

## **ФЕМТОСОПРОВОЖДЕНИЕ ФАКОЭМУЛЬСИФИКАЦИИ КАТАРАКТЫ НА РАЗЛИЧНЫХ ФЕМТОЛАЗЕРНЫХ УСТАНОВКАХ**

**Терещенко А.В., Трифаненкова И.Г., Иванов А.М., Окунева М.В., Орлова Н.А.**

*ФГАУ «НМИЦ «МНТК “Микрохирургия глаза» им. акад. С.Н. Федорова”» Минздрава России, Калужский филиал, Калуга, e-mail: nauka@eye-kaluga.com*

Цель работы – провести сравнительный анализ технологических возможностей различных фемтосекундных лазерных установок и достигаемых функциональных результатов фемтоассистированной хирургии катаракты, проведенной с их использованием. В исследование были включены 79 пациентов (79 глаз) с возрастной катарактой в возрасте от 62 лет до 71 года. Все пациенты были разделены на две группы. В первую группу вошли 38 пациентов (38 глаз), которым была проведена фемтоассистированная факоэмульсификация катаракты (ФЭК) с имплантацией интраокулярной линзы (ИОЛ), при этом фемтосопровождение осуществлялось на мобильной универсальной лазерной системе FEMTO LDV Z8. Во вторую группу был включен 41 пациент (41 глаз), которым выполняли аналогичное оперативное вмешательство на стационарной фемтолазерной системе для катарактальной хирургии CATALYS Precision Laser System. Использование фемтолазерного сопровождения ФЭК в первой и во второй группах позволило полноценно выполнить этапы капсулотомии и фрагментации ядра хрусталика в подавляющем большинстве случаев, что обеспечило отсутствие осложнений в раннем послеоперационном периоде, быструю зрительную реабилитацию пациентов, максимально щадящее отношение к эндотелию роговицы по данным эндотелиальной микроскопии. Острота зрения уже на первые сутки после операции в обеих группах была высокой, достоверные различия между группами не определялись. В данной работе был проведен сравнительный анализ технологических возможностей процедуры фемтосопровождения факоэмульсификации катаракты на различных фемтолазерных системах. Полученные результаты свидетельствуют об эффективности и безопасности ФЭК с фемтосекундным лазерным сопровождением на установках Femto LDV Z8 и Catalys в хирургическом лечении возрастной катаракты. Полученные результаты сравнительного анализа работы на фемтолазерных системах LDV Z8 и Catalys подтверждают эффективность использования данных лазерных систем в хирургии катаракты.

Ключевые слова: ультразвуковая факоэмульсификация катаракты, фемтосекундное лазерное сопровождение.

## **FEMTO SUPPORT OF CATARACT PHACOEMULSIFICATION ON VARIOUS FEMTO LASER DEVICES**

**Tereshchenko A.V., Trifanenkova I.G., Ivanov A.M., Okuneva M.V., Orlova N.A.**

*The S. Fyodorov Eye Microsurgery Federal State Institution, the Kaluga Branch, Kaluga, e-mail: nauka@eye-kaluga.com*

Purpose – to carry out a comparative analysis of the technological capabilities of various femtosecond laser units and the achieved functional results of femtoassisted cataract surgery performed using them. The study included 79 patients (79 eyes) with age-related cataracts. Patients were from 62 to 71 years old. All patients were divided into two groups. The first group included 38 patients (38 eyes) who underwent cataract phacoemulsification with implantation of an intraocular lens (IOL) with femtosecond support using a FEMTO LDV Z8 femtosecond laser. The second group included 41 patients (41 eyes) who underwent a similar surgery using a CATALYS Precision Laser System. The use of femtolaser support for cataract phacoemulsification in the first and second groups made it possible to fully perform the stages of capsulotomy and fragmentation of the lens nucleus in the vast majority of cases, which ensured the absence of complications in the early postoperative period, rapid visual rehabilitation of patients, the most sparing attitude to the corneal endothelium, according to endothelial microscopy. Visual acuity was high already on the first day after surgery in both groups, significant differences between the groups were not determined. In this paper, a comparative analysis of the technological capabilities of the femto-phacoemulsification procedure for cataracts on various femtolaser systems was carried out. The results obtained indicate the effectiveness and safety of femtosecond laser-assisted FEC on Femto LDV Z8 and Catalys installations in the surgical treatment of age-related cataracts. The results of a comparative analysis of work on the LDV Z8 and Catalys femtolaser systems confirm the effectiveness of using these laser systems in cataract surgery.

