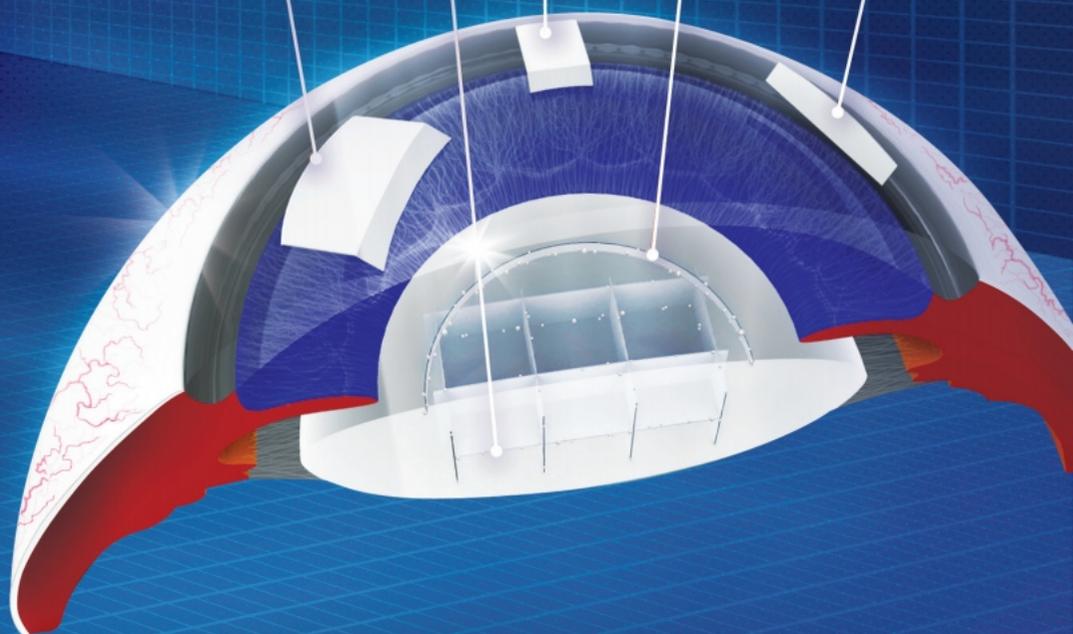


# FEMTOSECOND CATARACT SURGERY

## A PRIMER



Редакторы

Луи Э. Пробст

Клара С. Чан

СЛАК Инкорпорейтед

# **FEMTOSECOND CATARACT SURGERY**

A PRIMER



# FEMTOSECOND CATARACT SURGERY

## A PRIMER

*Луи Э. Пробст, доктор медицины*

Главный лазерный хирург в Чикаго и Мэдисоне  
и старший медицинский консультант TLC,  
Центры лазерной коррекции зрения,  
Вестчестер, Иллинойс

Доцент-волонтер, кафедра офтальмологии Университета  
Висконсина, Мэдисон, Висконсин

*Клара С. Чан, доктор медицинских наук, FRCSC*

Больница Св. Михаила и Западная больница Торонто  
Отделение офтальмологии и зрительных наук  
Университет Торонто Торонто, Канада

**SLACK**  
INCORPORATED

ISBN: 978-1-61711-049-8.

Авторские права © SLACK Incorporated, 2012.

Все права защищены. Никакая часть этой книги не может быть воспроизведена, сохранена в поисковой системе или передана в любой форме и любыми средствами, электронными, механическими, фотокопированием, записью или иным образом, без письменного разрешения издателя, за исключением кратких цитат, включенных в текст, в критических статьях и обзорах.

Процедуры и практика, описанные в этой публикации, должны применяться в соответствии с профессиональными стандартами, установленными для обстоятельств, применимых в каждой конкретной ситуации. Были предприняты все усилия, чтобы подтвердить точность представленной информации и правильно соотнести общепринятые практики. Авторы, редакторы и издатель не могут нести ответственность за ошибки или исключения, а также за результаты представленных здесь материалов. На эту книгу или информацию, содержащуюся в ней, не дается никаких явных или подразумеваемых гарантий. Были приняты меры для обеспечения того, чтобы выбор лекарств и дозировки соответствовали принятой/рекомендуемой в настоящее время практике. Может обсуждаться использование лекарств не по назначению. В связи с продолжающимися исследованиями, изменениями в государственной политике и правилах, а также различными последствиями реакций и взаимодействий лекарственных средств читателю рекомендуется внимательно просматривать все материалы и литературу, предоставленные по каждому препарату, особенно те, которые являются новыми или используются нечасто. Некоторые лекарства или устройства, упомянутые в этой публикации, имеют разрешение на использование в ограниченных исследовательских условиях Управлением по контролю за качеством пищевых продуктов и медикаментов или FDA. Каждый профессионал должен определить статус FDA любого препарата или устройства перед использованием в своей практике. Любой обзор или упоминание конкретных компаний или продуктов не является одобрением со стороны автора или издателя.

SLACK Incorporated использует процесс проверки для оценки представленных материалов. Перед публикацией преподаватели или врачи предоставляют важные отзывы о публикуемом нами контенте. Мы приветствуем отзывы о данной работе.

Издатель: SLACK Incorporated, 6900  
Grove Road.

Торофэр, Нью-Джерси 08086  
США Телефон: 856-848-1000  
Факс: 856-848-6091  
www.slackbooks.com

Свяжитесь с SLACK Incorporated для получения дополнительной информации о других книгах в этой области или о доступности наших книг у дистрибьюторов за пределами США.

Фемтосекундная хирургия катаракты: учебник для начинающих / [под редакцией] Луи Э. Пробста, Клары К. Чен.  
п. ; см.

Включает библиографические ссылки и указатель.

ISBN 978-1-61711-049-8 (алк. статья) И.

Пробст, Луи Э. П. Чан, Клара С..

[DNLM: 1. Экстракция катаракты. 2. Лазерная терапия. WW 260]  
617.7'42059--dc23

2012009177

Для получения разрешения на перепечатку материала в другой публикации свяжитесь со SLACK Incorporated. Разрешение на фотокопирование материалов для внутреннего, личного или академического использования предоставляется SLACK Incorporated при условии, что соответствующая плата уплачивается непосредственно в Центр проверки авторских прав. Прежде чем приступить к фотокопированию, обратитесь в Центр проверки авторских прав по адресу: 222 Rosewood Drive, Danvers, MA 01923 USA; телефон: 978-750-8400; веб-сайт: www.copyright.com; электронная почта: info@copyright.com

## СОДЕРЖАНИЕ

<i>О редакции</i> .....	vii
<i>Соавторы</i> .....	ix
<i>Предисловие</i> .....	xiii

Глава 1	<b>Введение</b> .....	1
	<i>Луи Э. Пробст, доктор медицинских наук, и Клара К. Чан, доктор медицинских наук, FRCSC</i>	

## РАЗДЕЛ I ФЕМТОСЕКУНДНАЯ ЛАЗЕРНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ДЛЯ ХИРУРГИИ КАТАРАКТЫ.....5

Глава 2	<b>Лазерная система LensAR</b> .....	7
	<i>Харви Сий Уй, доктор медицинских наук и Уильям Трэттлер, доктор медицинских наук</i>	

Глава 3	<b>Лазерная система LenSx</b> .....	21
	<i>Эрик Вайнберг; Тереза Игнасио, доктор медицины; Мелвин А. Сарайба, доктор медицинских наук; и Золтан Надь, доктор медицинских наук, доктор философии</i>	

Глава 4	<b>Прецизионная лазерная система Catalys</b> .....	37
	<i>Уильям Калбертсон, доктор медицины; Дуглас Д. Кох, доктор медицины; Барри Сейбел, доктор медицины; Роджер Штайнерт, доктор медицины; Джонатан Х. Таламо, доктор медицинских наук; и Джон Вукич, доктор медицинских наук</i>	

Глава 5	<b>Фемтосекундная лазерная платформа VICTUS</b> .....	47
	<i>Фридер Лезель, доктор философии; Касу Прасад Редди, MB, DO, MRCOphth; и Герд У. Ауффарт, доктор медицинских наук, FEBO</i>	

## РАЗДЕЛ II КЛИНИЧЕСКИЙ ОПЫТ ФЕМТОСЕКУНДНОЙ ЛАЗЕРНОЙ ХИРУРГИИ КАТАРАКТЫ.....59

Глава 6	<b>Лазерная система LensAR: клинический опыт</b> .....	61
	<i>Харви Сий Уй, доктор медицинских наук и Уильям Трэттлер, доктор медицинских наук</i>	

Глава 7	<b>Лазерная система LenSx: клинический опыт</b> .....	73
	<i>Вэнс Томпсон, доктор медицины</i>	

Глава 8	<b>Прецизионная лазерная система Catalys: клинический опыт</b> .....	85
	<i>Уильям Калбертсон, доктор медицины; Дуглас Д. Кох, доктор медицины; Барри Сейбел, доктор медицины; Роджер Штайнерт, доктор медицины; Джонатан Х. Таламо, доктор медицинских наук; и Джон Вукич, доктор медицинских наук</i>	

Глава 9	<b>Фемтосекундная лазерная платформа VICTUS: клинический опыт</b> .....	95
	<i>Герд У. Ауффарт, доктор медицинских наук, доктор философии, FEBO и Касу Прасад Редди, MB, DO, MRCOphth</i>	

## РАЗДЕЛ III БУДУЩЕЕ ФЕМТОСЕКУНДНОЙ ХИРУРГИИ ....105

Глава 10. Фемтосекундные лазеры для лечения пресбиопии.....	107	Джордж МакАрл, OD
---	-----	-------------------

<i>Приложение: Типы лазеров, используемых в офтальмологии</i> .....	117	<i>Раскрытие финансовой информации</i> .....	119
---	-----	--	-----



## О РЕДАКЦИИ

Луи Э. Пробст, доктор медицинских наук, является национальным медицинским директором TLC, The Laser Eye Centers, крупнейшего поставщика услуг лазерного зрения в Северной Америке. За последние 16 лет он выполнил более 100 000 процедур лазерного кератомилеза in situ (LASIK), отредактировал 6 справочных учебников по рефракционной хирургии и офтальмологии, написал более 80 глав книг и 50 рецензируемых публикаций по рефракционной хирургии, разработал 10 инструментов для офтальмохирургии, а также прочитал более 300 лекций на национальных и международных конференциях, посвященных различным инновациям, касающимся улучшения результатов лечения пациентов в рефракционной хирургии и офтальмологии.

Доктор Пробст работает главным хирургом в нескольких отделениях TLC в Иллинойсе, Висконсине, Южной Каролине и Флориде, а также является членом Клинической консультативной группы TLC, которая предоставляет рекомендации и консультации более чем 500 офтальмологам и 5000 оптометристам по всей стране. Доктор Пробст также выступает в качестве тренера и преподавателя для хирургов, заинтересованных в изучении новейших методов LASIK. Доктор Пробст обучает резидентов и научных сотрудников офтальмологии в качестве доцента-добровольца в Университете Висконсина.

Первое знакомство доктора Пробста с фемтосекундным лазером произошло в 2000 году, когда он посетил Рона Курца, доктора медицинских наук, в Центре сверхбыстрых оптических наук Мичиганского университета, чтобы увидеть прототип фемтосекундного лазера (IntraLase, позже приобретенного Abbott Medical Optics). Он приобрел свой первый фемтосекундный лазер в 2005 году, начал выполнять индивидуальные фемтосекундные LASIK исключительно в 2007 году и с тех пор выполнил более 20 000 процедур фемтосекундного LASIK с использованием 6 фемтосекундных лазеров. Доктор Пробст разработал специальные методы фемтосекундного LASIK, включая лоскутный/зап-LASIK, одноразовые инструменты для LASIK и овальные/эллипсоидные лоскуты для LASIK.

Клара К. Чан, доктор медицинских наук, FRCSC, является преподавателем Университета Торонто и помощником директора по преподаванию хирургии на кафедре офтальмологии и зрительных наук. Она работает в больнице Св. Михаила и в Западной больнице Торонто Университетской сети здравоохранения, где обучает резидентов и специалистов по роговице со всего мира. В лазерном центре Йонг Эглинтон она использует исключительно фемтосекундный лазер для индивидуальной рефракционной хирургии, лечения кератоконуса, включая Intacs, и хирургии роговицы.

Доктор Чан училась на бакалавриате в Стэнфордском университете в Калифорнии и получила медицинскую степень в Медицинской школе Королевского университета, расположенной в Кингстоне, Онтарио. Во время ординатуры по офтальмологии в Университете Торонто ее хирургический опыт был отмечен наградами за выдающиеся достижения в хирургии катаракты от больницы Маунт-Синай и Кенсингтонского глазного института. Она также была отмечена за выдающиеся клинические достижения Больницей Св. Михаила и Больницей для больных детей. Канадский институт слепых (CNIB) признал доктора Чан одним из пяти лучших резидентов офтальмологии в Канаде и наградил ее стипендией Е. А. Бейкера для продолжения постдокторской стажировки в Глазном институте Цинциннати.

Доктор Чан опубликовал более 35 статей и рефератов в офтальмологической литературе, а также читал курсы для офтальмологов на крупных национальных и международных конференциях. Она также активно сотрудничает с Канадским офтальмологическим обществом, Американским обществом катарактальной и рефракционной хирургии (ASCRS) и входит в редакционную коллегию EyeWorld.



## АВТОРЫ

Герд У. Ауффарт, доктор медицинских наук, FEBO  
(главы 5 и 9), профессор офтальмологии и заведующий  
кафедрой офтальмологии Гейдельбергского  
университета, Гейдельберг, Германия

*Уильям Калбертсон, доктор медицинских  
наук (главы 4 и 8), профессор офтальмологии*  
Заслуженный заведующий кафедрой офтальмологии имени  
Лу Хиггинса Институт глаз Баскома Палмера Медицинский  
факультет Миллера Университет Майами Майами,  
Флорида

*Тереза Игнасио, доктор медицинских наук (глава 3)*

Директор по клиническому развитию и образованию  
Alcon LenSx Inc.  
Алисо Вьехо, Калифорния

*Дуглас Д. Кох, доктор медицинских наук  
(главы 4 и 8), профессор офтальмологии*  
Кафедра Аллена, Мосбахера и права офтальмологии  
Института глаз Каллена  
Медицинский колледж  
Бэйлора, Хьюстон, Техас

Фридер Лезель, доктор  
философии (глава 5), генеральный  
директор 20/10 Perfect Vision  
Heidelberg, Германия

Джордж МакАрдл, OD (Глава 10),  
главный исполнительный директор  
Lentical Research Group,  
Нейпервилл, Иллинойс

Золтан Надь, доктор медицинских  
наук (глава 3), профессор  
офтальмологии Университета  
Земмельвайса, Будапешт, Венгрия

*Касу Прасад Редди, MB, DO, MRCOphth (главы 5 и 9),  
председатель и управляющий директор глазной больницы  
Maxivision, Хайдарабад, Индия*

Мелвин А. Сарайба, доктор медицинских наук (глава 3), директор по клиническим исследованиям Alcon LenSx Inc.

Алисо Вьехо, Калифорния

*Барри Сейбел, доктор медицинских наук (главы 4 и 8)*

Клинический доцент кафедры офтальмологии  
Глазного института Жюля Штейна  
Медицинский факультет Дэвида Геффена,  
Калифорнийский университет,  
Лос-Анджелес, Лос-Анджелес, Калифорния

*Роджер Штайнерт, доктор медицинских наук (главы 4 и 8)*

Директор Института глаз Гэвина Герберта,  
профессор и заведующий кафедрой  
офтальмологии Калифорнийского университета  
Ирвин Ирвин, Калифорния

*Джонатан Х. Таламо, доктор медицинских наук (главы 4 и 8) Talamo Laser Eye Consultants, медицинский директор, Surgisite Boston*

Доцент клинического профессора офтальмологии  
Гарвардской медицинской школы, Бостон,  
Массачусетс

Вэнс Томпсон, доктор медицинских наук  
(глава 7), директор отделения  
рефракционной хирургии клиники Сэнфорд

Доцент кафедры офтальмологии  
Медицинской школы Сэнфорда,  
Университет Южной Дакоты,  
Вермиллион, Южная Дакота

*Уильям Трэтлер, доктор медицинских наук (главы 2 и 6), директор отделения роговицы*

Центр передового опыта в области  
ухода за глазами, Майами, Флорида

*Харви Сий Уй, доктор медицинских наук (главы 2 и 6), директор по исследованиям Азиатский глазной институт, Филиппины*

Клинический доцент кафедры офтальмологии  
Филиппинского университета Хосе Ризала  
Манила, Филиппины

*Джон Вукич, доктор медицинских наук  
(главы 4 и 8), хирургический директор*

Дэвис Дьюр Декан Центра рефракционной хирургии  
Ассистент клинического профессора офтальмологии  
Университета Висконсина Мэдисон, Висконсин

Эрик Вайнберг (Глава 3)  
Главный коммерческий  
директор LenSx Lasers Inc.  
Алисо Вьехо, Калифорния



## ПРЕДИСЛОВИЕ

В 1999 году я посетил Центр сверхбыстрой оптической науки Мичиганского университета, чтобы исследовать новый фемтосекундный лазер для лазерного кер-атомилеза *in situ* (LASIK), разработанный Ронном Курцем, доктором медицинских наук, и Тибором Юхасом, доктором философии. В огромной, захлавленной и тускло освещенной лабораторной лаборатории Рон продемонстрировал большую машину с оголенными проводами и трубками, которая создавала роговичный лоскут на роговице свиньи. После того, как к тому времени стало очень удобно использовать микрокератом в более чем 20 000 процедурах LASIK, лазер вызвал интерес, но не был полностью убедителен.

Согласятся ли пациенты оказаться под такой устрашающей машиной? Зачем затягивать процедуру создания лоскута на 2 минуты, если с помощью микрокератома это можно сделать за 10 секунд? Был ли этот лазер действительно лучше, чем микрокератом, когда лоскуты было труднее поднять, а воспаление было сильнее? Разве одного дорогого лазера (эксимерного лазера) для LASIK было недостаточно? Шесть лет спустя, в 2005 году, когда время создания лоскута с помощью фемтосекундного лазера 30 кГц сократилось до 30 секунд, уменьшилось воспаление и появились рекомендации моих коллег, я начал использовать первый из 5 фемтосекундных лазеров, которые я сейчас использую для LASIK. В 2007 году я решил прекратить использование микрокератома и перешел на 100% фемтосекундные лоскуты из-за улучшения результатов и повышения профиля безопасности.<sup>1–3</sup> По оценкам, в 2011 году почти 70% всех процедур LASIK в Соединенных Штатах выполнялись с фемтосекундным лазером.<sup>4</sup>

Подобные разработки в области применения фемтосекундного лазера в хирургии катаракты сейчас происходят. Поскольку первый фемтосекундный лазер для хирургии катаракты теперь коммерчески доступен, а вскоре последуют и несколько других, возникают те же вопросы о размере, эффективности, результативности и стоимости. Кроме того, операция по удалению катаракты, как правило, застрахована врачом, а не оплачиваемая из частных лиц плановая процедура, такая как LASIK, что усложняет финансовые механизмы и правила. Несмотря на эти препятствия и проблемы, будущее ясно: эта технология изменит хирургию катаракты, и этот процесс только начался.

*Луи Э. Пробст, доктор медицины*

## ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Ан Х., Ким Дж.К., Ким С.К. и др. Сравнение лазерных лоскутов кератомилеза *in situ*, созданных с помощью 3 фемтосекундных лазеров и микрокератома. *J Хирургия рефракции катаракты*. 2011;37:349–357.
2. Танна М, Шальхорн СК, Хеттингер К.А. Фемтосекундный лазер против механического микрокератома: ретроспективное сравнение результатов зрения через 3 месяца. *J Refract Surg*. 2009;25:S668–S671.
3. Саломео М.К., Амбросио Р.младший, Уилсон С.Е. Сухой глаз, связанный с лазерным кератомилезом *in situ*: механический микрокератом в сравнении с фемтосекундным лазером. *J Хирургия рефракции катаракты*. 2009;35:1756–1760.
4. Махдави С. Трехлетняя перспектива влияния технологии IntraLase на бизнес. Доступно по адресу: <http://sm2strategic.com/files/IntraLaseSurvey2005.pdf>. По состоянию на 11 января 2012 г.



