СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ РАЗЛИЧНЫХ ПАТТЕРНОВ (МОДЕЛЕЙ) ФЕМТОЛАЗЕРНОЙ ФРАГМЕНТАЦИИ ЯДРА ХРУСТАЛИКА В ХИРУРГИИ НЕОСЛОЖНЕННОЙ СЕНИЛЬНОЙ КАТАРАКТЫ

Сахнов С.Н.^{1,2}, Заболотный А.Г.^{1,2}, Онишко Е.С.^{1,2}

¹ФГАУ «НМИЦ «МНТК «Микрохирургия глаза» им. акад. С.Н. Федорова» Минздрава России, Краснодар, e-mail: nok@mail.ru;

²ФГБОУ ВО «Кубанский государственный медицинский университет» Минздрава России, Краснодар

Цель: изучение влияния различных паттернов (моделей) фемтолазерной фрагментации хрусталика (ФФХ) на последующие энергетические параметры ультразвукового воздействия в хирургии сенильной неосложненной катаракты. В исследование включено 86 глаз (n=86) с сенильной неосложненной катарактой со II степенью плотности ядра хрусталика. Исследуемые разделены на 2 группы: основную (n=73) – перед факэмульсификацией катаракты (ФЭК) выполнялась ФФХ, и контрольную (n=13) – ФЭК по классической технологии. Основная группа разделена на 3 подгруппы в зависимости от вида паттерна ФФХ: а) «раскол» (n=27); б) «решетка» (n=23); в) «цилиндр» (n=23). Интраоперационно оценивали суммарную мощность, экспозицию ультразвука и показатель «кумулятивной рассеянной энергии» (CDE) в обеих группах. Показатели средней мощности и экспозиции ультразвука в основной группе оказались ниже по сравнению с контрольной группой на 35% (p<0,05). При оценке данных параметров между подгруппами основной группы отмечается их значимое увеличение в подгруппе «в» («цилиндр») в сравнении с подгруппами «а» («раскол») и «б» («решетка»). Статистически значимых различий в подгруппах «а» и «б» не отмечалось. При оценке CDE наиболее энергозатратной оказалась работа с паттерном «в» («цилиндр»). Оптимальным с позиции энергобезопасности в хирургии неосложненной сенильной катаракты со II степенью плотности ядра хрусталика является выбор паттернов ФФХ «решетка» или «раскол». Использование паттерна «цилиндр» в данных условиях является наиболее энергозатратным.

Ключевые слова: паттерн (модель) фемтолазерной фрагментации хрусталика, энергетические параметры ультразвукового воздействия

COMPARATIVE ANALYSIS OF DIFFERENT PATTERNS (MODELS) FEMTOSECOND LASER FRAGMENTATION OF THE LENS NUCLEUS IN THE SURGERY OF UNCOMPLICATED SENILE CATARACT

Sakhnov S.N.^{1,2}, Zabolotniy A.G.^{1,2}, Onishko E.S.^{1,2}

¹Krasnodar Branch of FSAI NMRC «ISTC «Eye Microsurgery» named after acad. S. Fyodorov» of the Ministry of Health Care of the Russian Federation, Krasnodar, e-mail: nok@mail.ru;

²FSBEI «Kuban State Medical University» of the Ministry of Health Care of the Russian Federation, Krasnodar