Keywords: ultrasound phacoemulsification of cataracts, femtosecond laser assistance.

Ультразвуковая факоемульсификация катаракты (ФЭК) в настоящий момент является безусловным стандартом лечения данной патологии и в большинстве случаев выполняется в режиме амбулаторной хирургии [1, 2].

Внедрение технологии фемтоассистирования в процесс хирургического лечения возрастной катаракты привело к автоматизации таких ответственных этапов оперативного вмешательства, как выполнение парацентезов, основного тоннельного разреза, переднего капсулорексиса, фрагментация ядра катарактального хрусталика. Помимо этого, благодаря фемтосопровождению снижается ультразвуковая энергетическая нагрузка в ходе ФЭК и уменьшается продолжительность операции [3].

На сегодняшний день в арсенале офтальмохирургов имеются фемтолазерные платформы нескольких производителей. Данные системы подразделяются на специализированные, предназначенные только для хирургии катаракты (Catalys, LensAR, LenSx), и комбинированные, позволяющие выполнять, помимо сопровождения катарактальной хирургии, рефракционные вмешательства, кератопластику, формирование туннелей для имплантации интрастромальных роговичных сегментов (Victus, Femto LDV Z8) [4, 5].

Фемтолазерная установка FEMTO LDV Z8 (Ziemer, Швейцария) обеспечивает самую низкую продолжительность импульса (200–500 фс), что позволяет получить высокое качество резов при меньшей затрате лазерной энергии в сравнении с аналогами, разработанными и представленными другими фирмами-производителями [6, 7, 8].

Лазерная система CATALYS Precision (OptiMedica, США) является комплексной лазерной платформой, использующей сверхкороткие ( $t \sim 10$ ) импульсы инфракрасного лазера. Она оснащена мягким жидкостным интерфейсом оптики (Liquid optics interface) и интегрированной трехмерной полнообъемной оптической когерентной томографией (ОКТ) для выполнения прецизионных лазерных резов в хрусталике и роговице [9, 10]. Кроме того, система Catalys оснащена интегральной системой наведения (Integral Guidance System) [10, 11].

На сегодняшний день в отечественной и зарубежной литературе не удается найти достаточного объема информации по сравнительному анализу технологических возможностей процедуры фемтосопровождения факоемульсификации катаракты на различных фемтолазерных установках.

Цель работы – провести сравнительный анализ технологических возможностей различных фемтосекундных лазерных установок и достигаемых функциональных результатов фемтоассистированной хирургии катаракты, проведенной с их использованием.

#### **Материалы и методы исследования**

В исследование были включены 79 пациентов (79 глаз) с возрастной катарактой. Возраст пациентов составлял от 62 лет до 71 года.

До хирургического лечения всем пациентам проводили комплексное офтальмологическое обследование, включавшее стандартный набор инструментальных методов: визометрию, рефрактометрию, кератометрию, биомикроскопию, офтальмоскопию, пневмотонометрию, ультразвуковое В-сканирование.

Оптическую биометрию выполняли на приборе IOL-Master 700. В случаях непрозрачности оптических сред длину переднезаднего отрезка глаза определяли посредством ультразвукового А-скана. Для правильного расчета оптической силы ИОЛ использовали расчетные формулы 3-го и 4-го поколения (Barrett, Haggis, Holladay II, Olsen).

Все пациенты были разделены на две группы. В первую группу вошли 38 пациентов (38 глаз), которым была проведена фемтоассистированная факоэмульсификация катаракты (ФЭК) с имплантацией интраокулярной линзы (ИОЛ), при этом фемтосопровождение осуществлялось на мобильной универсальной лазерной системе FEMTO LDV Z8. Во вторую группу был включен 41 пациент (41 глаз), которым выполняли аналогичное оперативное вмешательство на стационарной фемтолазерной системе для катарактальной хирургии CATALYS Precision Laser System.