# T

## Введение

*Луи Э. Пробст, доктор медицины  
и Клара С. Чан, доктор медицинских наук, FRCSC*

### ОПЕРАЦИЯ ПО УДАЛЕНИЮ КАТАРАКТЫ

Операция по удалению катаракты является одной из наиболее распространенных процедур. Ежегодно во всем мире выполняется более 15 миллионов процедур.<sup>1</sup> Современная катаракта операция по улучшению качества жизни пациента является одной из самых успешных операций во всей медицине. Ожидаемые сегодня результаты включают снижение травматизма из-за небольших разрезов, улучшение интраоперационной стабильности глаза и улучшенные оптические характеристики. возможности интраокулярных линз (ИОЛ).<sup>2,3</sup>

Хирурги-офтальмологи постоянно стремятся совершенствовать методы и инструменты, которые могут повысить безопасность и улучшить результаты лечения пациентов. Некоторые из нас наблюдали прогресс в хирургии катаракты от внутрикапсулярной экстракции катаракты к экстракапсулярной экстракции катаракты, а затем к факоэмульсификации. Появление фемтосекундного лазера для использования в хирургии катаракты знаменует собой еще один важный скачок в технологическом и хирургическом прогрессе в области офтальмологии.

### ФЕМТОСЕКОНДЛАЗЕРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Лазеры (усиление света за счет вынужденного излучения) используются во многих областях офтальмологии и различаются по конкретной длине волны.

длительность импульса, энергия импульса, характер импульса, частота повторения, размер пятна и влияние на ткани (см. Приложение). Хотя алюмоиттриевый гранат, легированный неодимом (Nd:YAG), и фемтосекундные лазеры имеют схожие длины волн, фемтосекундные лазеры наносят гораздо меньший вред окружающим тканям в виде тепла или ударных волн. из-за чрезвычайно короткой длительности каждого импульса.<sup>4,5</sup> Фемтосекунда – это одна ква-бурильная доля, или  $1 \times 10^{-15}$  секунды по сравнению с длительностью импульса в YAG-лазерах наносекунд ( $1 \times 10^{-9}$ ). Фемтосекундные лазеры для хирургии катаракты имеют длительность импульса в диапазоне от 400 до 800 фс. Кроме того, энергия импульса в фемтосекундной лазерной технологии измеряется в микроджоулях (мкДж), что намного меньше энергии, используемой при выполнении YAG-капсулотомии, где средняя настройка энергии импульса составляет от 1 до 3 мкДж. Максимальные настройки энергии импульса фемтосекундных лазеров для хирургии катаракты составляют от 10 до 15 мкДж.

Посредством процесса фоторазрушения фемтосекундный лазер может создавать точные разрезы и разделения тканей в капсуле хрусталика, хрусталике и роговице. Фоторазрушение возникает, когда резко сфокусированный импульс лазерного луча чрезвычайно короткой длительности (т.е. фемтосекунда) генерирует плазму.<sup>6</sup> Плазма расширяется с высокой скоростью, смещать окружающие ткани ударными волнами. По мере охлаждения плазмы образуется кавитационный пузырь, и несколько микрометров ткани фоторазрушаются в фокусе лазера без какого-либо выделения тепла или повреждения окружающих тканей.

Фоторазрушение при высокой энергии (например, 10 мкДж) на импульс создает более крупные пузырьки, так что каждый лазерный импульс может быть расположен дальше друг от друга (для лечения линз), тогда как фоторазрушение при низкой энергии (например, 2,5 мкДж) на импульс, которое создает меньший размер пузырьку требуется больше перекрывающихся импульсов для достижения любого рассечения ткани (при разрезах роговицы). Когда тысячи отдельных лазерных импульсов в секунду сканируются по определенной схеме в плоскости ткани, создавая множество кавитационных пузырьков, возникает большой хирургический эффект.

может произойти разрез или отделение ткани.<sup>7</sup>

Еще один фактор, который отличает фемтосекундное лазерное лечение роговицы от хрусталика. – числовая апертура (NA).<sup>7</sup> Это влияет на размер и размер лазерного пятна.

со стороны NA. Чем выше числовая апертура, тем меньше дисперсия лазерного луча (т.е. лазерный луч более сфокусирован); чем меньше энергии требуется для достижения того же эффекта, тем выше точность глубины лазерной обработки. Для лечения роговицы требуется высокая числовая апертура с относительно низкой энергией, а для лечения хрусталика требуется низкая числовая апертура с более высокой энергией.

Первоначальное применение фемтосекундных лазеров заключалось в создании лоскутов для лазерного кератомилеза in situ (LASIK). Новейшее устройство IntraLase (Abbott Laboratories Inc, Эбботт-Парк, Иллинойс) на частоте 150 кГц может создать лоскут LASIK примерно за 10 секунд. Чем выше частота повторения (кГц), тем меньше энергии требуется для того же эффекта и тем быстрее процедура. Фемтосекундные лазеры, предназначенные для хирургии катаракты, имеют частоту повторения до 160 кГц. Размер пятна и схема разделения пятен также могут быть меньше при более высокой частоте повторения, чтобы сохранить ту же эффективность обработки.

Подводя итог, можно сказать, что для того, чтобы фемтосекундный лазер мог выполнять лечение как роговицы, так и хрусталика, он должен иметь гибкость в длительности импульса, энергии импульса, форме импульса и частоте повторения.

## ФЕМТОСЕКОНДЛАЗЕР ДЛЯ ХИРУРГИИ КАТАРАКТЫ

Достижения в области интраокулярных линз (ИОЛ) и лазерной рефракционной хирургии на роговице способствовали слиянию катарактальной и рефракционной хирургии. Технология теперь позволяет хирургу по удалению катаракты предлагать пациенту множество вариантов: монофокальный, мультифокальный, торический,

торико-мультифокальные, или аккомодационные ИОЛ; интраоперационная aberрометрия для подтверждения выбора мощности ИОЛ и контроля астигматизма; и послеоперационное улучшение рефракции. Для населения, привыкшего к концепции лазерной коррекции зрения, достижение безочковой коррекции и высококачественного нескорректированного зрения станет целью для все большего числа пациентов.

Различные фемтосекундные лазерные платформы для хирургии катаракты, которые помогают выполнять разрезы роговицы, создавать астигматическую кератотомию, формировать переднюю капсулотомию, фрагментировать или размягчать хрусталик, находятся на различных стадиях процесса одобрения Управления по контролю за продуктами и лекарствами США (FDA). Целью первой половины этой книги является представление технических платформ и уникальных особенностей каждого из доступных аппаратов для фемтосекундной хирургии катаракты: LensAR (LensAR Inc, Винтер-Парк, Флорида), LenSx (Alcon LenSx Inc, Форт-Уэрт, Техас), Catalys (OptiMedica Corporation, Саннивейл, Калифорния) и VICTUS (Bausch + Lomb/Technolas Perfect Vision GmbH, Мюнхен, Германия).

Во второй половине этой книги хирурги, впервые принявшие подходы, предоставляют отчеты о своем клиническом опыте для каждой из платформ. В последних главах освещаются клинические и бизнес-соображения относительно фемтосекундного лазерного аппарата и операционной, которые помогут начинающему хирургу в процессе обучения при добавлении фемтосекундного лазера в их практику хирургии катаракты.

Наконец, почти все пациенты с катарактой страдают пресбиопией. В последней главе этой книги рассматриваются варианты коррекции пресбиопии, которые доступны в настоящее время или скоро станут доступны в ближайшем будущем.

Независимо от того, планирует ли офтальмолог включить фемтосекундный лазер в свою практику лечения катаракты и рефракции, он или она должны хорошо разбираться в вариантах, доступных для пациентов, которые ищут информацию по этому вопросу. Мы надеемся, что эта книга послужит заслуживающим внимания руководством по современным возможностям фемтосекундной хирургии катаракты.

#### ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Объем рынка. Ежегодный опрос катарактальных хирургов 2009 г. Сент-Луис, Миссури: Market Scope LLC; 2009.
2. Алио Дж., Родригес-Пратс Дж.Л., Галал А., Рамзи М. Результаты микроинцизионной хирургии катаракты по сравнению с коаксиальной факэмульсификацией. Офтальмология. 2005;112:1997–2003.
3. Алио Дж., Родригес-Пратс Дж.Л., Галал А. Достижения в области микроинцизионной хирургии катаракты с использованием интраокулярных линз. Курр Опин Офтальмол. 2006;17:80–93.
4. Сунг Х.К., Мальта Дж.Б. Фемтосекундные лазеры в офтальмологии. Am J Офтальмол. 2009;147:189–197.
5. Томалла М, Ауффарт Г.Ю., Билле Дж.Ф. Фемтосекундный лазер — принципы и применение в офтальмологии. Бремен, Германия: UNI-MED Verlag AG/International Medical Publishers; 2010.
6. Фогель А., Буш С., Юнгникель К., Бирнгрубер Р. Механизмы внутриглазного фоторазрушения пикосекундными и наносекундными лазерными импульсами. Лазерная хирургия Мед. 1994;15:32–43.
7. Реджани-Мелло Дж., Крюгер Р.Р. Сравнение имеющихся в продаже фемтосекундных лазеров в рефракционной хирургии. Эксперт преподобный Офтальмол. 2011;6:55–65.



Т  
раздел  
Я

фемтосекундный  
Лазерная технология  
хирургии катаракты





# Лазерная система LensAR

*Харви Сий Уй, доктор медицинских наук*

*и Уильям Трэтлер, доктор медицинских наук*

LensAR Inc (Уинтер-Парк, Флорида) была основана в 2004 году Рэнди Фреем. Первый патент компании, выданный в апреле 2010 года, был основан на научной работе Рэймонда И. Майерса, доктора медицинских наук, профессора клинической медицины Университета Миссури, Сент-Луис. Лазерная система LensAR, ультракороткоимпульсный фемтосекундный лазер с запатентованными технологиями окулярного измерения и лазерного сканирования, представляет собой систему, предназначенную для фоторазрушения хрусталика (рис. 2-1). Первоначально он был предназначен для неинвазивной коррекции пресбиопии с помощью линз. Позже параметры лазера были разработаны для обеспечения дополнительных функций передней капсулотомии и факофрагментации при хирургии катаракты, разрешение Управления по контролю за продуктами и лекарствами США (FDA) было получено в мае 2010 года и марте 2011 года соответственно. По сравнению с фемтосекундными лазерами, используемыми в рефракционной хирургии, лазерная система LensAR для хирургии катаракты имеет аналогичные длины волн инфракрасного лазера, большую энергию импульса и большую ширину импульса. Лабораторные и клинические исследования привели к оптимизации настроек длины волны, ширины импульса и энергии импульса для нескольких применений фемтосекундного лазера: передней капсулотомии, фрагментации хрусталика и разрезов роговицы. В этой главе будут обсуждаться технические характеристики лазерной системы LensAR, которые делают ее уникальной, а также соответствующие доклинические и клинические испытания, демонстрирующие эффект лазера.

Рисунок 2-1. Аппарат ЛенсАР.  
(Перепечатано с разрешения  
LensAR.)



Рисунок 2-2. Стыковочная головка и рычаг интерфейса пациента. Прозрачное промежуточное окно защелкивается на промежуточном рычаге, который соединяется с всасывающим кольцевым устройством. (Перепечатано с разрешения LensAR.)



## СИСТЕМА СТЫКОВКИ ПАЦИЕНТА И СОЕДИНЕНИЕ

Стыковочное устройство, соединяющее лазерную систему LensAR с пациентом, состоит из одноразовых и многоразовых элементов (Рисунок 2-2). Стыковочную головку и кронштейн интерфейса пациента можно использовать повторно после стерилизации в автоклаве. Всасывающее кольцо, интерфейсное окно (которое защелкивается на стыковочной головке) и небольшой мешок с физраствором являются предметами одноразового использования.

Интерфейс пациента включает в себя аспирационное кольцевое устройство низкого давления, которое обездвиживает глаз и заполняется сбалансированным солевым раствором. Всасывание и поток физиологического раствора контролируются с помощью ножной педали. После того как аспирационное кольцо наложено и заполнено физиологическим раствором, лазер стыкуется с интерфейсом с помощью стыковочной головки с сервоуправлением и рычага интерфейса пациента, который ограничивает величину давления, оказываемого на глаз. Похожий на

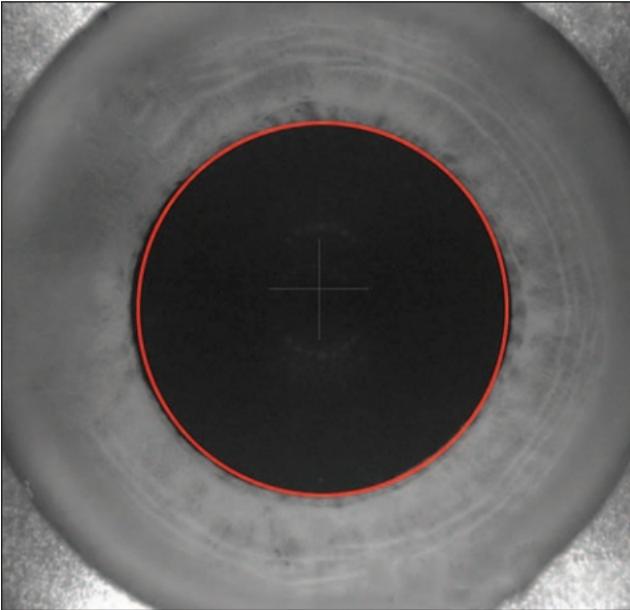


Рисунок 2-3. Автоматическое определение зрачков. (Перепечатано с разрешения LensAR.)

Принцип, используемый при иммерсионном ультразвуке, позволяет избежать образования стрий роговицы, которые могут вызвать искажение изображения. Таким образом, визуализация роговицы, передней камеры и более глубоких структур хрусталика достигается без каких-либо артефактов. После полной стыковки машина получает изображения через интерфейсный рычаг и автоматически калибрует систему, определяя ключевые ориентиры в окне интерфейса. После этого следует применение лазера.

### КОМПОНЕНТ ИЗОБРАЖЕНИЯ ЛЕНЗАР ЛАЗЕРНОЙ СИСТЕМЫ: 3-МЕРНОЕ КОНФОКАЛЬНОЕ СТРУКТУРНОЕ ОСВЕЩЕНИЕ

Лазерная система LensAR включает в себя запатентованную систему трехмерной визуализации и биометрии конфокального структурированного освещения (3D-CSI), которая включает в себя сканирующий лазер, который сканирует с различной скоростью различные структуры переднего сегмента. Повышенная глубина резкости глазных структур достигается за счет применения принципа Шаймпфлюга для захвата сфокусированного изображения от передней части роговицы до задней капсулы хрусталика в одном видеокадре без необходимости сшивания изображений. Это обеспечивает оптимальный контраст как для сильно отражающих поверхностей (например, роговицы), так и для менее отражающих поверхностей (например, задней капсулы хрусталика).

Программное обеспечение 3D-CSI минимизирует фоновый шум изображения и обеспечивает получение изображений высокой четкости и точное измерение линз при всех степенях ядерной плотности.

После завершения сканирования глаза системой визуализации изображение сначала обрабатывается для определения местоположения и измерения зрачка (рис. 2-3). Затем отображается необработанное изображение переднего сегмента, показывающее различные зоны освещения (см. Рисунок 2-4).

Переменные оттенки поступают от системы, автоматически изменяющей скорость сканирования и освещение для достижения высокого соотношения сигнал/шум, что позволяет идентифицировать все поверхности глаза и рассчитать автоматические биометрические измерения. Собранные данные включают передний и задний радиус кривизны роговицы, толщину роговицы, глубину передней камеры, передний и задний радиус кривизны линзы и толщину линзы.

Рисунок 2-4. Необработанное изображение переднего сегмента. (Перепечатано с разрешения LensAR.)

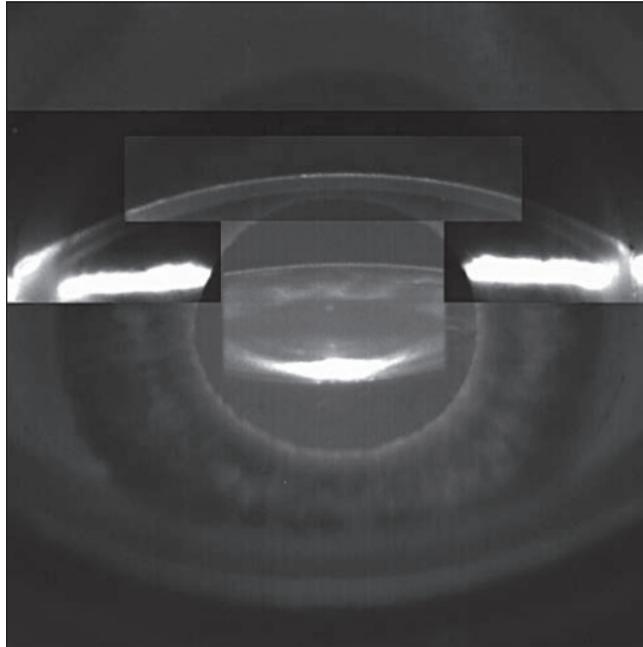
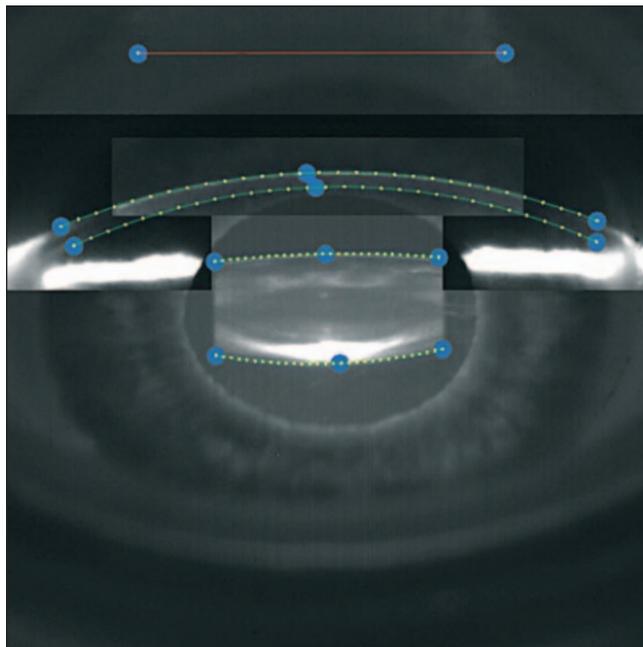


Рисунок 2-5. Обработанное изображение переднего сегмента, показывающее идентифицированные и отмеченные поверхности. (Перепечатано с разрешения LensAR.)



Затем программное обеспечение лазера идентифицирует ключевые интерфейсы, включая переднюю и заднюю поверхности роговицы, а также переднюю и заднюю капсулы, так что обработанное изображение переднего сегмента отображается с отмеченными пунктирными линиями роговицы и хрусталика (см. Рисунок 2-5). Хирург может изменить программный анализ измеренных поверхностей перед получением окончательного трехмерного реконструированного изображения переднего сегмента, что позволяет обеспечить контролируемые хирургом пределы безопасности.