Aim: Studying the effect of various patterns (models) of lens femtosecond laser fragmentation (LFF) on the subsequent energy parameters of ultrasound exposure in surgery uncomplicated senile cataract. The study included 86 eyes (n=86), with senile uncomplicated cataract II degree of density of the lens nucleus. The subjects were divided into 2 groups: the main group (n = 73) - before phacoemulsification (FC), LFF was performed and the control group (n = 13) – FC classic. The main group is divided into 3 subgroups depending on the type of the LFF pattern: a) «chop» (n = 27); b) «grid» (n = 23); c) «cylinder» (n = 23). Intraoperatively, the total power, ultrasound exposure and «cumulative dissipated energy» (CDE) were estimated in both groups. Indicators of average power and ultrasound exposure in the main group were lower comparison with the control group by 35% (p <0.05). When evaluating these parameters between the subgroups of the main group, their significant increase in the «c» (cylinder) subgroup is noted, in comparison with the «a» (chop) and «b» (grid) subgroups. Statistically significant differences in the subgroup «a» and «b» were not observed. In evaluating CDE, the «cylinder» pattern was the most energy consuming. From the standpoint of energy security in surgery of uncomplicated senile cataract with II degree of lens nucleus density, the choice of the FFH «grid» or «chop» patterns is optimal. The use of the «cylinder» under these conditions is the most energy-consuming.

Keywords: pattern (model) of femtolaser fragmentation of the lens, energy parameters of ultrasound exposure

Стремительное развитие хирургии катаракты идет в направлении стандартизации и повышения точности выполнения основных этапов операции, уменьшения влияния

человеческого фактора, а также снижения травматичности вмешательства для достижения лучшего функционального результата и сокращения сроков реабилитации [1, 2]. Приоритетным направлением развития технологии ультразвуковой факоэмульсификации катаракты (ФЭК), используемой в настоящее время более чем в 85% случаев хирургии сенильной неосложненной катаракты, является снижение общего количества затрачиваемой ультразвуковой энергии. В ходе эволюции технологии ФЭК это достигалось путем совершенствования факоэмульсификаторов, созданием различных режимов модуляции ультразвука (импульсный, вспышечный), разработкой многочисленных вспомогательных методик эндокапсулярного механического раскола ядра («Phaco Chop» и модификации) [3–5]. Активное внедрение в хирургическое лечение катаракты фемтосекундных лазеров позволило на одном из ключевых этапов операции – фрагментации ядра хрусталика – уменьшить мощность и экспозицию последующего ультразвукового воздействия, по данным различных авторов, от 30 до 45% [6–8]. Существенно сократились время и количество интраокулярных хирургических манипуляций, а также объем используемых ирригационных жидкостей. Эффективная фрагментация катарактально измененного ядра хрусталика фемтосекундным лазером и, как следствие, уменьшение затраченной энергии ультразвука зависят от выбора мощности энергии, а также паттерна (модели) лазерного воздействия.

В доступной литературе описаны многочисленные исследования по оптимизации энергетических параметров работы фемтосекундного лазера при разделении ядра на фрагменты с учетом различных степеней плотности хрусталика [9–11]. В то же время в отечественной и зарубежной литературе имеются лишь единичные сообщения о влиянии различных паттернов (моделей) фемтолазерного воздействия на энергобезопасность операции в целом [12].

Цель исследования: изучить степень влияния различных паттернов (моделей) фемтолазерной фрагментации ядра хрусталика на последующую суммарную мощность и экспозицию ультразвукового воздействия для полной фрагментации и удаления хрусталиковых масс в хирургии неосложненной сенильной катаракты.

Материалы и методы исследования. Исследование выполнено на базе Краснодарского филиала ФГАУ «НМИЦ «МНТК «Микрохирургия глаза» им. акад. С.Н. Федорова» Минздрава России в 2017–2018 гг. В исследование были включены 86 глаз (86 пациентов, мужского пола – 39, женского – 47). Средний возраст составлял $71,4 \pm 6,2$ года. Все пациенты были разделены на 2 группы в зависимости от вида энергетического воздействия: основную и контрольную (табл. 1).