Технические характеристики фемтолазеров представлены в таблице 1.

Таблица 1

Технические характеристики фемтолазеров Femto LDV Z8 и Catalys

<b>Характеристики</b>	<b>Ziemer FEMTO LDV Z8</b>	<b>CATALYS Precision Laser System</b>
Длина волны	1040нм	1030±5 нм
Продолжительность импульса	200–300 фс	< 600 фс
Частота импульса	0,1–10 МГц	120 кГц ± 5
Энергия в одном импульсе	25 нДж – 2,5 мДж	1–10 мкДж

Факоэмульсификацию катаракты выполняли на аппарате «Centurion» (Alcon, США).

Для осуществления фемтолазерного сопровождения на LDV Z8 величину диаметра передней капсулотомии выбирали в зависимости от исходного диаметра зрачка на оптимально безопасном расстоянии от его края – 0,2–0,3 мм. Энергия фемтолазерного воздействия на этапе переднего капсулорексиса для всех пациентов была одинаковой и составляла 85%. Фемтофрагментацию ядра катарактального хрусталика во всех случаях выполняли по четырем меридианам на 8 равных частей. В четком соответствии с высотой ядра хрусталика определяли высоту фемтолазерных фрагментирующих резов, что исключало энергетическое воздействие на кортикальные слои, менее плотные по своей структуре. Оптимальные параметры энергии

фемтолазера для выполнения этапа факофрагментации выбирали в зависимости от исходной плотности ядра хрусталика в каждом конкретном случае – от 105% до 135%. Общее время работы фемтолазера составляло 120–150 с в зависимости от плотности катаракты.

Для выполнения фемтолазерного этапа на CATALYS энергетические параметры передней капсулотомии для всех пациентов были идентичны – 0,2 Дж. Ядро катарактального хрусталика посредством фемтосекундного лазера фрагментировали в трех меридианах на 6 равных секторов с дополнительной фрагментацией хрусталика в виде сетчатой структуры для эффективной последующей ультразвуковой факоэмульсификации, дистанция между линиями сетки составляла 350 мкм. На этапе факофрагментации передняя капсула хрусталика находилась строго вне зоны фемтолазерных резов – на расстоянии 500 микрон. Высота резов соответствовала высоте ядра хрусталика, которая определялась при помощи интегрированной системы INTEGRAL GUIDANCE System. Это делало невозможным фемтолазерное воздействие на менее плотные кортикальные слои, а также исключало избыточное образование вакуолей. Энергия фемтолазера на этапе фрагментации ядра хрусталика варьировала от 2,5 до 4,2 Дж. Число повторений сегментации составляло от 2 до 4 в зависимости от плотности ядра. Общее время работы фемтолазера занимало от 35 до 50 с и также зависело от плотности катаракты.

### **Результаты исследования и их обсуждение**

Интраоперационно была проведена оценка удобства использования фемтолазерных установок. LDV Z8 – мобильный лазер, установку можно свободно перемещать к нужному этапу в операционной, экономя тем самым время на перемещение пациента с одного операционного стола на другой. Однако при работе на фемтолазере LDV Z8 хирургу приходится держать рукоятку лазера в статичном состоянии в течение всего фемтоэтапа, что доставляет определенное неудобство.

В свою очередь, Catalys – стационарный лазер, занимает большее пространство в операционной, что является проблемой для операционных залов с небольшой площадью, а также требует дополнительного перемещения пациента с фемтолазерного этапа на катарактальный. В то же время одним из преимуществ Catalys является online-режим интраоперационного ОКТ. Кроме того, продолжительность ОКТ и общее время работы этого фемтолазера меньше на 30–40 с в сравнении с LDV Z8 (табл. 2).

Таблица 2

Сравнительные характеристики использования фемтолазерных установок

<b>Характеристики</b>	<b>Ziemer FEMTO LDV Z8</b>	<b>CATALYS Precision Laser System</b>
Мобильность	Да	Нет (стационарный)
Общее время, с	65–90	35–50

Центрированный «докинг»	В 90% случаев	В 90% случаев
Этапы ОКТ	Полуавтомат	Автомат
Длительность ОКТ, с	15	9

На этапе выполнения капсулорексиса при использовании системы Femto LDV Z8 мануальное завершение капсулорексиса при помощи пинцета потребовалось в 8% случаев, при использовании системы Catalys – в 4% случаев (табл. 3).