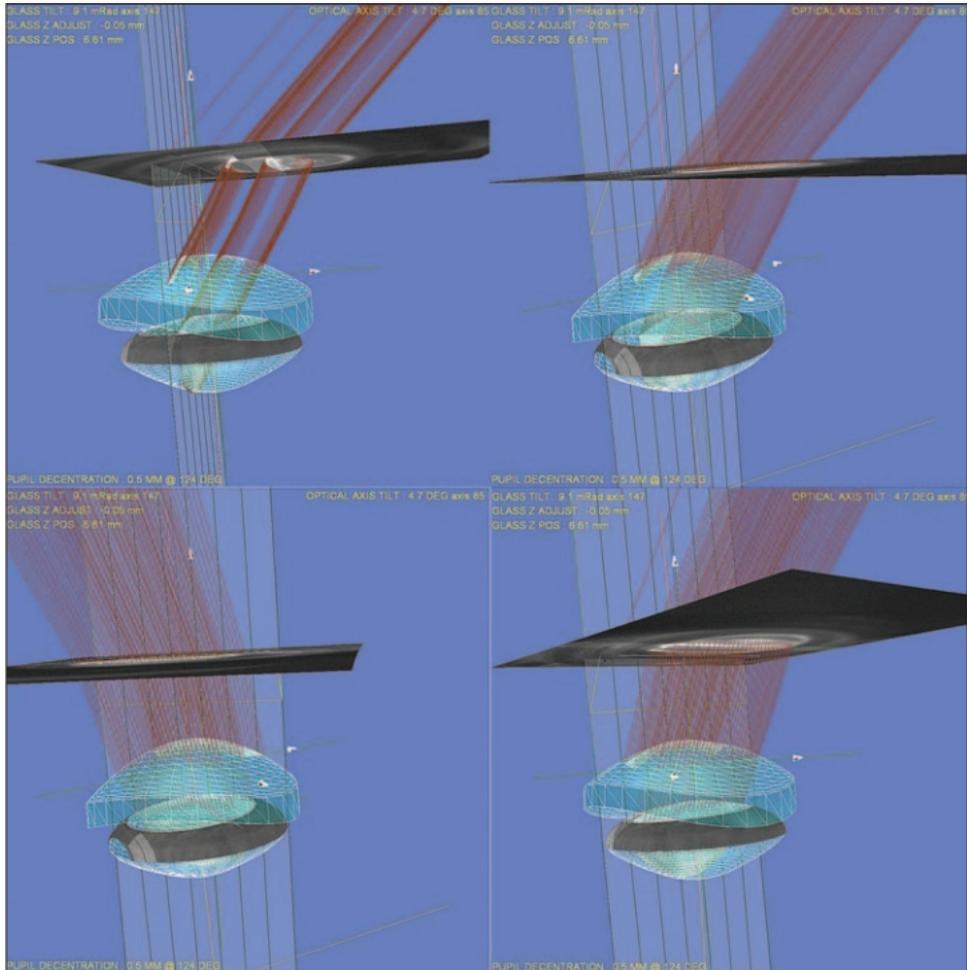
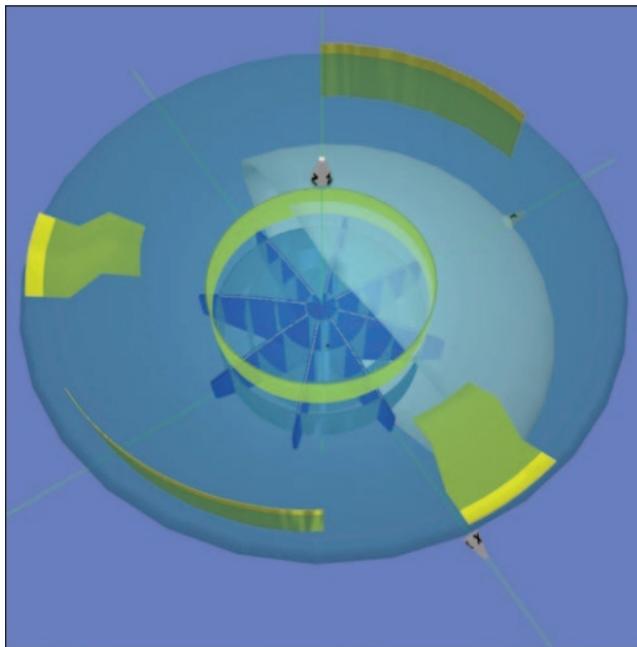


Рисунок 2-6. Трехмерная реконструкция переднего сегмента. (Перепечатано с разрешения LensAR.)

Используя методы трассировки оптических лучей, программное обеспечение затем сопоставляет несколько полученных изображений и измерений для создания точной трехмерной реконструированной модели переднего сегмента (рис. 2-6). Наклон линзы определяется, когда система определяет переднюю и заднюю вершины линзы относительно оптической оси линзы. Выявление любого наклона линзы важно, поскольку оно позволяет хирургу центрировать переднюю капсулотомию над оптической осью линзы. В качестве альтернативы хирург может центрировать капсулотомию по центру зрачка или передней вершине хрусталика. Пока интраокулярная линза (ИОЛ) находится внутри капсульного мешка и край передней капсулы охватывает ИОЛ на 360 градусов, в послеоперационном периоде общая оптическая ось глаза не изменится. Также показаны любая децентрация, а также от передней поверхности роговицы до задней поверхности хрусталика.

Учитываются биометрические измерения конкретного пациента, и на окончательном изображении отображается созданный программным обеспечением план лечения, автоматически перенесенный на трехмерную модель переднего сегмента. Этот вид для хирурга включает разрезы роговицы (основная рана, парацентез и расслабляющие разрезы роговицы), передние разрезы.

Рисунок 2-7. Схема лечения перенесена на трехмерную модель переднего сегмента. (Перепечатано с разрешения LensAR.)



формирование капсулотомии и картина фрагментации хрусталика (рис. 2-7). Выбор алгоритма/схемы лечения основан на множестве факторов, включая технику хирурга, конкретную имплантируемую ИОЛ, предпочтительные параметры фрагментации и плотность ядра хрусталика. Программа учитывает любой наклон объектива. По соображениям безопасности и во избежание повреждения радужной оболочки запрограммированные алгоритмы лечения по умолчанию имеют передний капсульный зазор 500 мкм от края зрачка. Также имеется заранее запрограммированный зазор в 500 мкм от задней капсулы. При необходимости эти параметры безопасности могут быть увеличены, например, в случаях с плотным твердым ядром.

Поддержание более толстого заднего эпинуклеарного слоя может защитить заднюю капсулу от любых фрагментов твердой линзы во время разборки ядра. В таких случаях можно запрограммировать безопасное расстояние от задней капсулы размером 750 мкм или более. Конфокальное выравнивание систем визуализации и лазерной доставки обеспечивает идентичный оптический путь для визуализации и лечения. Это сводит к минимуму систематические ошибки и позволяет лечебному компоненту лазерной системы LensAR направлять лазерные импульсы именно туда, где система визуализации размещает целевые структуры.

## МАШИНЭРГОНОМИКА

Лазерную систему LensAR можно установить в палате предоперационной терапии или в самой операционной. Устройство имеет небольшой размер и полностью мобильно. Его можно отодвинуть от лежащего на спине пациента, чтобы можно было расположить хирургический микроскоп и аппарат для факоэмульсификации так, чтобы пациента не приходилось переводить на другую операционную койку или в другую палату.

Управление фемтосекундной процедурой осуществляется с помощью ножной педали (вакуум для отсасывания, заполнение интерфейса физиологическим раствором и срабатывание лазера) или джойстика (стыковка и отстыковка интерфейса) и полностью визуализируется со специального монитора хирурга.

Лазерная головка находится на выдвижном кронштейне, который можно один раз развернуть в нейтральное положение.



Рисунок 2-8. Хирург прикрепляет лазер к пациенту. (Перепечатано с разрешения LensAR.)

пациент находится в палате. После установки всасывающего кольца лазерную головку стыкуют с помощью кронштейна интерфейса пациента (Рисунок 2-8). Лазерная головка находится под сервоуправлением и постоянно поддерживает заданную силу воздействия на глаз. Три экрана являются частью лазера и обеспечивают возможность просмотра для хирурга, медсестры и техника. Это может помочь улучшить поток в операционной. Хирург также может иметь возможность сидеть сверху или височно по отношению к оперируемому глазу пациента. После завершения визуализации переднего сегмента и лечения фемтосекундным лазером головка аппарата убирается в исходное положение. Чтобы обеспечить большее рабочее расстояние, систему можно заранее запрограммировать на автоматическое перемещение назад еще на 18–24 дюйма, чтобы обеспечить еще более неограниченный доступ к пациенту.

Графический интерфейс пользователя на мониторе позволяет хирургу настраивать лечение, выходя за рамки рекомендованных программным обеспечением параметров по умолчанию. Размер капсулотомии можно запрограммировать в соответствии с рекомендациями производителя. Ширина рисунка фрагментации может быть увеличена или уменьшена в пределах диаметра зрачка в соответствии с запрограммированными запасами безопасности. Глубину рисунка также можно уменьшить, если необходимо сохранить эпинуклеарную пластинку большого размера, чтобы она служила защитой задней капсулы во время факоэмульсификации ядерных фрагментов. Хотя лазерная система LensAR полностью автоматизирована, хирург все равно может обойти рекомендуемые системой настройки.

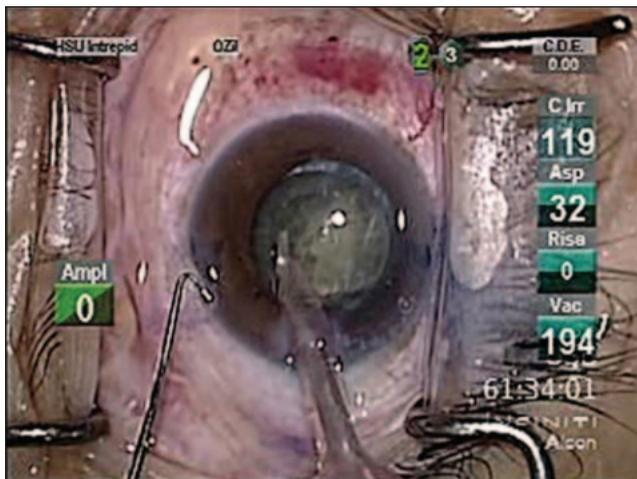
## ПЕРЕДНЯЯ КАПСУЛОТОМИЯ

Оценка прочности капсулы проводилась с использованием свиных глаз, которая показала, что капсулотомия, созданная лазером, была более надежной, чем созданная вручную. атедоны. <sup>1</sup> Средняя сила, необходимая для разрыва края капсулы, была значительно выше. больше при  $177 \pm 53$  мН при передней капсулотомии с фемтосекундным лазером по сравнению с  $125 \pm 43$  мН при ручной капсулотомии ( $P < 0,05$ ). Среднее растяжение края капсулы перед разрывом капсулы было значительно больше при передней капсулотомии, созданной фемтосекундным лазером, на  $7,45 \pm 0,47$  мм по сравнению с ручной капсулотомией,  $4,68 \pm 1,01$  мм ( $P < 0,001$ ).

Первые клинические исследования передней капсулотомии были проведены в Мексике доктором. Наранхо-Тэкман и доктор Кури. <sup>2</sup> Капсульные кнопки были извлечены и проанализированы на размер. и регулярность формы. По сравнению с пуговицами, созданными вручную, пуговицы для лазерной капсулотомии были ближе по размеру к целевому диаметру и имели более одинаковый размер.

Рисунок 2-9. Вид фактоэмульсификации после лазерной фрагментации хрусталика под операционным микроскопом.

Обратите внимание на значение совокупной рассеиваемой энергии (CDE), равное 0,00, что указывает на удаление катаракты только с помощью аспирации. (Перепечатано с разрешения LensAR.)



среднее отклонение (SD) от цели составило  $0,16 \pm 0,17$  мм для лазерных кнопок по сравнению с  $0,42 \pm 0,54$  мм для ручных кнопок ( $P = 0,03$ ). Среднее абсолютное отклонение от предполагаемого диаметра составило  $0,20 \pm 0,12$  мм для лазерных кнопок по сравнению с  $0,49 \pm 0,47$  мм для ручных кнопок. Среднее значение средних квадратов остатков составило  $0,01 \pm 0,03$  мм для лазера и  $0,02 \pm 0,04$  мм для ручного управления ( $P = 0,09$ ), что указывает на лучшую регулярность формы кнопок, созданных с помощью лазера.

Показано, что непредсказуемость определения положения ИОЛ может быть существенным источником ошибок в расчетах мощности ИОЛ.<sup>3</sup> Последовательный капсулорексис имеет решающее значение для эффективного положения линзы.<sup>4,5</sup> Таким образом, создание аккуратной, одинаковый размер и правильное центрирование передних лазерных капсулотомий должны привести к улучшению эффективного положения хрусталика и улучшению рефракционных результатов. Эти результаты были продемонстрированы в серии исследований, в которых сравнивались глаза, которым была выполнена передняя капсулотомия с помощью фемтосекундного лазера с помощью лазерной системы LensAR, с формированием капсулорексиса вручную. В серии из 249 лазерных капсулотомий и 142 ручных капсулорексисов, выполненных одним хирургом (Харви Уи, доктор медицинских наук, неопубликованные данные), в обработанных лазером глазах наблюдалось среднее отклонение сферического эквивалента явной рефракции (MRSE) от целевого значения  $-0,21 \pm 0,39$  Д по сравнению с  $+0,55 \pm 0,41$  Д ( $P = 0,001$ ) для группы ручного капсулорексиса. Большая доля глаз, перенесших лазерную переднюю капсулотомию, находилась в пределах  $\pm 0,12$ ,  $0,50$  и  $1,25$  Д от целевого рефракционного результата: 13%, 81,1% и 100% для лазерной капсулотомии по сравнению с 3%, 74,6% и 96,6% для ручной капсулорексис ( $P = 0,003$ ).

## ФРАГМЕНТАЦИЯ ЯДРА

Лазерная система LensAR продемонстрировала способность фрагментировать ядра хрусталика с широким диапазоном степеней ядерной опалесценции, включая коричневую и некоторые белые катаракты. Фемтосекундная хирургия катаракты использует низкие уровни лазерной энергии для фрагментации ядра хрусталика. Фактически, фемтосекундному лазеру требуется меньше ультразвуковой энергии для удаления катаракты (рис. 2-9). Такое снижение энергии может быть клинически полезным у пациентов с высоким риском декомпенсации роговицы, таких как пациенты с плотными катарактами, нарушением эндотелия роговицы, мелкими передними камерами, глаукомой или предшествующими трансплантациями роговицы.

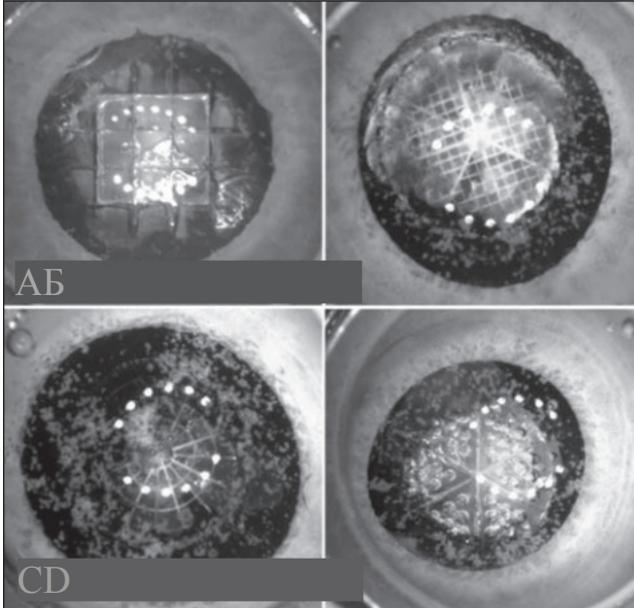


Рисунок 2-10. Виды с экрана хирурга на лазерной системе LensAR различных алгоритмов лазерного лечения фрагментации хрусталика:

(А) Кубики, (Б) кубики и пирошки, (С) сферы и пирошки и (D) пирошки. (Перепечатано с разрешения LensAR.)

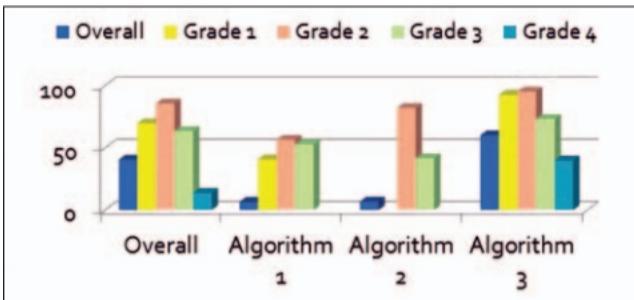


Рисунок 2-11. Снижение CDE в зависимости от степени ядра хрусталика и алгоритма лечения (1 = кубики; 2 = сферы; 3 = круги). (Перепечатано с разрешения LensAR.)

В исходной серии ТЭО оценивалось несколько схем резки, включая сферы, кубы и круги (Рисунок 2-10). Алгоритм разделения круга оказался наиболее эффективным для всего диапазона степеней катаракты и продемонстрировал значительное снижение совокупной рассеиваемой энергии (CDE) для всех степеней катаракты (рис. 2-11). В случае белой непрозрачной катаракты возможность фрагментации хрусталика под поверхностью ограничена. Инфракрасный лазерный свет сильно поглощается и плохо проходит через белую непрозрачную линзу. Продолжаются дальнейшие исследования по совершенствованию алгоритмов для более плотных ядер. Никаких существенных изменений внутриглазного давления или толщины роговицы не наблюдалось в серии из 60 глаз, которым была выполнена передняя фемтосекундная лазерная капсулотомия с фрагментацией фемтосекундной лазерной линзы или без нее по сравнению с 45 глаз, перенесших стандартную операцию факоэмульсификации. <sup>6</sup>

## Роговичные разрезы

Параметры лечения ран роговицы и лимбальных расслабляющих разрезов в настоящее время разрабатываются компанией LensAR. Заполненный жидкостью интерфейс аппарата позволяет выполнять аппланацию роговицы «без прикосновения», а визуализация с высоким разрешением с помощью технологии 3D-CSI позволяет точно поместить лазерные импульсы в роговицу.

роговица без сжатия или искажения архитектуры роговицы. Точно так же, как иммерсионный ультразвук лучше контактного ультразвука для биометрии, заполненный жидкостью интерфейс может быть лучше, чем интерфейс, который непосредственно контактирует с роговицей, для визуализации и лазерного лечения роговицы и более глубоких структур переднего сегмента. Именно эта технология поддерживает продолжающуюся разработку лазерной системы LensAR для транскорнеальных входных и периферических расслабляющих разрезов роговицы.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Лазерная система LensAR была разработана как компактная, мобильная и эргономически гибкая для работы в стандартной операционной или в отдельном процедурном кабинете. Рычаг интерфейса пациента можно переместить в операционную зону для стыковки и лечения, а затем убрать после завершения лазерного лечения. Аспирационное кольцо низкого давления обездвиживает глаз, не вызывая резкого повышения внутриглазного давления. Заполненный жидкостью интерфейс позволяет роговице оставаться несжатой, избегая стрий роговицы и потенциальных артефактов визуализации. Точно так же, как иммерсионный ультразвук лучше подходит для биометрии, чем контактный ультразвук, заполненный жидкостью интерфейс лучше, чем контактный, как для визуализации роговицы, так и для доставки лазера.

Система визуализации и биометрии 3D-CSI позволяет получать высококачественные изображения, не требующие обработки или сшивания. Сфокусированное изображение, от передней части роговицы до задней капсулы, точно сохраняет детали отображаемых структур. Общий оптический путь визуализации и обработки обеспечивает точное совпадение лазерных импульсов с обнаруженными поверхностями. Визуализация 3D-CSI увеличивает скорость лазерного сканирования более глубоких структур хрусталика с низкой отражающей способностью (таких как задняя капсула), так что их можно визуализировать даже в плотных ядрах, где не удастся получить изображение задней капсулы, как при некоторых оптических когерентных томографиях. (ОКТ) системы визуализации — предотвратят адекватную фрагментацию хрусталика. Автоматическое обнаружение поверхности и создание капсулотомии до фрагментации хрусталика означает, что манипуляции хирурга или техника с изображениями перед лечением сведены к минимуму или исключены. Система LensAR оснащена компенсирующим программным обеспечением, которое измеряет и регулирует наклон линзы, чтобы обеспечить центрирование капсулотомии, что, в свою очередь, исключает риск разрыва задней капсулы из-за ошибок наклона.