Таблица 1

Распределение пациентов (глаз) по группам в зависимости от вида энергетического воздействия

Группы пациентов и виды энергетического воздействия	Паттерн (модель) факофрагментации	Количественные показатели	
		п глаз	%
Основная группа (ФФЭК)	а) «раскол»	27	31
	б) «решетка»	23	27
	в) «цилиндр»	23	27
Контрольная группа (ФЭК)		13	15

В первую (основную) группу включены 73 пациента, которым выполнена предварительная фрагментация ядра хрусталика фемтосекундным лазером LenSx® (Alcon, США) с одинаковой (заданной) мощностью энергетического воздействия 12 мДж. Данная группа разделена на 3 подгруппы: а) 27 пациентов (27 глаз) – использован паттерн факофрагментации «раскол» (chor) с образованием 6 секторов – фрагментов ядра (образованных радиально расположенными вертикальными плоскостями рассечения, центрированными относительно хрусталика); б) 23 пациента (23 глаза) – паттерн факофрагментации «решетка» (grid) с образованием микроквадрантов – фрагментов ядра; в) 23 пациента (23 глаза) – паттерн факофрагментации «цилиндр» (cylinder) с образованием двух фрагментов ядра в виде вертикальных цилиндров – большего и (внутри него) меньшего диаметров, центрированных относительно хрусталика (рис.).

Паттерны (модели) фрагментации ядра хрусталика с помощью фемтосекундного лазера:

а) «раскол»; б) «решетка»; в) «цилиндр»

Для осуществления фемтолазерной фрагментации ядра хрусталика по указанным паттернам (моделям) использовался фемтосекундный лазер LenSx® (Alcon, США), активно используемый в нашей клинике с 2013 г. Лазерная система LenSx® представляет собой фемтосекундный инфракрасный лазер с длительностью импульса 600–800 фс, основной

рабочей длиной волны 1030 нм, максимальной энергией импульса 15 мкДж, частотой повторения импульсов 50 кГц. Использование во время операции мягкого интерфейса пациента Soft Fit® (обеспечивающего лучшую визуализацию и более точный докинг) позволило добиться высокого качества формируемых паттернов факофрагментации, соответствующих заданным параметрам, и их идентичности между собой в сформированных подгруппах.

Формируемые на «мониторе хирургии» изображения с видео-микроскопа, линейный ОКТ-скан передней камеры глаза и хрусталика позволяют задать безопасное положение и глубину шаблонов фрагментации относительно формы и размеров хрусталика по опорным точкам, учитывая положение передней и задней капсул. Шаблон резания (фемтолазерная факофрагментация) начинается в заданной заранее дальней глубине ядра хрусталика, как первоначальное иссечение, и продолжается к переднему полюсу хрусталика с отступом на несколько микрон.

Во вторую (контрольную) группу были включены 13 глаз (13 пациентов) – ФЭК выполнялась по классической технологии, с использованием эндокапсулярной техники разлома ядра «Phaco Chop» (табл. 1).

После выполнения фемтолазерного этапа и соответствующей подготовки пациентов в первой (основной) группе, через 10–20 минут, выполнялся второй этап операции – ультразвуковая ФЭК. Непосредственно перед ультразвуковым этапом выполнялись раскрытие сформированных фемтосекундным лазером роговичных разрезов, введение в переднюю камеру глаза дисперсного вязкоэластика, проверка шпателем завершенности капсулотомии и удаление сформированного лоскута передней капсулы капсульным пинцетом, осуществлялась легкая (щадящая) гидродиссекция ядра хрусталика. В контрольной группе после выполнения парацентезов и тоннельного разреза, введения в переднюю камеру дисперсного вязкоэластика выполнялся передний непрерывный круговой капсулорексис капсульным пинцетом с последующей гидродиссекцией и гидроделинеацией ядра хрусталика.

Ультразвуковой этап операции в обеих группах осуществлялся с помощью офтальмологической хирургической установки Infinity® (Alcon, США) на одинаковых параметрах работы: высота бутылки с ирригационной жидкостью 80 см, вакуум 350–400 мм рт. ст., аспирация 30 см³/мин, мощность продольного ультразвука 40%, торсионного – 60%, режим «вспышка», использование классической методики «Phaco Chop».