Таблица 3

Результаты фемтолазерного сопровождения на этапе капсулорексиса

Группа	1-я группа (Ziemer FEMTO LDV Z8)	2-я группа (CATALYS Precision Laser System)
Размеры, мм	4,8–5,0	4,8–5,0
Форма	Округлая	Округлая
Центрация	Да	Да
Наличие мостиков	8% случаев	4% случаев

Наличие мостиков, препятствующих свободному выделению высеченного лазером диска передней капсулы, отмечалось только у пациентов с перезрелыми катарактами, при наличии фиброза передней капсулы или выхода лизированных кортикальных масс.

На этапе факофрагментации в первой группе в большинстве случаев была достигнута полная фрагментация ядра хрусталика. Но в 6 глазах (15,78%) с ядрами высокой степени плотности фрагментация была частичной.

Во второй группе в большинстве случаев также была получена полная фрагментация ядра. Однако, как и в первой группе, при более плотных ядрах полноценной фрагментации достичь не удалось, в 4 глазах (9,3%) она была частичной.

Интраоперационных осложнений у пациентов в обеих группах не наблюдалось.

Оценка динамики изменения плотности эндотелиальных клеток (кл/мм) в различные сроки после хирургии показала, что между двумя рассматриваемыми группами (LDV Z8 и Catalys) статистически значимая разница отсутствует ( $p>0,05$ ), а потеря эндотелиальных клеток составляет не более 4% в сравнении с дооперационными показателями (табл. 4).

Таблица 4

Динамика изменения плотности эндотелиальных клеток (кл/мм) в различные сроки

	1-я группа (Ziemer FEMTO LDV Z8)	2-я группа (CATALYS Precision Laser System)
До операции	2456±163	2450±172
1-е сутки п/о	2397±173	2395±109
1 месяц п/о	2381±173	2385±109
3 месяца п/о	2380±180	2381±155
6 месяцев п/о	2385±165	2380±132

<b>12 месяцев п/о</b>	2388±170	2387±142
-----------------------	----------	----------

При оценке гидродинамических показателей отмечены их реактивное повышение в первые сутки после операции ( $p < 0,05$ ) и стабилизация в последующие сроки наблюдения в обеих группах ( $p > 0,05$ ) (табл. 5).

Таблица 5

Динамика изменения внутриглазного давления (мм рт. ст.) в различные сроки

	<b>1-я группа (Ziemer FEMTO LDV Z8)</b>	<b>2-я группа (CATALYS Precision Laser System)</b>
<b>До операции</b>	18±3	17±4
<b>1-е сутки п/о</b>	22±4	23±5
<b>1 месяц п/о</b>	20±3	19±3
<b>3 месяца п/о</b>	20±3	19±2
<b>6 месяцев п/о</b>	20±3	19±3
<b>12 месяцев п/о</b>	20±3	19±2

По данным визометрии, в обеих группах отмечено статистически значимое увеличение некорректируемой остроты зрения (НКОЗ) и максимально скорректированной остроты зрения (МКОЗ) после операции по сравнению с дооперационными значениями ( $p < 0,000$ ) (табл. 6).

Таблица 6

Динамика НКОЗ и МКОЗ в различные сроки после ФЭК с фемтосопровождением

	<b>1-я группа (Ziemer FEMTO LDV Z8)</b>		<b>2-я группа (CATALYS Precision Laser System)</b>	
	НКОЗ	МКОЗ	НКОЗ	МКОЗ
<b>До операции</b>	0,25±0,05	0,25±0,05	0,25±0,07	0,25±0,05
<b>1-е сутки п/о</b>	0,40±0,07	0,65±0,12	0,40±0,05	0,65±0,12
<b>1 месяц п/о</b>	0,60±0,05	0,75±0,05	0,60±0,05	0,75±0,05
<b>3 месяца п/о</b>	0,70±0,07	0,80±0,05	0,70±0,05	0,80±0,05
<b>6 месяцев п/о</b>	0,75±0,05	0,80±0,12	0,75±0,07	0,80±0,12
<b>12 месяцев п/о</b>	0,75±0,05	0,80±0,10	0,75±0,05	0,80±0,10

Сравнение данных НКОЗ и МКОЗ, полученных в различные сроки после операции, показало, что между двумя рассматриваемыми группами статистически достоверных различий нет ( $p > 0,05$ ).