Система LensAR была первой системой, получившей разрешение FDA с маркировкой FDA конкретных показателей снижения энергии ультразвука для всего диапазона степеней катаракты, полученных в результате их клинических исследований.

Было показано, что система LensAR и алгоритм лечения эффективно уменьшают CDE при применении к плотным, темно-коричневым катарактам.

Система LensAR является единственной лазерной системой, которая исследуется для лечения пресбиопии путем лазерно-индуцированного восстановления аккомодации и, хотя все еще находится на ранних стадиях технико-экономических испытаний, показала безопасность в предотвращении прогрессирующей катаракты с помощью центральных щадящих алгоритмов лечения. Будущие возможности можно легко реализовать за счет обновлений программного обеспечения.

ИСПОЛЬЗОВАННАЯ  
ЛИТЕРАТУРА

1. Фрей Р.В., Теума Е.В., О'Суиллабейн Д. и др. Оценка механических свойств капсулы хрусталика после фоторазрушающей капсулотомии и непрерывного криволинейного капсулорексиса. Стендовая сессия представлена на: Ежегодном собрании Ассоциации исследований в области зрения и офтальмологии; май 2009 г.; Форт-Лодердейл, Флорида.
2. Тэкман Р.Н., Кури Ю.В., Ничамин Л.Д., Эдвардс К. Передняя капсулотомия с помощью лазера ультракоротких импульсов. *Ж Хирургия рефракции катаракты*. 2011;37:819–824.
3. Норрби С. Источники ошибок при расчете оптической силы интраокулярной линзы. *J Cataract Refract Surg* 2008; 34: 368–376.
4. Хилл В.Е. Удар по Эмметропии. В: Чанг Д., изд. Освоение рефракционных ИОЛ: искусство и наука. Торофэр, Нью-Джерси: SLACK Incorporated; 2008: 533-534.
5. Хилл В.Е. Влияет ли капсулорексис на рефракционные результаты? В: Чанг Д., изд. Хирургия катаракты сегодня. Уэйн, Пенсильвания: Wynn Mawt Communications; 2009:78.
6. Эдвардс К.Х., Фрей Р.В., Тэкман Р.Н. и др. Клинические результаты после лазерной хирургии катаракты. Стендовая сессия представлена на: Ежегодном собрании Ассоциации исследований в области зрения и офтальмологии; май 2010 г.; Форт-Лодердейл, Флорида.

Клинический опыт использования лазерной системы LensAR  
см. в главе 6 «Лазерная система LensAR»:  
Клинический опыт, стр. 61.

Сводная таблица лазерной системы LensAR	
<i>Лазерная система LensAR (LensAR Inc, Винтер-Парк, Флорида)</i>	
Дата одобрения передней капсулотомии FDA и номер 510 (К)	13 мая 2010 г.; K090633
Фрагментация линзы. Дата одобрения FDA и номер 510(К).	16 марта 2011 г.; K102727
Дата одобрения FDA и номер 510(К) разрезов роговицы	В ожидании
Дата утверждения европейского знака CE	В ожидании
Площадь станка (база системы)	1,98 × 0,81 м (без учета выдвижного аппликационного кронштейна и кровати пациента)
Рекомендуемое место для лазера	Предпочтения хирурга
Положение лазера относительно пациента	Лазер может быть расположен слева или справа или над пациентом.
Положение хирурга относительно пациента	Улучшенное или временное место
Расположение пациента	Стандартные носилки для пациентов
Компоненты интерфейса стыковки	Одноразовое всасывающее кольцо прикрепляет глаз пациента к одноразовому окну интерфейса и многоразовому кронштейну интерфейса пациента.
Особенности крепления лазера к роговице пациента	Аспирационное фиксирующее устройство, интерфейс жидкости, отсутствие прямой аппланации поверхности роговицы.
Необходимость зеркала для век	Предпочтения хирурга
Количество просмотровых экранов	3
Технология визуализации	Камера Scheimpflug позволяет получать изображения не в реальном времени, аналогично Pentacam (Oculus, Inc., Линвуд, Вашингтон), 3D-CSI с высоким разрешением.
Фемтосекундный лазер	Подробности собственные
Удаление катаракты	Факоземulsionфикация по предпочтениям хирурга
Программируемые параметры лечения	Настраиваемые разрезы роговицы, капсулотомия и фрагментация хрусталика
Возможность хирурга изменять параметры лечения	Регулировки, выполняемые до и во время операции с помощью сенсорного экрана





# ТЗ

## Лазерная система LenSx

*Эрик Вайнберг; Тереза Игнасио, доктор медицины;  
Мелвин А. Сарайба, доктор медицинских наук; и  
Золтан Надь, доктор медицинских наук, доктор  
философии*

В 2008 году основатели IntraLase Corp (Ирвин, Калифорния), физик Тибор Юхас, доктор философии; офтальмолог Рон Курц, доктор медицинских наук; и Эрик Вайнберг основали компанию LenSx Lasers Inc (Алисо-Вьехо, Калифорния). Они понимали, что фемтосекундному лазеру потребуется высокая энергия на импульс, чтобы сделать разрезы в хрусталике, и меньшая энергия на импульс.

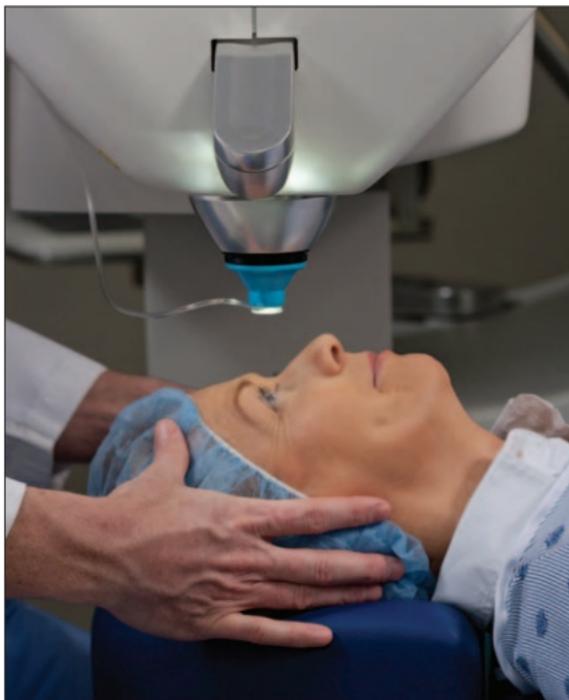
для разрезов роговицы потребуется пульс.

<sup>1-3</sup> Интегрированное трехмерное изображение Также потребуется система визуализации и измерения переднего сегмента, удобное программное обеспечение и интерфейс, позволяющие хирургам настраивать методы лечения, а также устройство интерфейса пациента для подключения лазера к пациенту. В августе 2008 года в Университете Земмельвейса в Будапеште были проведены первые клинические исследования с использованием прототипа лазера. Это привело к получению в августе 2009 года первого разрешения Управления по санитарному надзору за качеством пищевых продуктов и медикаментов США (FDA) 510(k) на проведение фемтосекундной лазерной передней капсулотомии. В декабре 2009 года лазер LenSx был одобрен FDA для использования при разрезах роговицы. В феврале 2010 года лазер LenSx был впервые использован в США, а к апрелю 2010 года он был одобрен FDA для лечения фрагментации хрусталика. В июле 2010 года компания Alcon Inc (Форт-Уэрт, Техас) приобрела LenSx Lasers Inc. В этой главе подробно описаны технические характеристики, которые делают фемтосекундную лазерную систему LenSx уникальной, и рассматриваются основные результаты исследований, проведенных с использованием этой платформы.

Рисунок 3-1. Лазерная система LenSx.  
(Перепечатано с разрешения Вэнса Томпсона, доктора медицинских наук.)



Рисунок 3-2. Одноразовая аппланационная линза с изогнутым интерфейсом для пациента в лазерной системе LenSx. (Перепечатано с разрешения Вэнса Томпсона, доктора медицинских наук.)



#### СИСТЕМА СТЫКОВКИ ИНТЕРФЕЙСА ПАЦИЕНТА

В LenSx Laser используется интерфейс пациента с изогнутой аппланационной линзой (рис. 3-1 и 3-2). Это одноразовое цельное устройство, рассчитанное на низкую степень всасывания и обеспечивающее видимость 13 мм через прозрачное отверстие. Изогнутый интерфейс пациента аналогичен изогнутым контактными линзами, используемым в хирургии сетчатки, и удобен для пациента.

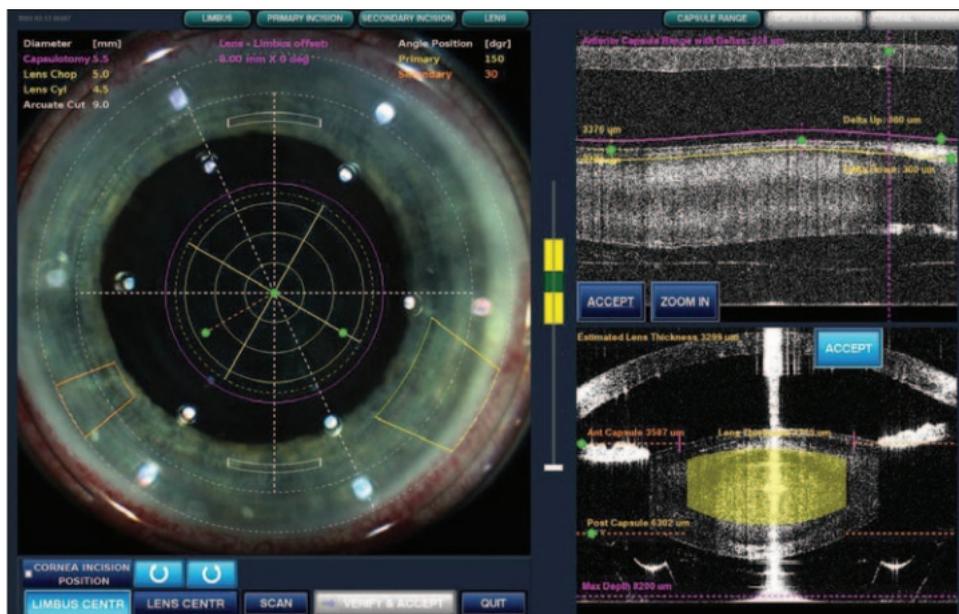


Рисунок 3-3. Снимок экрана с жидкокристаллического монитора хирурга, содержащий изображения видеомикроскопа и интегрированные изображения оптической когерентной томографии (ОКТ) с разрезами роговицы, передней капсулой и обработками хрусталика, автоматически предварительно позиционируемые компьютерным программным обеспечением лазера после обнаружения контрольных точек (зеленые точки). Первичный разрез роговицы (желтый цвет) расположен под углом 150 градусов, вторичный разрез роговицы (боковой порт) (оранжевый цвет) - под углом 30 градусов, контур передней капсулотомии (розовый цвет) установлен на 5,5 мм, шаблон откола линзы обозначен желтым крестом, Картина фрагментации 3-цилиндрической линзы также отмечена желтым цветом, а дугообразные астигматические разрезы кератотомии обведены белым контуром на расстоянии 9 мм друг от друга под углами 90 и 270 градусов. (Перепечатано с разрешения Вэнса Томпсона, доктора медицинских наук.)

## СИСТЕМА ОКУЛЯРКОГЕРЕНТОМОГРАФИИВИЗУАЛИЗАЦИИ

LenSx Laser использует интегрированную оптическую когерентную томографию (ОКТ) переднего сегмента, видеомикроскоп и фемтосекундный лазер для проведения хирургии катаракты под визуальным контролем. Система обеспечивает в реальном времени поперечные изображения переднего сегмента, простирающегося от эпителия роговицы до задней капсулы хрусталика. Живые изображения с видеомикроскопа и ОКТ используются, чтобы помочь хирургу совместить глаз пациента с системой во время стыковки. Затем шаблоны лазерной обработки размещаются на видео высокого разрешения и изображениях ОКТ, чтобы локализовать лазерные разрезы, которые необходимо выполнить, во всех трех измерениях. Лазерная процедура начинается после проверки всех настроек и может постоянно контролироваться хирургом. LenSx OCT был специально разработан для обеспечения качества изображения, необходимого для индивидуальной настройки всех хирургических разрезов с полной видимостью и проведения операций по удалению катаракты под визуальным контролем.

### ГРАФИЧЕСКИЙ ПОЛЬЗОВАТЕЛЬСКИЙ ИНТЕРФЕЙС

LenSx Laser оснащен двумя жидкокристаллическими мониторами. Первый представляет собой монитор с сенсорным экраном, используемый для ввода данных о пациенте и предпочтительных хирургических настроек на левой стороне лазерного аппарата. Второй экран справа — видеомикроскоп со встроенным ОКТ-изображением (рис. 3-3). Клавиатура и мышь прямо перед

Пользовательский интерфейс позволяет технику управлять пользовательским интерфейсом и видеомикроскопом. Хирург также имеет возможность управления видеомикроскопом с помощью трекбола и тачпада.

Все настройки хирурга по умолчанию сохраняются на компьютере лазера и отображаются в графическом интерфейсе пользователя. После завершения ОКТ-сканирования на мониторе видеомикроскопа отображается неподвижное изображение. Система обнаруживает контрольные точки и быстро заранее определяет место разрезов (см. Рисунок 3-3). Затем хирурга просят принять или отклонить эти контрольные точки или внести коррективы. Ход процедуры отображается на мониторе видеомикроскопа на протяжении всего лечения и занимает около 1 минуты.

#### РАННИЕ КЛИНИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Передняя капсулотомия и фрагментация хрусталика с использованием лазера LenSx первоначально оценивались на глазах свиней *ex vivo*, в первой клинической серии, включавшей 9 пациентов.<sup>4</sup> Для предполагаемого капсулорексиса диаметром 5 мм в глазах свиньи средние диаметры составили  $5,88 \pm 0,73$  мм при использовании стандартной мануальной техники против  $5,02 \pm 0,04$  мм при использовании фемтосекундного лазера. По сравнению с контрольными свиными глазами, которым была проведена традиционная операция по удалению катаракты «быстрой операцией», фрагментация хрусталика фемтосекундным лазером при катаракте 3 и 4 степени привела к снижению мощности факэмульсификации на 43%.

и снижение эффективного времени факэмульсификации на 51%.<sup>4</sup> В первой серии процедуры, выполняемые на глазах человека, фемтосекундная лазерная капсулотомия и хрусталик Фрагментация завершилась без оперативных осложнений.<sup>4</sup>

#### ПЕРЕДНЯЯ КАПСУЛОТОМИЯ

Капсулорексис при традиционной хирургии катаракты может быть разного размера и децентрирован, что влияет на положение интраокулярной линзы (ИОЛ) и эффективная сила линзы.<sup>5,6</sup> Эффективное положение линзы (ELP) определяется по передней оси. значения глубины камеры (ACD) и формулы ИОЛ, при этом ключевой переменной является размер капсулорексиса.<sup>7</sup> Попадание ИОЛ в капсульный мешок может привести к гиперметропический или близорукий сдвиг, если созданный капсулорексис становится меньше или больше, чем предполагалось. Разница в положении ИОЛ на 0,5 мм приводит к изменению аномалии рефракции примерно на 1,00 Д. Воспроизводимый, правильно расположенный круговой рексис, который перекрывает оптику ИОЛ на 360 градусов, важен для прогнозирования отклонения рефракции. приходит.<sup>8</sup>

Первоначальные клинические оценки, проведенные доктором Надь из Университета Земмельвейса в Будапеште, показали, что по сравнению с капсулорексисом, созданным вручную, желаемый диаметр был достигнут в 100% случаев фемтосекундной лазерной капсулотомии LenSx, тогда как точность диаметра  $\pm 0,25$  мм наблюдалась только в 10% случаев. ручных процедур (Рисунок 3-4).<sup>9</sup>

#### *Эффективное положение объектива*

В проспективном нерандомизированном исследовании по определению влияния вариабельности метода капсулотомии ELP приняли участие 20 глаз, которым была выполнена капсулотомия LenSx диаметром 4,5 мм по сравнению с формированием капсулорексиса вручную диаметром 4,5 мм. ACD и осевая длина (AL) составляли

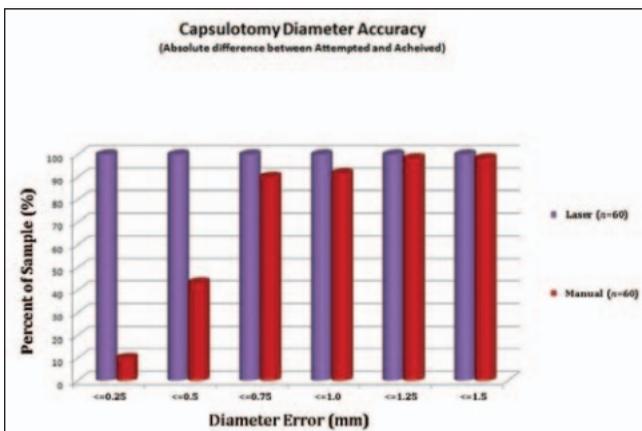


Рисунок 3-4. Исследование точности диаметра капсулотомии показало, что 100% лазерных капсулотомий (60 глаз) находились в пределах 0,25 мм от желаемого диаметра, тогда как только 10% ручных капсулотомий (60 глаз) находились в пределах того же уровня точности. колоритный. (Перепечатано с разрешения Вэнса Томпсона, доктора медицины.)

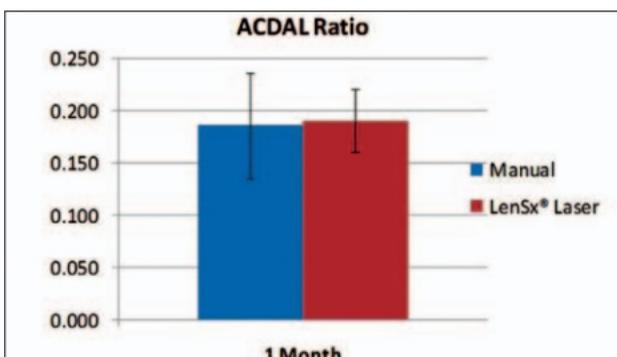


Рисунок 3-5. Статистически значимая разница в дисперсии между капсулотомией, выполненной лазером LenSx, и капсулорексисом, выполненным вручную. (Перепечатано с разрешения Вэнса Томпсона, доктора медицинских наук.)

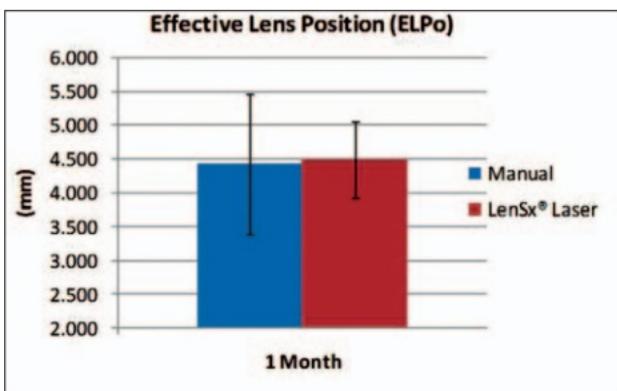


Рисунок 3-6. Уменьшенная вариабельность эффективного положения линзы в группе лазера LenSx по сравнению с капсулотомией, выполняемой вручную. (Перепечатано с разрешения Вэнса Томпсона, доктора медицинских наук.)

измерено с помощью оптической биометрии LenStar (Haag-Streit AG, Кениз, Швейцария). Через 1 неделю и 1 месяц наблюдалась значительная разница в вариабельности ACD и соотношения ACD:AL (рис. 3-5). Через 1 месяц наблюдалась значительная разница в дисперсии между двумя группами (F-критерий;  $P < 0,05$ ) с меньшей вариабельностью ELP в глазах, обработанных лазером, по сравнению с группой, обработанной вручную (рис. 3-6). (Alcon Labs Inc.), неопубликованные данные.)