В исследование были включены пациенты со II степенью плотности хрусталика и преимущественной локализацией помутнений хрусталика в ядре без сопутствующей патологии глаза. Оценка плотности ядра хрусталика осуществлялась колориметрическим

методом с использованием классификации L. Buratto за щелевой лампой (SL 130 AG Zeiss® (Германия)) и методом определения оптической плотности хрусталика (3D-денситометрия с программным обеспечением PNS®) на основе Шеймпфлюг-изображения прибора «Pentacam» Oculus® (Германия – США) [13].

Критериями исключения из исследования являлись: наличие когнитивных расстройств у пациентов (отсутствие понимания производимых манипуляций и осознанного согласия); невозможность пациентов сохранять неподвижность в положении лежа на спине; инфекционные заболевания глаз (остаточные явления, рецидивы или активные стадии); заболевания роговицы (включая ее помутнения или рубцы, мешающие прохождению лазерного излучения); наличие узкого (ригидного) зрачка; нестабильность связочного аппарата хрусталика; глаукома; любые предшествующие хирургические вмешательства на глазном яблоке; а также сахарный диабет и другие тяжелые соматические заболевания.

Всем пациентам перед операцией были выполнены стандартный объем клинико-офтальмологических обследований и одинаковая предоперационная подготовка. Предоперационная острота зрения с коррекцией составляла от 0,05 до 0,7. Операции выполнены одним хирургом. Интраоперационных осложнений ни в одном случае не отмечалось.

В каждой из групп (основной и контрольной) оценивались средние показатели мощности использованного ультразвука (%), время использования ультразвука (секунд), а также «показатель кумулятивной рассеянной энергии» (CDE – cumulative dissipated energy, англ.) для полной фрагментации и удаления хрусталиковых масс. Показатель CDE учитывает как среднюю мощность с экспозицией линейного ультразвука, так и среднюю торсионную амплитуду с торсионным временем:

$$CDE = (\text{Сред. мощность УЗ} \times \text{Время УЗ}) + 0.4(\text{Сред. торсион. амплитуда УЗ} \times \text{Торсион. время УЗ})$$

В каждой из подгрупп первой группы дополнительно оценивалась эффективность работы фемтолазера по следующим критериям: полнота разделения ядра фемтосекундным лазером на фрагменты, необходимость дополнительного использования ультразвуковой энергии или механического разделения специальным хирургическим инструментарием (чоппером, шпателем) внутрикапсульного мешка.

Результаты исследования и их обсуждение. Данные параметров ультразвукового воздействия на этапе факоэмульсификации хрусталика пациентов основной группы и группы сравнения считывались с экрана офтальмологической хирургической установки Infinity® (Alcon, США) в разделе «Статистика» и представлены в таблице 2.

Параметры ультразвукового воздействия на этапе факоэмульсификации в исследуемых группах пациентов при использовании различных паттернов (моделей) фемтолазерной фрагментации ядра хрусталика

Группы/подгруппы		Параметры ультразвукового воздействия		
		Средняя мощность ультразвука, %	Время работы ультразвука, сек.	Среднее значение CDE
Основная	а) «раскол»	10,55±2,75*	14,75±2,50*	12,01±2,55*
	б) «решетка»	9,70±3,11*	11,92±2,11*	10,95±2,21*
	в) «цилиндр»	13,75±2,09*	18,50±1,65*	16,01±2,50*
Контрольная		18,12±2,25	24,77±3,55	20,05±2,25