Фемтосекундное лазерное сопровождение хирургии катаракты открывает новые возможности совершенствования технологии ФЭК [3, 12, 13].

В данной работе был проведен сравнительный анализ технологических возможностей процедуры фемтосопровождения факэмульсификации катаракты на различных фемтолазерных системах. Полученные результаты свидетельствуют об эффективности и

безопасности ФЭК с фемтосекундным лазерным сопровождением на установках Femto LDV Z8 и Catalys в хирургическом лечении возрастной катаракты.

Установка Femto LDV Z8 отличается расположением источника лазерного излучения в непосредственной близости от роговой оболочки глаза (10 мм). Это дает возможность осуществлять фемтолазерное воздействие с меньшими энергетическими параметрами при проведении лазерных резов. Также хочется отметить, что данная фемтолазерная система универсальна, она может использоваться в хирургии катаракты, в рефракционной хирургии и хирургии роговицы.

Достоинствами системы Catalys являются: онлайн-визуализация фемтосопровождения, оптимальный режим фрагментации ядра, минимальная частота импульса (120 кГц), минимальная энергия импульса (1–10 мкДж) и, соответственно, минимальное время работы лазера.

Кроме того, система Catalys оснащена интегральной системой наведения (Integral Guidance System). Алгоритмы данной системы размечают переднюю и заднюю поверхности роговицы и хрусталика, позволяя определить точную локализацию лазерного воздействия на хрусталик, а также безопасной «безлазерной» зоны, необходимой для защиты радужной оболочки и задней капсулы.

Энергию лазерного импульса хирург может изменять в соответствии с плотностью и толщиной хрусталика. В передних слоях хрусталика энергия одного импульса составляет в среднем 8 мкДж (диапазон 1–10 мкДж), а энергия импульса в задних слоях хрусталика – 10 мкДж (диапазон 1–10 мкДж). Кроме того, фемтолазер Catalys позволяет производить фрагментацию ядра хрусталика как сегментарно, так и образуя микрофрагменты, геометрическая форма которых напоминает параллелепипед, между сегментами за счет фрагментации сетчатым паттерном, необходимой для эффективной и полноценной фрагментации хрусталиков высокой плотности (в 1,5 раза чаще по сравнению с LDV Z8) с наименьшей затратой лазерной энергии и общего времени работы фемтолазера (на 30–40 с по сравнению с LDV Z8). Помимо этого, хирург может выбирать необходимое число повторений фрагментации ядра хрусталика фемтолазером по определенным паттернам сегментации и сетки, которое обуславливается плотностью и толщиной хрусталика.

Использование фемтолазерного сопровождения катарактальной хирургии в первой и во второй группах позволило полноценно выполнить этапы капсулотомии и фрагментации ядра хрусталика в подавляющем большинстве случаев. Это содействовало тому, что ранний послеоперационный период протекал без осложнений, пациенты в кратчайшие сроки получили высокую остроту зрения, показатели плотности эндотелиальных клеток лишь в минимальной степени отличались от предоперационных, их потеря была не более 4%. Острота

зрения уже на первые сутки после операции в обеих группах была высокой, достоверные различия между группами не определялись.

**Заключение.** Полученные результаты сравнительного анализа работы на фемтолазерных системах LDV Z8 и Catalys подтверждают эффективность использования данных лазерных систем в хирургии катаракты.

Фемтолазерная система Catalys позволяет хирургу выбирать модификацию паттернов фрагментации, изменять энергию импульса для фрагментации ядра хрусталика, число повторений выбранных линий сегментации, расстояние между линиями сетчатой структуры с учетом плотности и толщины хрусталика для эффективной и полноценной фрагментации плотных катарактальных хрусталиков (в 1,5 раза чаще в сравнении с LDV Z8) с наименьшей затратой общего времени работы фемтолазера (на 30–40 с в сравнении с LDV Z8).