В нерандомизированном проспективном исследовании, проведенном одним хирургом, вариабельность и предсказуемость результатов ELP и рефракции сравнивались между передними моделями LenSx.

Таблица 3-1

Краткое изложение результатов нерандомизированного проспективного исследования, проведенного одним хирургом, по изучению варибельности и предсказуемости ELP и рефракционных результатов передней капсулотомии LenSx по сравнению с ручным капсулорексисом для имплантации различных ИОЛ

<i>Исследовательская группа</i>	<i>Количество изученных глаз</i>	<i>Результаты анализа</i>
Монофокальные ИОЛ (Alcon SN60WF)	26 глаз: попытка Ручной капсулорексис диаметром 5,0 мм. 22 глаза: лазерная передняя капсулотомия LenSx 5 мм.	Глубина передней камеры до операции составляла ближе к ELP, измеренному через 1 месяц после операции (рис. 3-7).
Мультифокальные ИОЛ (Alcon ReSTOR)	11 глаз: попытка ручного капсулорексиса диаметром 5 мм. 12 глаз: лазерная передняя капсулотомия LenSx.	Глаза в группе лазеров LenSx были ближе к целевой рефракции (рис. 3-8).
Торические ИОЛ (Торическая ИОЛ Alcon AcrySof T3–T5)	14 глаз: попытка ручного капсулорексиса диаметром 5 мм. 12 глаз: лазерная передняя капсулотомия LenSx.	Лучшая предсказуемость в достижении сферической эквивалентной коррекции (рис. 3-9).
Таблица создана с разрешения Cionni RJ. Сравнение эффективного положения линзы и рефракционного результата: фемтосекундный лазер и ручная капсулотомия. Доклад представлен на: День рефракционной специализации, Ежегодное собрание Американской академии офтальмологии; октябрь 2011 г.; Орландо, Флорида.		

капсулотомия по сравнению с ручным капсулорексисом при имплантации монофокальных, мультифокальных и торических ИОЛ. Результаты показали лучшую изменчивость и предсказуемость ELP для всех типов ИОЛ при выполнении передней капсулотомии LenSx.<sup>10</sup> По сути, лазерная капсулотомия положительно повлияла на прогнозируемость ЭЛП. Результаты дополнительных исследований суммированы в Таблице 3-1 и на рисунках 3-7, 3-8 и 3-9.

### *Передняя капсулотомия Округлость и центрация хрусталика*

Одно исследование показало, что передняя капсулотомия с помощью фемтосекундного лазера имела более правильную форму и демонстрировала лучшую центрацию и перекрытие ИОЛ/капсулы, чем ручной капсулорексис.<sup>10</sup> Передняя капсулотомия была выполнена лазером LenSx на 54 глазах, а ручной непрерывный криволинейный капсулорексис выполнен на 57 глазах. Округлость и площадь капсулотомии и децентрацию ИОЛ измеряли с помощью Photoshop CS4 Extended (Adobe Systems Inc, Сан-Хосе, Калифорния) через 1 неделю после операции. Значения округлости были значительно лучше в группе лазера ( $P = 0,032$ ), и там

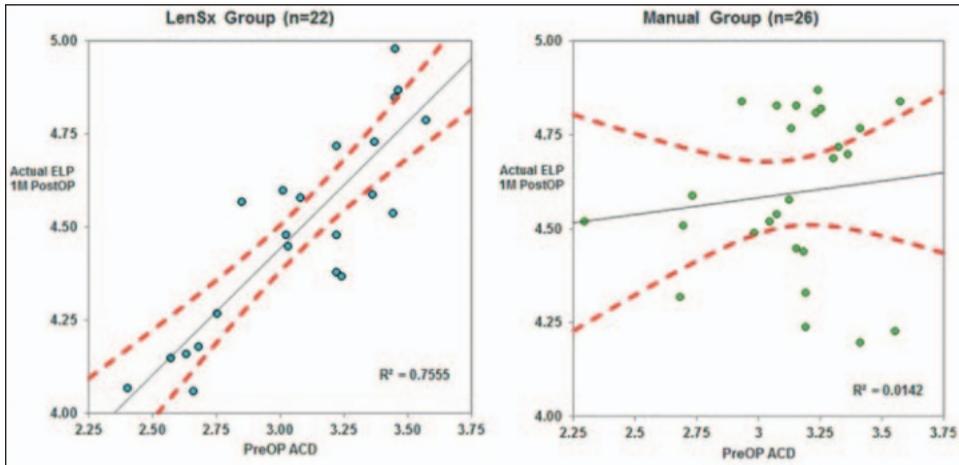


Рисунок 3-7. В исследовании с использованием монофокальных интраокулярных линз, имплантированных после передней капсулотомии LenSx, по сравнению с формированием ручного капсулорексиса, регрессионный анализ, использованный для сравнения предоперационной глубины передней камеры и измеренного эффективного положения линзы через 1 месяц после операции (с использованием оптической биометрии LenStar), выявил более сильную взаимосвязь.

в группе LenSx, чем в ручной группе ( $R^2 = 0,7555$  против  $0,0142$ ), что указывает на то, что Лазерная группа имела меньшую ошибку прогнозирования, чем ручная группа. (Перепечатано с разрешения Вэнса Томпсона, доктора медицинских наук.)

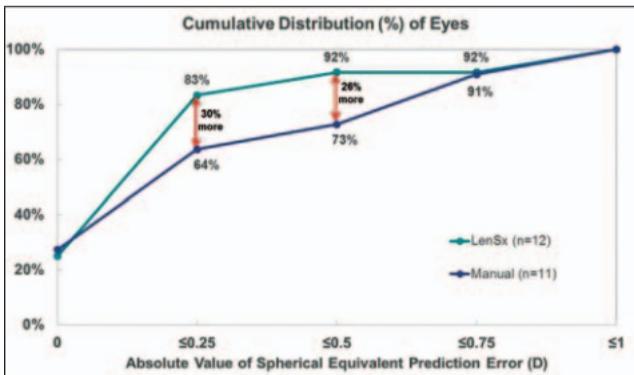


Рисунок 3-8. В исследовании с использованием мультифокальных интраокулярных линз, имплантированных после передней капсулотомии LenSx, по сравнению с формированием капсулорексиса вручную, сравнение ошибки прогнозирования показало, что на 30% больше глаз находилось в пределах 0,25 дптр и на 26% больше глаз было в пределах 0,50 дптр от предполагаемой рефракционной цели. группа LenSx по сравнению с группой, получавшей вручную. (Перепечатано с разрешения Вэнса Томпсона, доктора медицинских наук.)

было значительно меньше неполного перекрытия капсулотомий в группе ручного рексиса по сравнению с группой лазера (28% глаз против 11%;  $P = 0,033$ ).

В другом исследовании 20 глаз, которым была выполнена фемтосекундная капсулотомия с использованием лазера LenSx, и 20 глаз, на которых формировался капсулорексис вручную, было обнаружено, что более точный размер и центрирование капсулотомии достигалось с помощью фемтосекундного лазера, что приводило к лучшим параметрам перекрытия, что помогало поддерживать правильную форму капсулотомии. Положение ИОЛ

ция. <sup>11</sup> Вертикальный диаметр и горизонтальная децентрация ИОЛ ручной гексы были измерены. статистически значимо выше. Также наблюдались значительно высокие значения перекрытия капсул и значений округлости при капсулотомиях, созданных лазером. Одномерный анализ показал, что тип капсулорексиса ( $P < 0,01$ ) и перекрытие капсулы ( $P = 0,002$ ) были значимыми предикторами горизонтальной децентрации.

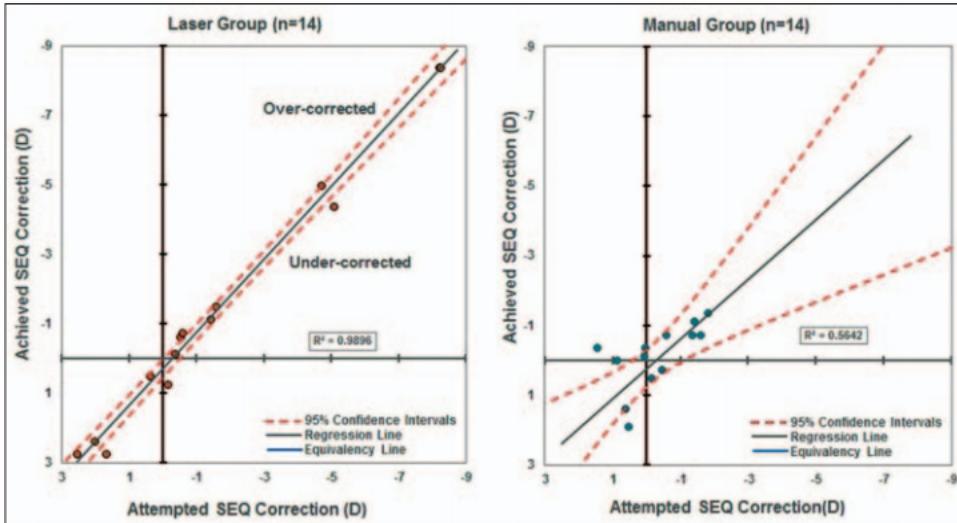


Рисунок 3-9. В исследовании с использованием торических интраокулярных линз, имплантированных после передней капсулотомии LenSx, по сравнению с формированием капсулорексиса вручную, регрессионный анализ, использованный для сравнения попытки коррекции сферического эквивалента (SEQ) и достигнутой коррекции SEQ, выявил более сильную корреляцию между предпринятой и достигнутой коррекцией SEQ и точностью.

для нацеливания в лазерной группе по сравнению с ручной группой ( $R^2 = 0,9896$  против  $0,5642$ ). (Перепечатано с разрешения Вэнса Томпсона, доктора медицинских наук.)

## ФРАГМЕНТАЦИЯЛИНЗЫ

Фемтосекундные импульсы доставляются через роговицу и переднюю часть хрусталика, сводя к минимуму механические воздействия и ультразвуковую энергию, передаваемую тканям с помощью ручных датчиков факоэмульсификации. Когда импульс света фокусируется на небольшом пятне, происходит фоторазрушение небольшого объема ткани (всего несколько микрометров). Большой хирургический эффект достигается за счет сканирования тысяч отдельных импульсов по определенной схеме.

В LenSx Laser предусмотрены варианты схемы фрагментации: измельчение, разжижение или комбинация того и другого (см. Рисунок 3-3). Схема разреза полезна при катаракте с плотностью более 2 и обычно имеет форму креста, но ее можно настроить, включив в нее увеличенное количество разрезов. Этот шаблон создает радиальные разрезы на ядре, фрагментируя хрусталик для удаления с уменьшенной мощностью и временем факоэмульсификации.

Разжиженный или цилиндрический узор представляет собой серию концентрических колец. Количество цилиндров также можно настроить. Комбинированная схема стала предпочтительной для большинства хирургов, поскольку она обеспечивает быстрое удаление центрального ядра и легкий доступ для удаления оставшихся квадрантов с минимальным временем и мощностью факоэмульсификации (рис. 3-10).

Чтобы оценить сокращение времени и мощности факоэмульсификации после лазерного разжижения хрусталика, 60 пациентов лечились лазером LenSx или перенесли операцию по удалению катаракты только с факоэмульсификацией. Средний CDE был значительно снижен в группе фемтосекундного лазера, а потеря эндотелиальных клеток снизилась на 25% по сравнению с группой, получавшей фемтосекундный лазер.

группа, использующая только факоэмульсификацию.<sup>12</sup>

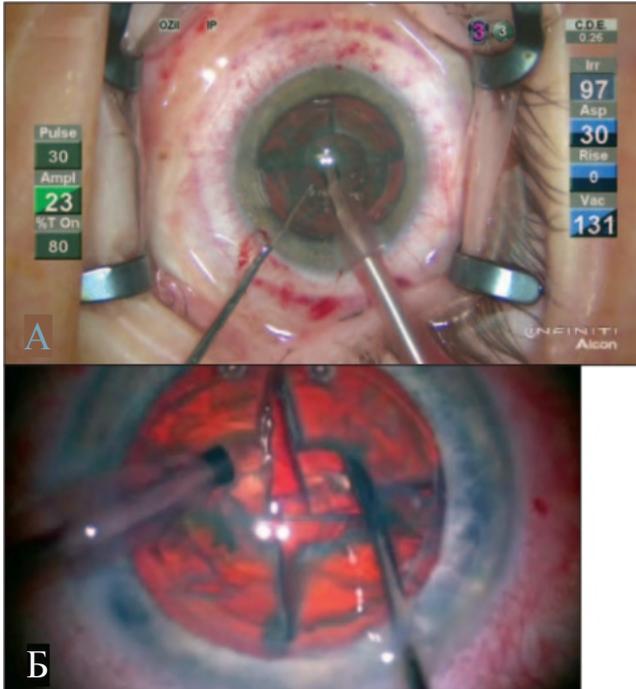


Рисунок 3-10. Вид под хирургический микроскоп во время факэмульсификации после лазерной передней капсулотомии LenSx и фрагментации хрусталика. (А) Обратите внимание на радиальный узор в виде поперечного отреза и 3 концентрических цилиндра. (Б) Точные радиальные разрезы, созданные лазером, позволяют легко разделить квадранты. (Перепечатано с пермиссия Вэнса Томпсона, доктора медицины.)

## РОГОВИЧНЫЕ РАЗРЕЗЫ: РАНЫ И ДУГОВЫЕ РАЗРЕЗЫ ДЛЯ КОРРЕКЦИИ АСТИГМАТИЗМА

Формирование воспроизводимой входной раны роговицы может помочь в прогнозируемых расчетах хирургически индуцированного астигматизма, который влияет на выбор ИОЛ, особенно для торических или мультифокальных ИОЛ.<sup>13</sup> Раны роговицы, созданные вручную, могут иметь неточная длина и геометрия туннеля и требуют гидратации стромы для закрытия. Некоторые постулируют увеличение частоты послеоперационных инфекций с четкой корреляцией. неальные раны, поскольку эти разрезы могут быть нестабильными при низком внутриглазном давлении.<sup>14,15</sup> Точная архитектура и расположение раны роговицы при использовании фемтосекундного лазера может оптимизировать геометрию раны с большей точностью и лучшим уплотнением без гидратации стромы (рис. 3-11).

Обычно лимбальные расслабляющие разрезы вручную выполняются с использованием ручного алмазного ножа для лечения астигматизма путем отслеживания следов роговицы. Эффект может быть непредсказуемым в зависимости от глубины разреза и неточной архитектуры раны. Фемтосекундный лазер может делать только разрезы на роговице; для лечения астигматизма вместо этого делаются дугообразные разрезы роговицы. Благодаря использованию возможности хирургического планирования LenSx Laser под визуальным контролем, которая обеспечивает измерение толщины роговицы в реальном времени, форма, расположение, длина и ширина разреза, а также процентная глубина дугообразных разрезов создаются в управляемом компьютером, предсказуемом, и точная мода (рис. 3-12). Затем разрезы можно открыть интра- или послеоперационно и титровать для достижения оптимального эффекта.

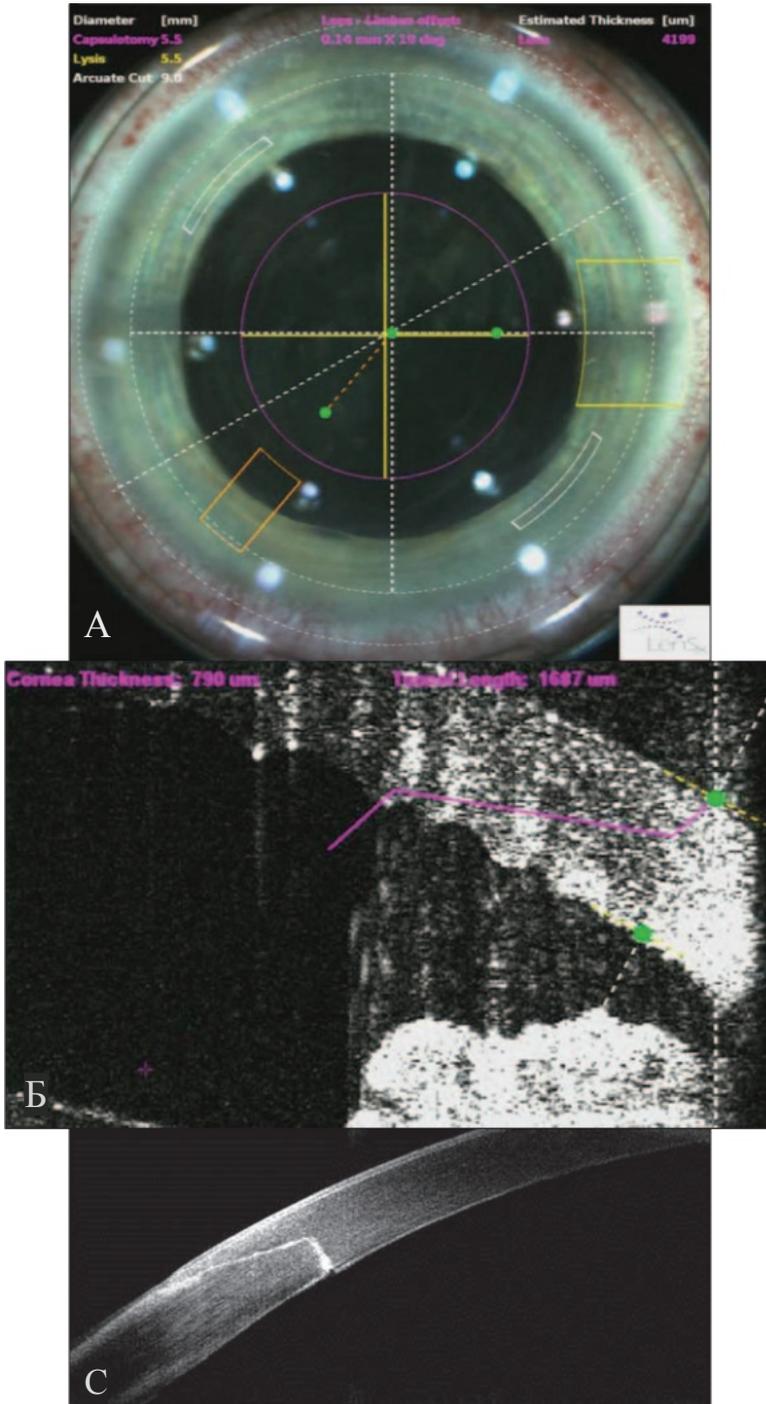


Рисунок 3-11. (А) Экранное изображение на мониторе хирурга, содержащее вид с помощью видеомикроскопа и расположение первичного разреза (желтый), разреза бокового порта (оранжевый), образца разреза хрусталика (желтый), капсулорексиса (фиолетового) и дугообразной формы. разрезы роговицы (белые). (В) Интегрированное ОКТ-изображение, показывающее поперечное сечение трехплоскостной первичной раны роговицы. (С) Послеоперационное ОКТ-изображение переднего сегмента идеально запечатанной раны роговицы, не требующей гидратации стромы.  
(Перепечатано с разрешения Вэнса Томпсона, доктора медицинских наук.)