*p<0,05 – статистически достоверно в сравнении с контрольной группой

Сравнение параметров средней мощности использованного ультразвука, а также времени использования ультразвука показало, что в основной группе они оказались существенно ниже в сравнении с контрольной группой в среднем на 35% (p<0,05), что соответствует полученным данным исследований других авторов [6, 7, 8]. При оценке данных показателей между подгруппами основной группы получены следующие результаты: значимое увеличение средней мощности использованного ультразвука в подгруппе «в» – паттерн факофрагментации в виде «цилиндра» (13,75±2,09%*), в сравнении с подгруппами «а» – паттерн «раскол» (10,55±2,75%*) и «б» – паттерн «решетка» (9,70±3,11%*) соответственно. Различия данного параметра между подгруппами «а» («раскол») и «б» («решетка») были несущественными. При оценке средних показателей времени работы ультразвука и показателя кумулятивной рассеянной энергии CDE между подгруппами основной группы оказалось, что при использовании паттерна «б» («решетка») данные параметры были минимальными, а при использовании паттерна «в» («цилиндр») – максимальными. В сравнении подгрупп «а» («раскол») и «б» («решетка») различия работы ультразвука и CDE были несущественными. Достоверно меньшие показатели CDE в основной группе (даже с учетом максимальных значений при использовании паттерна «цилиндр») по сравнению с контрольной группой ФЭК свидетельствуют о меньшей ультразвуковой энергии при использовании фемтолазерного сопровождения ФЭК, а следовательно, снижении отрицательных эффектов ультразвука на внутриглазные структуры. В нашем исследовании клиничко-функциональные результаты всех операций в обеих группах были схожими, не было особенностей в протекании послеоперационного периода и сроках реабилитации пациентов, а также максимально скорректированной остроте зрения.

Степень фрагментации ядра хрусталика фемтосекундным лазером (эффективность работы фемтолазера) оценивалась хирургом субъективно по усилиям для механического деления ядра на фрагменты дополнительным инструментарием (чоппером, шпателем) внутрикапсульного мешка. Неэффективная фемтолазерная факофрагментация (для разделения фрагментов использовались вспомогательный инструментарий или дополнительный ультразвук) в основной группе отмечалась не более чем в 11% случаев. Полученные данные обусловлены наличием дополнительных заднекортикальных помутнений хрусталика, оставшихся в «зоне безопасности лазера», не подвергшихся разделению фемтосекундным лазером ввиду использования параметров с безопасным отступом от задней капсулы хрусталика при планировании операции. Безусловно, это отразилось на фиксируемых в ходе операции энергетических затратах ультразвука и привело к их увеличению. Наиболее трудоемкой с позиции дополнительной механической внутрикапсульной факофрагментации, по субъективным ощущениям хирурга, оказалась работа с паттерном «цилиндр». В данной подгруппе отмечались максимальные энергетические затраты ультразвука среди всей основной группы.

Таким образом, предварительная фрагментация ядра хрусталика фемтосекундным лазером при фемтолазерном сопровождении ФЭК значительно снижает количество манипуляций в глазу с использованием дополнительного хирургического инструментария, сокращает мощность УЗ, время работы УЗ, CDE в сравнении с классической ФЭК. Перспективность фемтолазерной факофрагментации обусловлена самим механизмом лазерного воздействия: каждый лазерный импульс создает кавитационный пузырек, соизмеримый с размером пятна, что позволяет деликатно разделять ткань. Отсутствует характерный для ультразвука эффект «свободной кавитации» или «кавитационного облака» (не ограниченного по направлению хрусталиковыми массами), приводящего к схлопыванию пузырьков в передней камере, повреждая эндотелий роговицы и окружающие внутриглазные структуры [3, 14].

Заключение. Наряду с подбором оптимальной мощности фемтолазерного воздействия для фрагментации ядра хрусталика в хирургии неосложненной сенильной катаракты с фемтолазерным сопровождением важным является выбор оптимального вида паттерна (модели) фемтолазерной факофрагментации.

В случае хирургии неосложненной сенильной катаракты со II степенью плотности хрусталика и преимущественной локализацией помутнений в ядре оптимальным с позиции энергобезопасности является выбор паттерна фемтолазерной фрагментации «решетка» с образованием микроквадрантов – фрагментов ядра или паттерна «раскол» с образованием 6 секторов – фрагментов ядра. Использование паттерна «цилиндр» нецелесообразно в случае

фемтолазерного сопровождения ФЭК, однако может быть успешно применено в случае сочетания фемтолазерного воздействия с альтернативными лазерными источниками энергии, что может стать предметом будущих исследований на пути оптимизации применения фемтолазерного сопровождения в хирургии катаракты.