Femto LDV Z8 – более мобильная и компактная фемтолазерная установка, благодаря чему отсутствует необходимость перемещения пациента между хирургическими этапами, а также есть возможность оснащать этим лазером операционные малой площади. Кроме того, данная фемтолазерная система отличается универсальностью, она может использоваться в сопровождении хирургии катаракты и имеет широкие возможности в хирургии роговицы и рефракционной хирургии.

Таким образом, полученные результаты сравнительного анализа работы на фемтолазерных системах LDV Z8 и Catalys подтверждают эффективность использования данных лазерных систем в хирургии катаракты. Активное применение данных фемтолазерных систем в клинической практике при основе на преимуществах фемтолазерных систем в конкретных клинических ситуациях позволяет получить высокие функциональные результаты данной хирургии с минимальным риском осложнений и сократить сроки реабилитации пациентов.

### **Список литературы**

1. Хирургия катаракты / Под ред. Ларри Бенджамина; пер. с англ.; под науч. ред. Аветисова С.Э., Еричева В.П. М.: Логосфера, 2016. 200 с.
2. Chan E., Mahroo O.A., Spalton D.J. Complications of cataract surgery. Clin Exp Optom. 2010. vol. 93. P. 379-389. DOI: 10.1111/j.1444-0938.2010.00516.x
3. Hatch K.M., Schultz T., Talamo J.H., Dick H.B. Femtosecond laser-assisted compared with standard cataract surgery for removal of advanced cataracts. J. Cataract Refract Surg. 2015. vol. 41. P. 1833–1838. DOI: 10.1016/j.jcrs.2015.10.040

4. Пожарицкий М.Д., Трубилин В.Н., Овечкин И.Г., Трубилин А.В., Юдин В.Е. Современные аспекты применения фемтолазерных систем в офтальмологии // Современная оптометрия. 2014. №10. С.30-33.
5. Conrad-Hengerer I., Hengerer F.H., Joachim S.C., Schultz T., Dick H.B. Femtosecond laser-assisted cataract surgery in intumescent white cataracts. J Cataract Refract Surg. 2014. vol. 40. no. 1. P. 44-50. DOI: 10.1016/j.jcrs.2013.08.044.
6. Терещенко А.В., Романенко С.Я., 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 (98). С. 145-148.
7. 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. 8. no. 1. P. 201-203. DOI: 10.3980/j.issn.2222-3959.2015.01.34
8. Бикбов М.М., Бурханов Ю.К., Усубов Э.Л. Фемтолазерассистированная хирургия катаракты // Медицинский вестник Башкортостана. 2014. №9(6). С. 116-119.
9. Abell R.G., Kerr N.M., Vote B.J. Femtosecond laser-assisted cataract surgery compared to conventional cataract surgery. Clin. Ex. Ophthalmol. 2013. vol. 41. no. 5. P. 455-462. DOI: 10.1111/ceo.12025.
10. Conrad-Hengerer I., Hengerer F.H., Schultz T., Dick H.B. Effect of fs laser fragmentation on EPT in cataract surgery. J. Refract. Surg. 2012. vol. 28. no. 12. P. 879-883. DOI: 10.3928/1081597X-20121116-02.
11. Conrad-Hengerer I., Hengerer F.H., Schultz T. Dick H.B. Effect of fs laser fragmentation of the nucleus with different softening grid sizes on effective phaco time in cataract surgery. J. Refract. Surg. 2012. vol. 38. no. 11. P. 1888- 1894. DOI: 10.1016/j.jcrs.2012.07.023.
12. Анисимова Н., Поляков К.М. Топография блока «капсульный мешок - ИОЛ» после фактоэмульсификации с фемтолазерной поддержкой по данным УЗИ // Актуальные проблемы офтальмологии: сборник научных трудов VIII Всероссийская научная конференция молодых ученых с международным участием. М., 2013. с. 28-29.
13. Тепловодская В.В., Морица Н.А., Хусанбаев Х.Ш. Фактоэмульсификация катаракты с фемтолазерным сопровождением в сложных клинических ситуациях. Клинический случай. М: Современные технологии в офтальмологии: Сб. научных статей, 2018. С. 142-144.