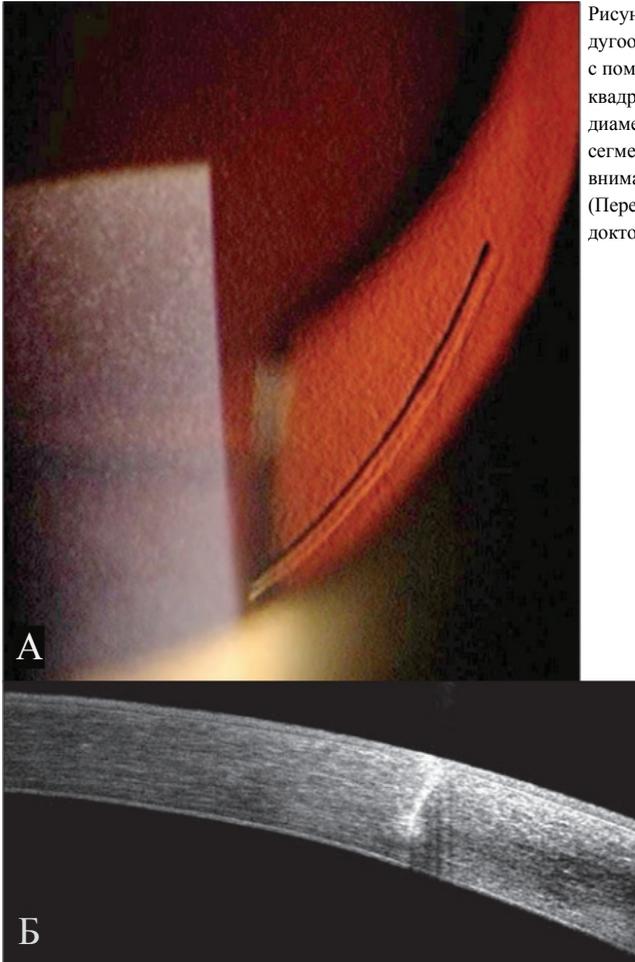
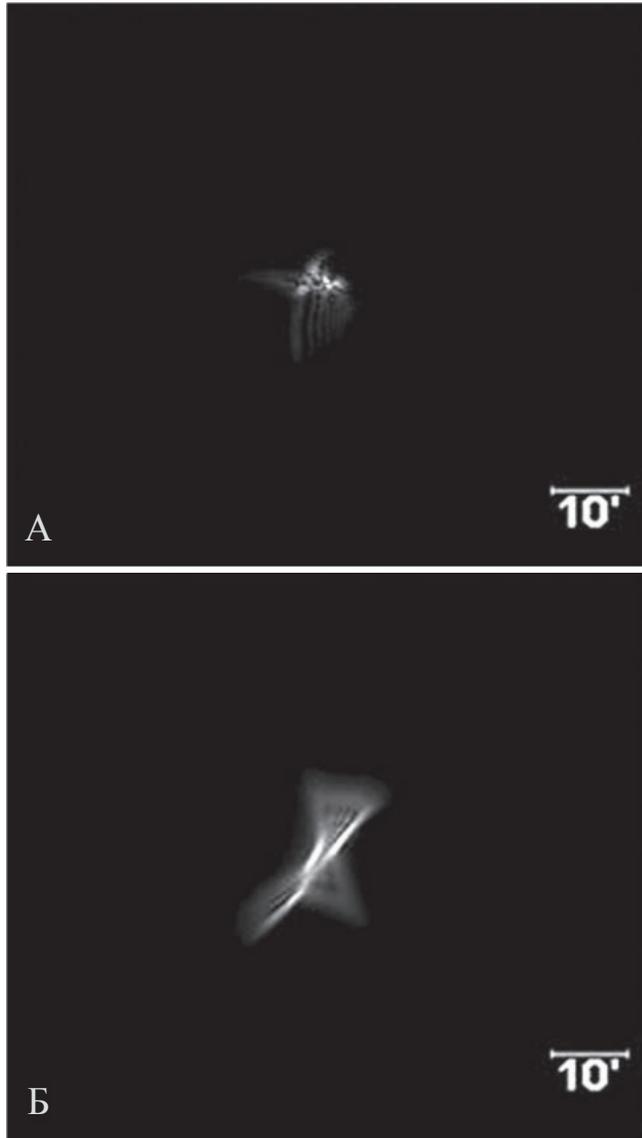


Рисунок 3-12. (А) Вид на щелевой лампе дугообразных разрезов роговицы, выполненных с помощью лазера LenSx. Обратите внимание на квадратный край и точную форму, длину и диаметр дуги. (Б) ОКТ-изображение переднего сегмента дугообразного разреза. Обратите внимание на равномерную глубину. (Перепечатано с разрешения Вэнса Томпсона, доктора медицинских наук.)

### РЕФРАКЦИОННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

Проспективное исследование, в котором сравнивались глазные и внутренние аберрации после передней капсулотомии LenSx Laser (48 глаз) и ручного капсулорексиса (51 глаз), показало, что лазерная капсулотомия вызывала значительно меньше внутренних аберраций, измеренных по абберрометр сканирования оптической разности пути (OPD) Nidek (Nidek Inc, Фримонт, Калифорния).<sup>16</sup> Основные показатели результатов включали послеоперационную остаточную рефракцию, остроту зрения, глазные и внутренние аберрации (чем ниже значение, тем лучше), коэффициент Штреля (используется для количественной оценки влияния аберраций волнового фронта на качество изображения; чем выше, тем лучше) и передаточную функцию модуляции (MTF — мера «резкости» изображения, создаваемого системой линз (чем выше, тем лучше). Хотя не было статистически значимой разницы между группами в послеоперационной сфере, цилиндре, некорригированной или корригированной остроте зрения вдаль, группа, получавшая фемтосекундный лазер, имела значительно лучшее качество зрения в послеоперационном периоде. Группа фемтосекундных лазеров имела более низкие значения внутриглазной вертикальный наклон ( $Z_1^{-1}$ :  $-0,05 \pm 0,36$  против  $0,27 \pm 0,57$ ,  $P = 0,006$ ) и кома-абберации ( $Z_3^{-1}$ :  $-0,003 \pm 0,11$  против  $0,1 \pm 0,15$ ,  $P = 0,006$ ); и значительно более высокие коэффициенты Штреля ( $0,02 \pm 0,02$  против  $0,01 \pm 0,01$ ,  $P = 0,001$ ); и более высокие значения MTF для всех измеренных циклов на градус ( $P < 0,05$ ) (Рисунок 3-13). Таким образом, передняя капсулотомия, выполненная с помощью лазера, вызывала значительно меньше внутренних аберраций по сравнению с глазами, подвергшимся ручному формированию капсулорексиса.

Рисунок 3-13. Эти рисунки демонстрируют изображения функции рассеяния точки (PSF) и средние характеристики передаточной функции одного из 48 глаз, перенесших переднюю капсулотомию LenSx, и одного из 51 глаза, которому была проведена стандартная ручная операция по капсулорексису катаракты. Зрительные характеристики этих пациентов, измеренные по коэффициенту Штреля, были наиболее близки к среднему значению в соответствующей исследовательской группе. (А) График PSF в случае ручного капсулорексиса показывает более астигматическую и коматозную деградацию изображения сетчатки по сравнению с (Б) PSF в случае лазерного капсулорексиса, который меньше и имеет круглую форму. (Перепечатано с разрешения Вэнса Томпсона, доктора медицинских наук.)



### РЕТИНАЛЕФФЕКТЫ

В исследовании толщины макулы сравнивались пациенты, перенесшие несложную традиционную факоемульсификацию (20 глаз) и лазерную факофрагментацию с LenSx Laser (20 глаз).<sup>17</sup> Толщину и объем макулы оценивали предварительно с помощью ОКТ, оперативно, через 1 неделю и 1 месяц после операции. Первичными результатами были толщина сетчатки по ОКТ в трех макулярных областях и общий макулярный объем через 1 неделю и 1 месяц после операции. Вторичными исходами были изменения толщины сетчатки через 1 неделю и 1 месяц после операции в зависимости от предоперационных значений толщины сетчатки и эффективного времени факоемульсификации. Многовариантное моделирование влияния хирургического вмешательства на послеоперационную толщину макулы показало значительно меньшую толщину макулы во внутреннем кольце сетчатки в группе лазера после поправки на возраст и предоперационную толщину.

с течением времени ( $P = 0,002$ ). В группе стандартной факоемульсификации внутреннее макулярное кольцо было значительно толще через 1 неделю (среднее значение: 21,68 мкм; 95% доверительный интервал [ДИ]; от 11,93 до 31,44 мкм;  $P < 0,001$ ). Через 1 месяц эта разница уже не была значимой (среднее значение: 17,56 мкм; 95% ДИ; от -3,21 до 38,32 мкм;  $P = 0,09$ ). Экстракция катаракты с помощью фемтосекундного лазера не отличается по послеоперационной толщине макулы по сравнению с традиционной ультразвуковой факоемульсификацией.

## РАЗМЕЩЕНИЕ ЛАЗЕРНОЙ СИСТЕМЫ

LenSx Laser был разработан для использования как в амбулаторном хирургическом центре, так и в условиях операционной больницы. Поскольку процедура LenSx является «чистой» процедурой, ее можно проводить в комнате для подготовки пациентов за пределами стерильной операционной. Глаз остается закрытой системой до тех пор, пока пациента не переведут в операционную, где откроют разрезы, удалят хрусталик и имплантируют ИОЛ. В идеале лазер можно установить в легкодоступном центральном месте, чтобы один лазер мог обслуживать несколько операционных, оптимизируя хирургический поток.

Лазер также можно разместить внутри операционной, поскольку его конструкция позволяет разместить под интерфейсом пациента любую стандартную каталку для пациентов. Пациента можно легко перемещать между лазером и аппаратом для факоемульсификации для завершения операции.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ И БУДУЩИЕ НАПРАВЛЕНИЯ

Лазерная система LenSx одобрена FDA для использования при разрезах роговицы, передней капсулотомии и фрагментации хрусталика. Аппарат заменяет многие этапы хирургии катаракты, выполняемые вручную, с точностью лазера, управляемого компьютером, настраиваемого хирургом и управляемого по изображению. Исследования, проведенные на данный момент, продемонстрировали безопасность и эффективность лазера, включая более точный размер диаметра передней капсулотомии, центрирование и округлость; большая предсказуемость эффективного позиционирования линзы; уменьшение времени факоемульсификации; уменьшение потери эндотелиальных клеток; уменьшились внутренние аберрации; и отсутствие вредного увеличения толщины желтого пятна.

В качестве дополнения к стандартному аппарату для факоемульсификации LenSx Laser может ускорить и упростить процесс удаления линз. Дополнительные исследования приведут к разработке новых устройств, оптимизированных для платформы LenSx: наконечников, насадок для факоемульсификации и даже новых конструкций ИОЛ.

### ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Лозель Ф.Х., Нимц М.Х., Билле Дж.Ф., Юхас Т. Лазерно-индуцированный оптический пробой твердых и мягких тканей и его зависимость от длительности импульса. IEEE J Квантовый электрон. 1996;32:1717–1722.
2. Юхас Т., Кастис Г., Суарес С., Тури Л., Бор З., Брон В.Е. Динамика ударных волн и кавитационных пузырьков при фоторазрушении сред глаза и их зависимость от длительности импульса. В: Жак С.Л., изд. Взаимодействие лазера с тканью VII: Труды Международного общества инженеров фотооптических приборов. Беллингем, Вашингтон; 1996: 2681: 428–436.
3. Курц Р.М., Лю Х, Элнер В.М., Сквайер Дж.А., Ду Д., Муру Г. Фоторазрушение в роговице человека как функция ширины лазерного импульса. J Хирургия рефракции катаракты. 1997;13:653–658.

4. Надь З., Такач А., Эллкорт Т., Сарайба М. Первоначальная клиническая оценка внутриглазного фемтосекундного лазера в хирургии катаракты. *J Refract Surg.* 2009;25:1053–1060.
5. Норби С. Источники ошибок при расчете оптической силы интраокулярных линз. *Ж Хирургия рефракции катаракты.* 2008;34:368–376.
6. Хилл В.Е. Расчеты силы интраокулярных линз: мы застряли в прошлом? *Клин Эксп Офтальмол.* 2009;37:761–762.
7. Чекич О., Бэтмен С. Взаимосвязь между размером капсулорексиса и глубиной передней камеры. *Офтальмологические хирургические лазеры.* 1999;32:1661–1666.
8. Хилл В.Е. Удар по эмметропии. В: Чанг Д., изд. Освоение рефракционных ИОЛ: искусство и наука. Торофэр, Нью-Джерси: SLACK Incorporated; 2008: 533-534.
9. Надя З.З. Применение внутриглазного фемтосекундного лазера в хирургии катаракты. *Хирургия рефракции катаракты сегодня.* Сентябрь 2009 г.: 79–82.
10. Надь З.З., Краниц К., Такач А.И. и др. Сравнение параметров децентрации интраокулярной линзы после фемтосекундной и ручной капсулотомии. *J Refract Surg.* 2011;27:564–569.
11. Краниц К., Такач А., Михалц К. и др. Параметры фемтосекундной лазерной капсулотомии и ручного непрерывного криволинейного капсулорексиса и их влияние на центрацию интраокулярной линзы. *J Refract Surg.* 2011;27(8):558–563.
12. Кнорц МС. Снижение средней совокупной рассеиваемой энергии после разжижения хрусталика с помощью внутриглазного фемтосекундного лазера. Плакат представлен на ежегодном собрании Американской академии офтальмологии; октябрь 2011 г.; Орlando, Флорида.
13. Hill W. Ожидаемое влияние хирургически индуцированного астигматизма на результаты торических интраокулярных линз AcrySof. *Ж Хирургия рефракции катаракты.* 2008;34:364–367.
14. Табан М., Беренс А., Ньюкомб Р.Л. и др. Острый эндофтальмит после операции по удалению катаракты: систематический обзор литературы. *Архив Офтальмол.* 2005;123:613–620.
15. Беренс А., Старк В.Дж., Пратцер К.А., Макдоннелл П.Дж. Динамика малоразрезных светлых ран роговицы после операции факоэмульсификации с использованием оптической когерентной томографии в раннем послеоперационном периоде. *J Refract Surg.* 2008;24:46–49.
16. Михалц К., Кнорц М.К., Алио Дж.Л. и др. Внутренние аберрации и оптическое качество после фемтосекундной лазерной передней капсулотомии в хирургии катаракты. *J Refract Surg.* 2011;27:711–716.
17. Экседы М., Михалц К., Ковач И. и др. Влияние фемтосекундной лазерной хирургии катаракты на макулу. *J Refract Surg.* 2011;27:717–722.

Клинический опыт использования лазерной системы  
LenSAR см. в главе 7 «Лазерная система LenSx»:

Клинический опыт, стр. 73.

Сводная таблица лазерной системы LenSx	
<i>Лазерная система LenSx 550 (Alcon LenSx Inc, Форт-Уэрт, Техас)</i>	
Дата одобрения передней капсулотомии FDA и номер 510 (К)	14 августа 2009 г.; K082947
Фрагментация линзы. Дата одобрения FDA и номер 510(К).	23 апреля 2010 г.; K094052
Дата одобрения FDA и номер 510(К) разрезов роговицы	11 декабря 2009 г.; K092647
Дата утверждения европейского знака CE	3 февраля 2011 г. (для капсулотомии, разжижения хрусталика, разрезов роговицы)
Площадь станка (база системы)	1,21 × 0,69 м (без учета нависающего кронштейна и кровати пациента)
Рекомендуемое место для лазера	Предпочтения хирурга
Положение лазера относительно пациента	Лазер находится слева от пациента
Положение хирурга относительно пациента	Улучшенное место для сидения
Расположение пациента	Стандартные носилки для пациентов
Компоненты интерфейса стыковки	Одноразовое конусообразное устройство прикрепляет глаз пациента к лазеру
Особенности крепления лазера к роговице пациента	Изогнутая контактная линза на поверхности роговицы со встроенным присоской.
Необходимость зеркала для век	Предпочтения хирурга
Количество просмотровых экранов 2	
Технология визуализации	ОКТ в реальном времени
Фемтосекундный лазер	Длина волны 1030 нм, длительность импульса ≤ 800 фс, максимальная энергия импульса 15 мкДж, частота повторения и размер пятна запатентованы.
Удаление катаракты	Факоэмульсификация по предпочтениям хирурга
Программируемые параметры лечения	Настраиваемые разрезы роговицы, капсулотомия и фрагментация хрусталика
Возможность хирурга изменять параметры лечения	Регулировки, выполняемые до и во время операции с помощью сенсорной панели, клавиатуры или трекбола.



# T<sup>4</sup>

## Прецизионная лазерная система Catalys

*Уильям Калбертсон, доктор медицины; Дуглас Д. Кох, доктор медицины; Барри Сейбел, доктор медицины; Роджер Штайнерт, доктор медицины;*

*Джонатан Х. Талмо, доктор медицинских наук; и Джон Вукич, доктор медицинских наук*

Корпорация OptiMedica (Саннивейл, Калифорния) была основана в 2004 году и в 2006 году выпустила фотокоагулятор Pattern SCA<sup>n</sup> Laser (PASCAL) для лечения диабетической ретинопатии, который был приобретен корпорацией Torcon (Токио, Япония) в августе 2010 года. Создание компании и разработка фемтосекундной лазерной системы под контролем оптической когерентной томографии (ОКТ) для хирургии катаракты начались с ключевой цели - создать точную, но простую в использовании систему.

Первоначальные стендовые лабораторные работы были направлены на то, чтобы продемонстрировать осуществимость технологии. Проведены исследования безопасности, разработаны энергетические и параметры сканирования. После одобрения исследовательского наблюдательного совета (IRB) в июне 2009 года в Доминиканской Республике в клинике Clinica Centro Laser Хуана Батле, доктор медицинских наук, в Санто-Доминго начались исследования на людях с использованием прототипа фемтосекундного лазера со встроенной технологией ОКТ-изображения и сканирования изображений. После подтверждения безопасности и точности лазера был разработан более совершенный коммерческий инструмент под названием Catalys Precision Laser System, получивший в сентябре 2011 года знак Conformité Européene (CE) для хирургии в Европе (рис. 4-1). В декабре 2011 года Управление по санитарному надзору за качеством пищевых продуктов и медикаментов США (FDA) 510(k) выдало разрешение на продажу препарата в отношении передней капсулотомии и фрагментации хрусталика. В этой главе подробно описаны технические характеристики, которые делают фемтосекундную лазерную систему Catalys уникальной, и рассматриваются результаты исследований с использованием машины.



Рисунок 4-1. Прецизионная лазерная система Catalys.  
(Перепечатано с разрешения OptiMedica.)

#### СИСТЕМА НАЧАЛЬНОЙ СТЫКОВКИ ИНТЕРФЕЙСА ПАЦИЕНТА

Во время создания лоскута при лазерном кератомилезе *in situ* (LASIK) с помощью фемтосекундного лазера обработка происходит на глубине примерно от 100 до 150 мкм. При фемтосекундной лазерной хирургии катаракты глубина лечения может достигать 8 мм. Роговица становится частью оптической системы, когда лазер подсоединяется к глазу.

В 2007 году первоначальный дизайн интерфейса Catalys/пациент включал изогнутую линзу с прямой аппланацией роговицы. Для достижения хорошей аппланации требовалось немалое усилие, и у пациентов наблюдались косметически нежелательные субконъюнктивальные кровоизлияния. Еще одним ограничением была сложность разработки изогнутого интерфейса, который бы подходил каждому глазу. Хотя визуализация и лечение с использованием исходного интерфейса изогнутой линзы были осуществимы, качество видеоизображения ухудшилось из-за того, что у значительного процента пациентов, участвующих в наших клинических исследованиях, образовывались складки роговицы.

Эти складки оказывают существенное влияние на оптическое качество как визуализации, так и проведения лазерного лечения.

Во время первоначальных клинических испытаний интерфейс изогнутой линзы также создавал трудности с поддержанием стабильной стыковки с пациентом. Без присоски, обеспечивающей тактильную обратную связь, хирург мог только попытаться нацелить и закрепить систему изогнутых линз (фактором могло быть сотрудничество пациента). До тех пор, пока не произошло полное сближение стекла и слезного мениска, было трудно визуализировать анатомию глаза, чтобы выполнить точную настройку для улучшения центрации. Описанные выше ограничения привели к разработке нынешней двухкомпонентной системы.

#### ЛИКВИДОПТИКА ИНТЕРФЕЙС ДОКОВАЛЬНАЯ СИСТЕМА

Интерфейс, состоящий из двух частей, включает заполненное жидкостью присасывающее кольцо с апертурой 13,5 мм и одноразовую линзу. Он удерживает глаз пациента в стабильном состоянии без значительного повышения внутриглазного давления (ВГД) и делает глаз частью оптической системы лазера.