Список литературы

1. Коновалов М.Е., Кожухов А.А., Зенина М.Л., Горенский А.А., Коновалова Т.М., Коновалова М.М., Шаврин Ф.Н. Клиническое исследование результатов факоэмульсификации катаракты с фемтолазерным сопровождением // Вестник Томского государственного университета. 2014. № 4. С. 1152-1154.
2. Nagy Z.Z. New technology update: femtosecond laser in cataract surgery. Clinical Ophthalmology. 2014. vol. 8. P. 1157-1167. DOI: 10.2147/OPTH.S36040.
3. Азнабаев Б.М. Ультразвуковая хирургия катаракты – факоэмульсификация. М.: Август Борг, 2005. С. 66-87.
4. Иошин И.Э. Факоэмульсификация. М.: Апрель, 2012. С. 23-39.
5. Юсеф С.Н., Юсеф Н.Ю. Сравнительная оценка новой методики фрагментации ядра хрусталика при факоэмульсификации плотных катаракт // Вестник офтальмологии. 2012. № 5. С. 18-20.
6. Анисимова С.Ю., Анисимов С.И., Трубилин В.Н., Новак И.В. Факоэмульсификация катаракты с фемтолазерным сопровождением. Первый отечественный опыт // Катарактальная и рефракционная хирургия. 2012. Т. 12. № 3. С. 7-10.
7. Бикбов М.М., Бурханов Ю.К., Усубов Э.Л. Оренбуркина О.И. Факоэмульсификация катаракты с использованием фемтосекундного лазера // Вестник Оренбургского государственного университета. 2014. № 12. С. 82-85.
8. Гончаренко О.В., Заболотный А.Г., Мацко В.В., Марцинкевич А.О. Обеспечение и повышение уровня технологической безопасности хирургии катаракт на основе клинического применения фемтосекундного лазера // Вестник Оренбургского государственного университета. 2014. № 12 (173). С. 104-106.
9. Романенко С.Я., Терещенко А.В., Трифаненкова И.Г., Гречанинов В.Б., Демьянченко С.К. Энергетические параметры фемтолазерного сопровождения хирургии катаракты при различной степени плотности ядра хрусталика // Практическая медицина. 2016. № 6. С. 145-148.
10. Джаши Б.Г. Серков Ю.С. Фемтолазер-ассистированная факоэмульсификация катаракт различной степени плотности // Практическая медицина. 2017. № 9. С. 29-31.

11. Онишко Е.С., Сахнов С.Н., Заболотный А.Г. Интраоперационный синдром капсульного блока и способы профилактики его возникновения на современном этапе развития энергетической хирургии катаракты // Современные проблемы науки и образования. 2019. № 1. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=28516>. (дата обращения: 15.03.2019). DOI: 10.17513/spno.28516.
12. Shajari M., Khalil Sh., Mayer W.J. Comparison of 2 laser fragmentation patterns used in femtosecond laser-assisted cataract surgery. J. Cataract. Refract. Surg. 2017. vol. 43. no. 12. P. 1571-1574. DOI: 10.1016/j.jcrs.2017.09.027.
13. Аит Ахмед Х., Максимов В.Ю., Максимов М.В., Акчурин Г.Г. Оптимизация подбора мощности «LenSx» при фрагментации хрусталика с помощью прибора «Pentacam» // Современные технологии в офтальмологии. 2017. № 6. С. 36-38.
14. Bojan P., Cvejic Z., Pajic-Eggspuehler B. Cataract Surgery Performed by High Frequency LDV Z8 Femtosecond Laser: Safety, Efficacy, and Its Physical Properties. Sensors. 2017. vol. 17. P. 1429. DOI: 10.3390/s17061429.