Бойко // Офтальмохирургия. – 2018. – № 1. – С. 19-25.**
11. Shukhaev, S. Phacoemulsification in the Eyes With Fuchs Endothelial Dystrophy / S. Shukhaev, L. Balashevich, N. Bondarenko, P. Dadazkaya // ARVO. Annual Meeting. – Fort Lauderdale, FL., 2009. – P. 27.
12. Balashevich, L.I. Long-term outcomes of phacoemulsification (PE) and laser cataract extraction (LCE) in the eyes with Fuchs endothelial dystrophy / L.I. Balashevich, A.M. Zagorulko, S.V. Shukhaev, K.A. Yakovleva // XXVIII Cjngress oof the ESCRS. Book of abstracts. – Paris, 2010. – P. 18.
13. Shukhaev, S. Effects of phacoemulsification (PE) with longitudinal or torsional ultrasound on the corneal endothelium in patients with Fuchs endothelial dystrophy / S. Shukhaev, L. Balashevich // XXIX Congress of the ESCRS. – Vienna, Austria, 2011. – P. 34.

14. Shukhaev, S.V. Torsional versus torsional + axial ultrasound (us) in aspiration of cataracts of different density / S.V. Shukhaev, Y.V. Takhtaev, L.I. Balashevich // XXXI Congress of the ESCRS. – Amsterdam, 2013. – P. 13.
15. Shukhaev, S. Femtosecond laser-assisted cataract surgery in eyes with Fuchs endothelial dystrophy [Electronic resource] / S. Shukhaev // XXXIII Congress of the ESCRS. – Barcelona, 2015. – Mode of access: http://escrs.org/abstracts/details.asp?confid=20&sessid=609&type=poster&paperid=23477.
16. Tomilova, E. A novel method to compare phacoemulsification parameters in vivo: two halves of one nucleus / E. Tomilova, S. Shukhaev // Graefe's Archive for Clinical and Experimental Ophthalmology. – 2016. – Vol. 254, № 8. – P. 1579-1584.
17. Shukhaev, S.V. Torsional versus torsional + axial ultrasound (US) in aspiration of hard cataracts / S.V. Shukhaev // Abstract book of the 2nd Joint meeting of Georgian ophthalmological society and European society of ophthalmology. – Georgian, 2016. – P. 35.
18. Shukhaev, S. Femto comparison / S. Shukhaev, A. Tomilova, L. Balashevich, E. Boiko // XXXV Congress of ESCRS. – Lisbon, 2017. – P. 139.

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

ВВ	– водянистая влага
ВГД	– внутриглазное давление
ВЭ	– вискоэластик
ИОЛ	– интраокулярная линза
Мл	– миллилитры
ПЗО	– передне-задняя ось глаза
ПК	– передняя камера
ПЭК	– плотность эндотелиальных клеток
Сек	– секунды
$См^3$	– сантиметры кубические
УЗ	– ультразвук
ФемтоФЭК	– факоэмульсификация катаракты с фемтолазерным сопровождением
ФЭК	– факоэмульсификация катаракты
BSS	– balanced salt solution
CDE	– Cumulative Dissipated Energy
EPT	– effective phaco time
IP	– intelligent phaco
NC	– nucleus color
NO	– nucleus opalescence