Рисунок 4-2. Система стыковки интерфейса Liquid Optics. (Перепечатано с разрешения OptiMedica.)

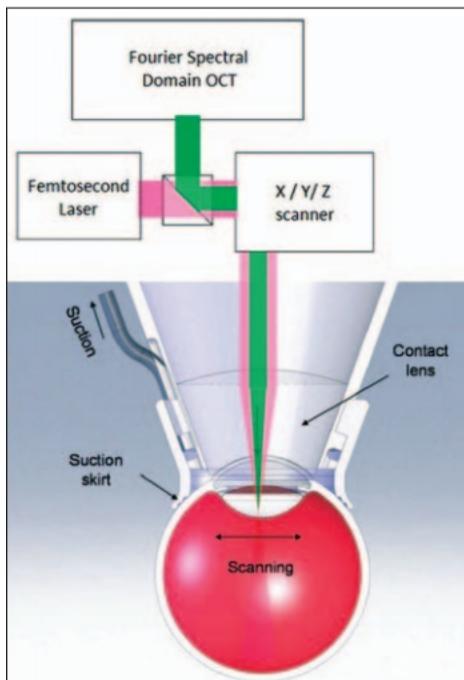


Рисунок 4-3. Схема интерфейса между лазером и глазом пациента, при этом фемтосекундный луч и луч ОКТ используют один и тот же оптический путь. (Перепечатано с разрешения OptiMedica.)

(Рисунки 4-2 и 4-3). Прямая аппланация роговицы отсутствует, и создается четкий оптический путь для видеоизображения в реальном времени, ОКТ и доставки фемтосекундной лазерной энергии (рис. 4-4).

В клинических исследованиях поле зрения этой стыковочной системы было шире, чем что при использовании изогнутых контактных линз и наблюдалось 5-кратное снижение повышения ВГД. <sup>1</sup> В 43 последовательных случаях, исследованных с помощью ОКТ, складок роговицы не было видно (OptiMedica, неопубликованные данные). Таким образом, преимущества, предоставляемые бесконтактным интерфейсом Liquid Optics, включают улучшенное оптическое качество, отсутствие складок роговицы, более широкое поле зрения, более низкое повышение давления с повышенным комфортом для пациента, более стабильный глаз во время стыковки и меньшее количество косметических проблем с меньшим количеством субконъюнктивных рубцов, -оррагии. Эти совокупные преимущества обеспечивают максимальную точность, комфорт пациента и оптимизированный рабочий процесс.

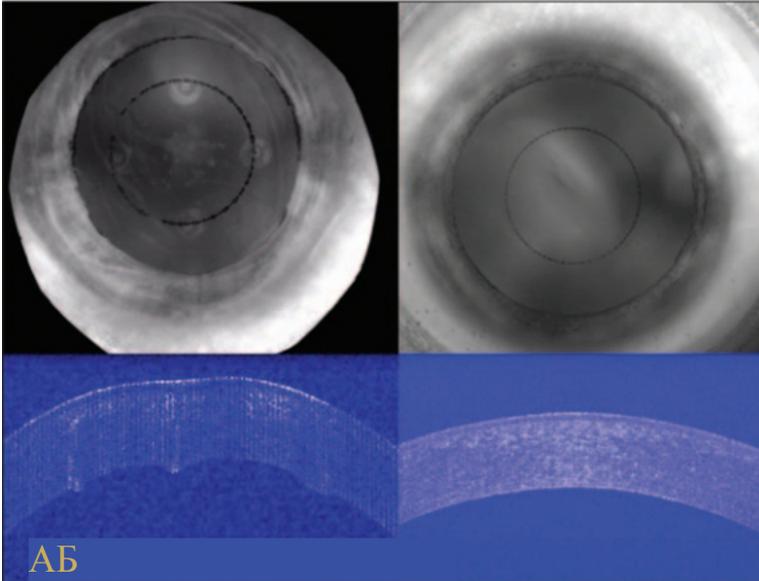


Рисунок 4-4. Оптические эффекты дизайна интерфейса пациента. (А) ОКТ роговицы и вид видеосистемы с оригинальным изогнутым аппланационным интерфейсом OptiMedica. (В) ОКТ роговицы и вид видеосистемы с интерфейсом Liquid Optics. (Перепечатано с разрешения OptiMedica.)

#### ИНТЕГРИРОВАННАЯ АЛГОРИТМОВАЯ СИСТЕМА ИЗОБРАЖЕНИЯ НАВЕДЕНИЯ

В системе Catalys поверхности глаз визуализируются с помощью запатентованной системы ОКТ-изображения в трехмерной спектральной области большого радиуса действия и улучшаются с помощью алгоритмов, разработанных для обеспечения доставки фемтосекундных лазерных импульсов в нужное место при сохранении зон безопасности. План лечения хирурга может быть составлен индивидуально в зависимости от анатомии глаза и ориентации глаза каждого пациента.

ОКТ сначала сканирует поверхность глаза. Затем программное обеспечение системы идентифицирует поверхности глаза, создает зоны исключения лазера и адаптирует план лечения в соответствии с анатомией глаза пациента. Запатентованная система визуализации INTEGRated ALgorithm (Integral) Guidance удаляет инвертированные ОКТ-изображения (например, двойную радужную оболочку) и другие артефакты визуализации, что позволяет идентифицировать заднюю капсулу. Структуры глаза и зоны отчуждения лазера могут быть созданы даже тогда, когда глаз наклонен относительно пути лазера от стыковки или в случае наклона хрусталика с зональным расхождением. Кроме того, поскольку поверхности глаза, такие как передняя и задняя капсула, точно идентифицируются, можно максимально увеличить глубину фрагментации, чтобы безопасно доставить лазерную энергию глубоко в хрусталик и максимально упростить разборку хрусталика (рис. 4-5).

#### ПЕРЕДНЯЯ КАПСУЛОТОМИЯ

Одним из наиболее важных этапов операции по удалению катаракты является создание непрерывного криволинейного капсулорексиса, поскольку размер, форма и расположение  
 Ключевые факторы, определяющие эффективное положение линзы.<sup>2</sup> Отклонение 0,5 мм от заданного  
 Было показано, что эффективное положение линзы приводит к ошибке рефракции 1,00 Д.<sup>3</sup>

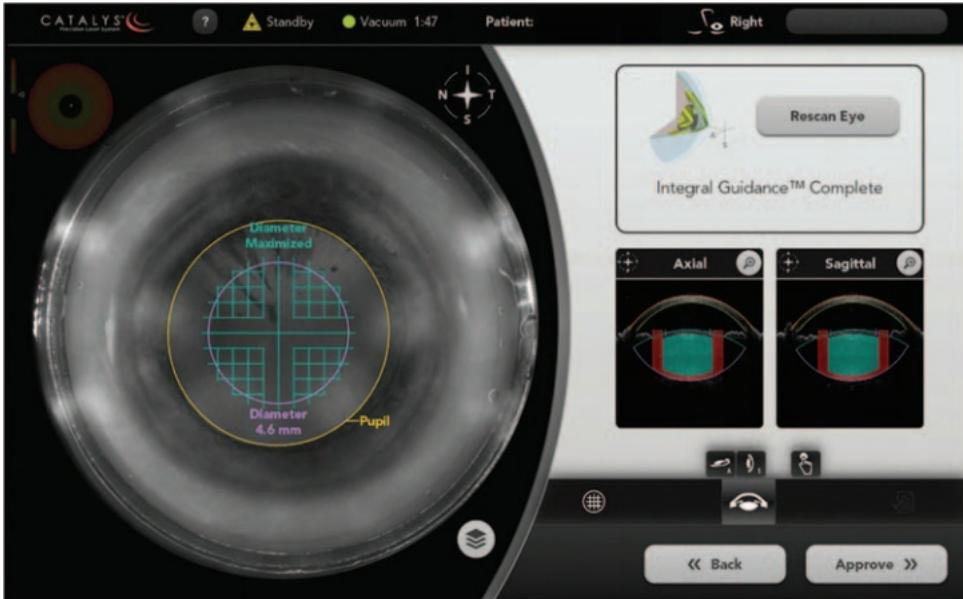


Рисунок 4-5. Интегральное руководство, как показано на экране графического интерфейса пользователя. Поверхности глаза картируются, и план лечения индивидуален для каждого пациента. (Перепечатано с разрешения OptiMedica.)

Проспективное исследование с участием 29 пациентов было направлено на изучение результатов передней капсулотомии с использованием фемтосекундного лазера. Глаза были рандомизированы для использования фемтосекундного лазера Catalys под ОКТ-наведением для капсулотомии и фрагментации хрусталика с последующим удалением хрусталика с помощью ультразвуковой факоэмульсификации в одном глазу, а второй глаз лечился традиционными методами хирургии катаракты, включая ручную непрерывный криволинейный капсулорексис и экстракцию хрусталика с помощью ультразвуковой факоэмульсификации.

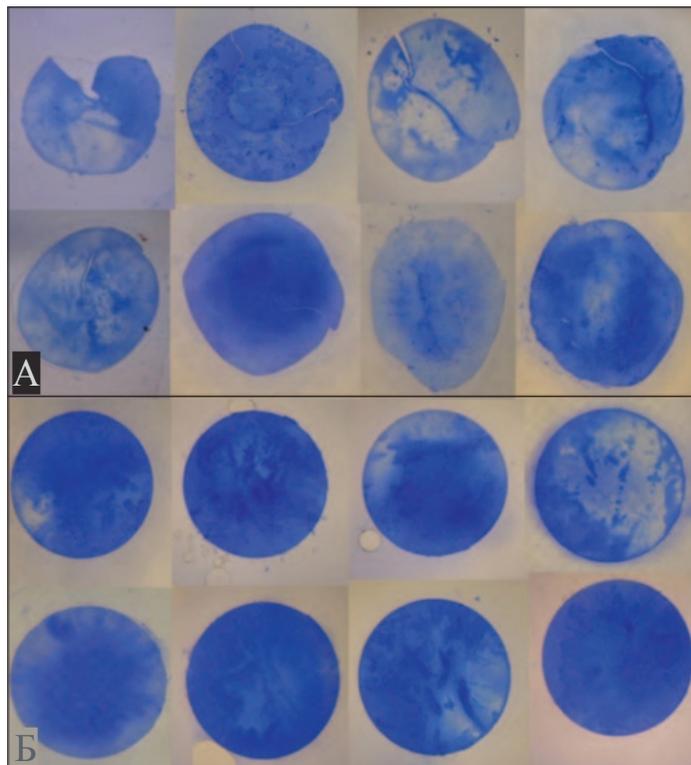
У всех пациентов была визуально значимая катаракта (оцененная по шкале помутнения хрусталика). Шкала Классификационной системы III<sup>4</sup>) и прошли лечение в Centro Laser в Санто-Доминго, Доминиканская Республика. Переменные, которые сравнивались между двумя группами, включали размер и форма удаленного капсульного диска.<sup>5,6</sup> Также была проведена центрация капсулотомии. анализировались в группе фемтосекундных лазеров. Клинические результаты исследования суммированы в Таблице 4-1.

Размер достигнутой лазерной капсулотомии и ручного капсулорексиса определяли путем взятия 4 срезов разного диаметра под разными углами по окружности в 360 градусов. Затем 4 показания были усреднены. Отклонение между запланированным и достигнутым диаметром было значительно больше в группе ручного капсулорексиса. ( $339 \pm 248$  мкм) по сравнению с группой лазерной капсулотомии ( $29 \pm 26$  мкм,  $P < 0,001$ ).<sup>5,6</sup> Лазер Капсулотомия была значительно более круговой по сравнению с ручной капсулорексисом, где 1,0 представлял собой идеальный круг (рис. 4-6). В группе лазера округлость капсулотомии составила  $0,936 \pm 0,038$  мкм; в ручной группе - циркулярность капсулотомии составлял  $0,774 \pm 0,146$  мкм ( $P < 0,001$ ).<sup>5</sup>

В клиническом исследовании центрацию измеряли относительно расширенного зрачка. В группе лазерной капсулотомии результаты находились в пределах всего 77 мкм от идеального относительного центра. к расширенному центру зрачка (рис. 4-7).<sup>5</sup> Лазерная система Catalys в настоящее время позволяет хирургу выбрать метод центрирования капсулотомии. Методы центрирования, которые автоматически регистрируются системой визуализации Integral Guidance, включают расширенный зрачок, лимб и геометрический центр сканируемой капсулы.

Таблица 4-1			
Краткое изложение клинических результатов исследования, сравнивающего хирургию катаракты с использованием фемтосекундного лазера Catalys и стандартную ручную хирургию катаракты			
Переменная по сравнению	Ручная группа (среднее ± стандартное отклонение)	Лазерная группа (среднее ± стандартное отклонение)	P-значение
Размер капсулотомии (отклонение от запланированного размера)	339 ± 248 мкм	29 ± 26 мкм	< 0,001
Форма капсулотомии (1 = идеальный круг)	0,774 ± 0,146	0,936 ± 0,038	< 0,001
Центрация капсулотомии (расстояние от предполагаемого центра)	н/д	77 ± 47 мкм	н/д
Средняя совокупная рассеиваемая энергия (CDE) во время ультразвуковой факоэмульсификации	18,54 ± 12,07	10,39 ± 6,61	0,005

Рисунок 4-6. Морфология капсульного диска. (А) Ручной капсулорексис, окрашенный трипановым синим, демонстрирующий неравномерность размера и формы. (В) Лазерная капсулотомия с помощью лазерной системы Catalys Precision, окрашенная трипановым синим, демонстрирующая большую точность размера и формы. (Перепечатано с разрешения OptiMedica.)



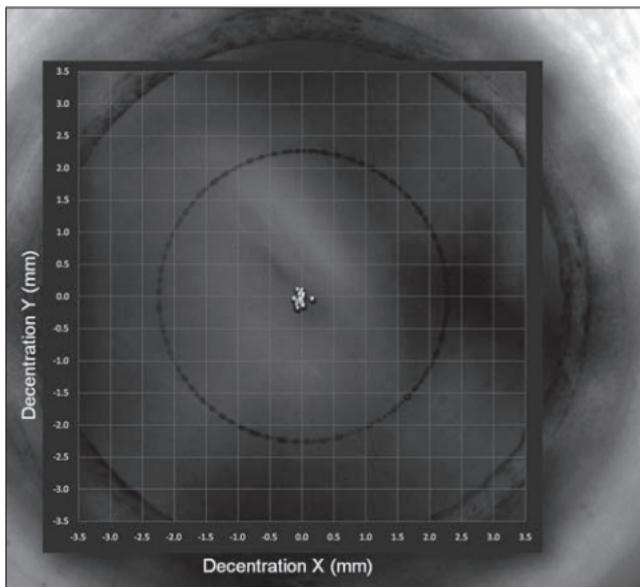


Рисунок 4-7. Центрирование лазерной капсулотомии. Кадр из видеосистемы Catalys во время создания капсулотомии. Наложение X/Yscat-terplot на среднеквадратичное расстояние от центра капсулотомии и центра расширенного зрачка.

(Перепечатано с разрешения OptiMedica.)

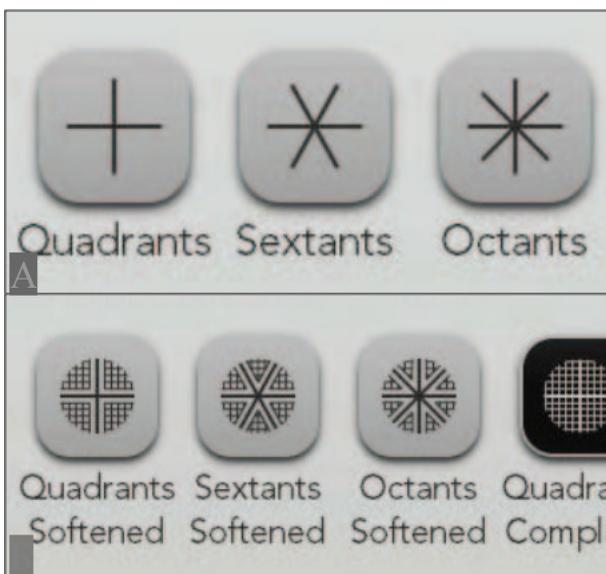


Рисунок 4-8. (А) Вид сверху на сегментацию хрусталика и (В) схемы смягчения хрусталика при лечении с использованием лазерной системы Catalys. (Перепечатано с разрешения OptiMedica.)

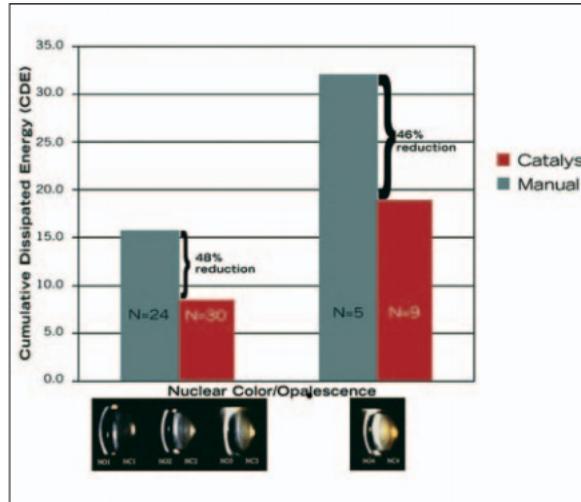
## ФРАГМЕНТАЦИЯ ЛИНЗЫ

В проспективном клиническом исследовании, описанном ранее, кумулятивную рассеиваемую энергию (CDE), использованную для удаления катаракты, также сравнивали между ручными группой капсулорексиса и группой фемтосекундной лазерной хирургии катаракты. 5,6

За счет предварительной сегментации ядра и использования шаблонов разрезов для смягчения более твердых катаракт лазерная фрагментация с помощью Catalys снизила количество ультразвуковой энергии, исходящей от насадки для факоэмульсификации (рис. 4-8). Семьдесят два процента пациентов в исследовании имели катаракту 3 или 4 степени. Во время факоэмульсификации регистрировали общую энергию, использованную с метрическим CDE от Alcon Infiniti (Alcon, Форт-Уэрт, Техас).

Результаты показали, что система Catalys снижает CDE в среднем на 40% при всех степенях катаракты, включая катаракту 4-й степени (рис. 4-9).

Рисунок 4-9. CDE используется в каждом случае с сегментацией и смягчением линзы и без нее, выполненными с помощью лазерной системы Catalys. Результаты сгруппированы по предоперационному цвету ядер и опалесценции на основе шкалы III системы классификации помутнений хрусталика. (Перепечатано с разрешения OptiMedica.)



Помимо снижения CDE, исследование продемонстрировало убедительную эффективность лечения с использованием фрагментации хрусталика фемтосекундным лазером. Был проведен видеоанализ количества этапов активной факоэмульсификации как в мануальной процедуре, так и в процедуре Catalys. Количество шагов, необходимых для удаления ядра после обработки Catalys.

Увеличение времени было на 45% меньше, что привело к меньшему количеству маневров и меньшему времени пребывания внутри глаза. <sup>5</sup>

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ И БУДУЩИЕ НАПРАВЛЕНИЯ

К особенностям лазерной системы Catalys относятся система стыковки интерфейса Liquid Optics, система ОКТ-визуализации Integral Guidance и удобный интерфейс с сенсорным экраном, позволяющий хирургу программировать определенные параметры. На момент написания этой статьи эта лазерная платформа в настоящее время одобрена FDA для лазерной передней капсулотомии и фрагментации хрусталика. Дополнительные исследования продолжаются, и в ближайшем будущем, вероятно, будет получено дополнительное разрешение на разрезы роговицы с использованием этой фемтосекундной лазерной системы.

### ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Таламо Дж.Х., Калбертсон В.В., Баттл Дж.Ф. и др. Характеристики оптического интерфейса для лазерной хирургии катаракты. Доклад представлен на ежегодном собрании Американского общества катаракты и рефракционной хирургии; март 2011 г.; Сан-Диего, Калифорния.
2. Янофф М., Дукер Дж. *Офтальмология: Экспертная консультация. 3-е изд. Мосби; 2008.*
3. Хоу Ф. Обследование пациентов перед операцией по удалению катаракты. В: Янофф М., Дукер Дж., ред. *Офтальмология: Экспертная консультация. 3-е изд. Сент-Луис, Мичиган: Мосби; 2008: 410–422.*
4. Chylack LT, Wolfe JK, Singer DM и др. Система классификации помутнений хрусталика III. *Архив Офтальмол.* 1993;111:831–836.
5. Фридман Н.Дж., Паланкер Д.В., Шуэле Г. и др. Фемтосекундная лазерная капсулотомия. *Ж Хирургия рефракции катаракты.* 2011;37:1189–1198.
6. Паланкер Д.В., Блюменкранц М.С., Андерсен Дэн и др. Фемтосекундная лазерная хирургия катаракты с интегрированной оптической когерентной томографией. *Научный перевод Мед.* 2010;2:58–85.

Клинический опыт использования лазерной системы LensAR  
см. в главе 8 «Прецизионная лазерная система Catalys»:

Клинический опыт, стр. 85.

Сводная таблица прецизионной лазерной системы Catalys	
Прецизионная лазерная система Catalys (Optimedica Corporation, Саннивейл, Калифорния)	
Дата одобрения передней капсулотомии FDA и номер 510 (К)	21 декабря 2011 г.; K113479
Фрагментация линзы. Дата одобрения FDA и номер 510(К).	21 декабря 2011 г.; K113479
Дата одобрения FDA и номер 510(К) разрезов роговицы	В ожидании
Дата утверждения европейского знака CE	12 сентября 2011 г. (по поводу капсулотомии и фрагментации хрусталика)
Площадь станка (база системы)	0,87 × 0,68 м (без учета фиксированного нависающего аппликационного кронштейна и кровати пациента)
Рекомендуемое место для лазера	Предпочтения хирурга
Положение лазера относительно пациента	Лазер находится справа от пациента
Положение хирурга относительно пациента	Улучшенное место для сидения
Расположение пациента	Платформа пациента Catalys с управлением с помощью джойстика
Компоненты интерфейса стыковки	Одноразовое присасывающее кольцо прикрепляет глаз пациента к линзе с лазерной фокусировкой.
Особенности крепления лазера к роговице пациента	Аспирационное фиксирующее устройство, интерфейс жидкости, отсутствие прямой аппланации поверхности роговицы.
Необходимость зеркала для век	Предпочтения хирурга
Количество просмотровых экранов 1	
Технология визуализации	Интегральная система визуализации ОКТ с высоким разрешением в Фурье-спектральной области
Фемтосекундный лазер	Длина волны 1030 нм, длительность импульса 400 фс, максимальная энергия импульса 10 мкДж, частота повторения от 12 до 80 кГц, размер фокусного пятна 10 мкм
Удаление катаракты	Факоэмульсификация по предпочтениям хирурга
Программируемые параметры лечения	Настраиваемые разрезы роговицы, капсулотомия и фрагментация хрусталика
Возможность хирурга изменять параметры лечения	Регулировки, выполняемые до и во время операции с помощью сенсорного экрана





# Фемтосекундная лазерная платформа VICTUS

*Фридер Лезель, доктор философии;*

*Касу Прасад Редди, MB, DO, MRCOphth; и Герд У. Ауффарт, доктор медицинских наук, FEBO*

В 2009 году подразделение Technolas рефракционной хирургии Bausch + Lomb (Рочестер, Нью-Йорк и Мюнхен, Германия) и 20/10 Perfect Vision AG (Гейдельберг, Германия) создали совместное предприятие: Technolas Perfect Vision GmbH (TPV, Мюнхен, Германия). Компания 20/10 Perfect Vision была основана в 1999 году и занималась коммерческой разработкой фемтосекундной лазерной системы для терапевтического использования в хирургии роговицы. TPV была первой компанией, разработавшей изогнутый интерфейс пациента для хирургии роговицы. Другие вехи компании показаны в Таблице 5-1 и включают создание туннеля интрастромального кольцевого сегмента роговицы для лечения кератоконуса, разрезы астигматической кератотомии (АК), процедуры кератопластики и интрастромальную (безлоскутную) рефракционную технику, известную как процедура INTRACOR, которая получила знак Conformité Européenne (CE) для лечения пресбиопии и дальнозоркости низкой степени в апреле 2009 года. Фемтосекундная лазерная платформа VICTUS компании TPV получила знак CE 6 декабря 2011 года для лечения передней капсулотомии и фрагментации хрусталика. Помимо показаний к хирургии катаракты, эта лазерная платформа имеет дополнительные показания для лоскутов лазерного кератомилеза in situ (LASIK), сквозной и ламеллярной кератопластики, включая фемтосекундный лазер. эндотелиальная кератопластика, АК и ИНТРАКОР. <sup>1</sup> В США продукты питания и лекарства Одобрение администрации (FDA) все еще ожидается. Хотя фемтосекундную лазерную платформу VICTUS можно использовать для различных целей, в этой главе будут подробно описаны технические характеристики машины с акцентом на модуль хирургии катаракты и соответствующие исследовательские исследования.

Таблица 5-1

## Вехи использования фемтосекундного лазера Technolas Perfect Vision в офтальмологии

2005 г.	Интрастромальные туннели кольцевых сегментов роговицы при кератоконусе
2005 г.	Астигматические кератотомические разрезы
2005 г.	Сквозная кератопластика
2006 г.	Задняя ламеллярная кератопластика
2007 год	Нециркулярная десятиугольная кератопластика
2007 год	Связь между фемтосекундным лазером и диагностическим блоком
2007 год	ИНТРАКОР для коррекции пресбиопии
2011 год	Фемтосекундная хирургия катаракты с использованием VICTUS Femtosec. Лазерная платформа

Рисунок 5-1. Фемтосекундная лазерная платформа VICTUS. (Перепечатано с разрешения Bausch + Lomb, Technolas Perfect Vision.)



## ОБЗОР МАШИНЫ

Рабочая станция VICTUS (рис. 5-1) включает в себя твердотельный лазер с диодной накачкой, излучающий свет в ближнем инфракрасном диапазоне с длиной волны 1028 нм. Система обладает гибкостью в своих параметрах и поэтому может использоваться как для создания лоскута LASIK, так и для лазерной хирургии катаракты: длительность импульса составляет от 400 до 550 фс, частота пульса может достигать 160 кГц, а энергия импульса - от субмикроджоулей до более чем 10 мкДж, в зависимости от типа процедуры. Эти функции в сочетании со специальными программными модулями позволяют настраивать эту фемтосекундную лазерную платформу для различных процедур. Оптическая система аппарата предназначена для обработки передней поверхности глаза диаметром до 13 мм и всего объема хрусталика и роговицы.

Сам лазерный луч жестко фокусируется мощной линзой, которая также служит соединителем для элемента стабилизации глаза, который является уникальным интерфейсом пациента.



Рисунок 5-2. Зажим всасывающего кольца.  
(Перепечатано с разрешения  
Bausch + Lomb, Technolas  
Per-fectVision.)



Рисунок 5-3. Изогнутый интерфейс  
пациента обеспечивает легкий контакт.  
(Перепечатано с разрешения  
Bausch + Lomb, Technolas  
Per-fectVision.)

## ПАЦИЕНТСКИЙ ИНТЕРФЕЙС

Комплект интерфейса пациента состоит из двух компонентов: интерфейса пациента и зажима аспирационного кольца (Рисунок 5-2). Запатентованный интерфейс пациента имеет изогнутую поверхность толщиной около 35 D, что сводит к минимуму аппланацию роговицы (рис. 5-3) за счет адаптации к естественной кривизне.

роговицы. <sup>2</sup> Аппланация может вызвать появление стрий или морщин роговицы, которые могут нарушить однородность лазерного луча при фокусировке на хрусталик глаза. Стрии роговицы, возникающие в результате аппланации, также могут привести к несовершенному рефраксии.

Во время фиксации на роговице (стыковке) и во время процедуры датчики давления контролируют давление и силу сдвига на глазу в трех измерениях (плоскость X/Y и вдоль передней/задней оси). Эти датчики помогают хирургу правильно расположить и центрировать глаз. Когда центрация неоптимальна, трехмерная оценка давления помогает хирургу избежать потерь при аспирации или стыковке. В сочетании с изогнутым интерфейсом такое «умное» управление давлением позволяет точно адаптировать стыковку интерфейса к глазу пациента в зависимости от типа запланированной процедуры. Например, при лечении передней части роговицы с помощью лоскута LASIK параметры стыковки выбираются так, чтобы обеспечить очень стабильный эталонный интерфейс роговицы. Интерфейс нечувствителен к движениям глаз и изменениям биомеханики роговицы, вызванным пульсациями внутриглазного давления (ВГД). Для сравнения, жидкостный интерфейс или плоский интерфейс пациента могут не обеспечивать стабильного эталона и могут вызывать ошибки при децентрировании. При обработке хрусталика параметры стыковки подбираются таким образом, чтобы обеспечить беспрепятственный путь лазерного луча через роговицу во избежание образования складок и рвби десцеметовой мембраны.

Объем всасывания также контролируется компьютером. В случае прерывания всасывания процедура автоматически прекращается. По завершении

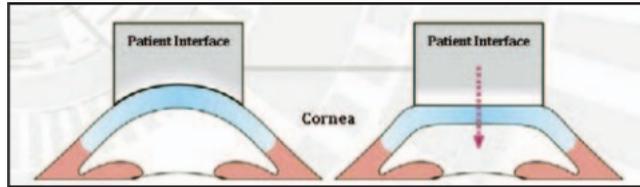


Рисунок 5-4. Модель изогнутого аппланационного интерфейса в сравнении со сжимающим аппланационным интерфейсом. (Перепечатано с разрешения Bausch + Lomb, Technolas Perfect Vision.)



Рисунок 5-5. Графический интерфейс пользователя и система визуализации оптической когерентной томографии фемтосекундной лазерной системы VICTUS. (Перепечатано с разрешения Bausch + Lomb, Technolas Perfect Vision.)

Это рутинная процедура, вакуум всасывания автоматически сбрасывается, и хирург удаляет интерфейс пациента из глаза. Сообщалось, что после аспирации среднее ВГД составило 45 мм рт. ст. по сравнению с 71 мм рт. ст. при другом методе. система (Рисунок 5-4).<sup>3</sup>

#### СИСТЕМА ИЗОБРАЖЕНИЯ В РЕАЛЬНОМ ВРЕМЕНИ

Фемтосекундная лазерная платформа VICTUS оснащена системой визуализации оптической когерентной томографии (ОКТ) в реальном времени (рис. 5-5). Трехмерная визуализация позволяет точно идентифицировать и локализовать анатомические ориентиры, включая переднюю и заднюю поверхности роговицы и капсулы хрусталика. Изображения делаются до и во время процедуры и непрерывно отображаются на протяжении всей процедуры. Систему визуализации можно использовать для предоперационного планирования и мониторинга в режиме реального времени, что позволяет хирургу провести соответствующее вмешательство на основе данных в реальном времени. Хирург может вносить коррективы в режиме реального времени; например, диаметр передней капсулотомии в зависимости от типа интраокулярной линзы (ИОЛ). Программное обеспечение также помогает установить безопасные расстояния для защиты таких тканей, как радужная диафрагма и задняя капсула хрусталика.

Это также позволяет хирургам настраивать схемы резания, глубину и другие параметры в соответствии с хирургическими потребностями и предпочтениями.

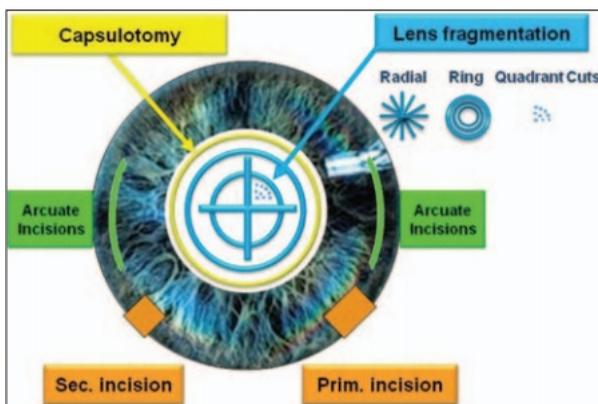


Рисунок 5-6. Фемтосекундная лазерная платформа VICTUS для хирургии катаракты предлагает множество вариантов применения и моделей разрезов. Прим = основной; Секундный = вторичный. (Перепечатано с разрешения Bausch + Lomb, Tech-nolas Perfect Vision.)

#### ГРАФИЧЕСКИЙ ПОЛЬЗОВАТЕЛЬСКИЙ ИНТЕРФЕЙС

Рабочая станция VICTUS оснащена двумя большими экранами для взаимодействия с пользователем и управления. Графический интерфейс пользователя модуля катаракты (см. Рисунок 5-5) позволяет планировать и контролировать лечение на основе глазных данных, полученных с помощью непрерывной ОКТ-визуализации и видео. Программное обеспечение лазера настраивается и удобно для пользователя. В программное обеспечение запрограммированы соответствующие зоны безопасности для защиты чувствительных зон тканей. Все соответствующие этапы операции — например, передняя капсулотомия, фрагментация хрусталика и дугообразные разрезы — могут быть заранее определены перед операцией простым щелчком мыши.

#### ВОЗМОЖНОСТИ МОДУЛЯ КАТАРАКТЫ

Модуль катаракты позволяет хирургу выполнять следующие этапы процедуры катаракты: капсулотомию, фрагментацию хрусталика, а также разрез роговицы и дуги. (Рисунок 5-6).<sup>1,4</sup> Клинические исследования продемонстрировали способность лазера минимизировать отклонений центрации и обеспечить отличную циркулярность капсулотомии. Кроме того, фрагментацию хрусталика можно осуществить с использованием различных схем абляции, включая радиальные (поперечные и секторные разрезы), окружные (кольца), квадрантные разрезы и их комбинации, в зависимости от степени катаракты (от 1 до 5) и презентации. Было показано, что фрагментация линзы лазером VICTUS снижает Энергия ультразвука, используемая при факоземulsionации.<sup>4</sup>

#### ПЕРЕДНЯЯ КАСУЛОТОМИЯ, ПРЕКЛИНИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Силу передней капсулотомии свиней, полученной с помощью фемтосекундного лазера VICTUS, сравнивали с хорошо подобранной ручной передней капсулорексией. Силу, необходимую для растяжения и разрыва рексиса, измеряли на лабораторном приборе. Измерение силы (в микроныютонах), необходимой для растяжения и разрыва капсулы, показало, что рексисы, создаваемые лазером, были сильнее почти на 10%. коэффициент 2 (от 100 до 120 мН по сравнению с размером ручного рексиса от 40 до 90 мН).<sup>1</sup> Электронные микрофотографии рексиса, созданных лазером, показали большую однородность и меньшее количество дефектов по сравнению с рексисом, сделанными вручную.

Таблица 5-2 Краткое изложение клинических результатов исследования, сравнивающего переднюю капсулотомию фемтосекундным лазером VICTUS с ручным капсулорексисом				
<i>Переменная по сравнению</i>	<i>Ручная группа N = 31 (Среднее ± стандартное отклонение)</i>	<i>Лазерная группа N = 31 (Среднее ± стандартное отклонение)</i>	<i>P-значение</i>	
Возраст пациента	63 ± 13 лет	60 ± 10 лет	Нет	значительный
Степень катаракты (степень 5: белая/коричневая катаракта)	2,5 ± 1,1	2,6 ± 1,1	Нет	значительный
Предполагаемая капсулотомия размер	550 мкм	550 мкм	Нет	значительный
Достигнута капсулотомия диаметр	н/д	550 ± 12 мкм	н/д	
Капсулотомия Трансляция из центра	160 ± 90 мкм	95 ± 37 мкм	<0,001	
Форма капсулотомии. Соотношение 1 = идеальный круг)	0,93 ± 0,04	0,97 ± 0,01	<0,001	

#### ПЕРЕДНЕКАПУСОТОМИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ

Безопасность, эффективность и точность передней капсулотомии, созданной с помощью фемтосекундной лазерной платформы VICTUS, сравнивали с ручной капсулотомией (с использованием изогнутой иглы 26 калибра) в проспективном мультихирургическом (n = 4) одноцентровом исследовании. Исследование у 62 пациентов с катарактой в глазной больнице Maxivision.<sup>4</sup> Демография пациентов и при- Результаты измерения округлости, центриции и диаметра передней капсулотомии суммированы в Таблице 5-2. Средний возраст в группе VICTUS составлял 60 ± 10 лет (диапазон от 34 до 80 лет), а средняя степень катаракты составляла 2,6 ± 1,1 (белая/коричневая катаракта от 1 до 5 степени). Средний возраст в группе, получавшей мануальную терапию, составлял 63 ± 13 лет (диапазон от 42 до 90 лет), а средняя степень катаракты составляла 2,5 ± 1,1 (белая катаракта от 1 до 5 степени). Все процедуры в обеих хирургических группах не сопровождались какими-либо нежелательными явлениями.

Визуальный осмотр показал, что капсулотомии, выполненные с помощью фемтосекундного лазера VICTUS, имели большую округлость, чем капсулотомии, созданные вручную (рис. 5-7). Для количественной оценки этого эффекта округлость рексиса была смоделирована как эллипс с минимальным и максимальным размером. Отношение минимального размера к максимальному в идеальном круге равно 1,0. Рисунок 5-8 показывает, что коэффициент округлости для лазерной группы был ближе к 1,0 (0,97 ± 0,01), чем у ручной группы (0,93 ± 0,04). Даже по сравнению с превосходными мануальными рекси, созданными опытными хирургами, значительно лучшая округлость была достигнута с помощью фемтосекундного лазера.<sup>4</sup>

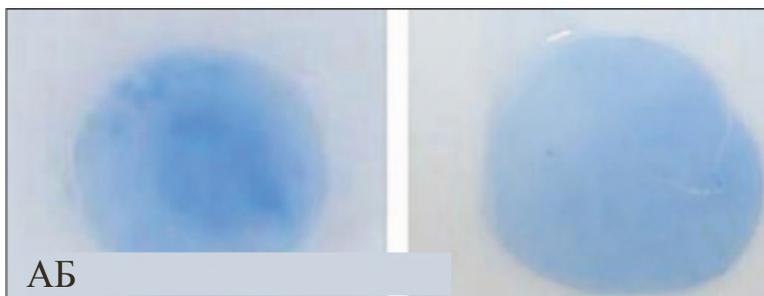


Рисунок 5-7. Круглая передняя капсулотомия. (А) Фемтосекундная лазерная резка. (Б) Ручная резка. (Перепечатано с разрешения Bausch + Lomb, Technolas Perfect Vision.)

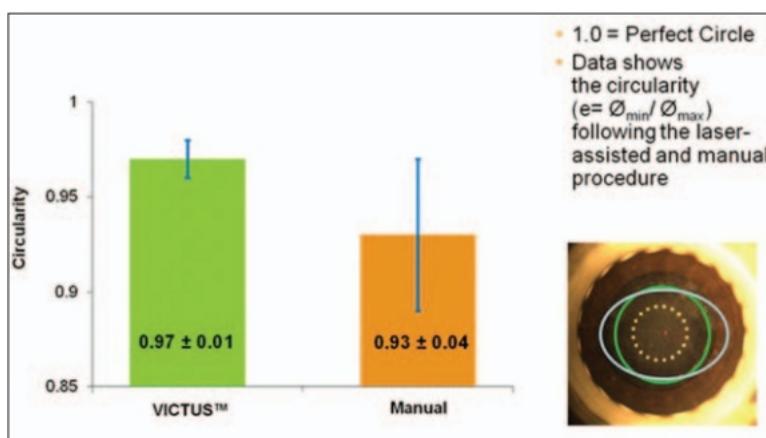


Рисунок 5-8. Превосходная округлость (близкая к 1,0) капсулотомии с помощью фемтосекундного лазера VICTUS по сравнению с ручной техникой. (Перепечатано с разрешения Bausch + Lomb, Technolas Perfect Vision.)

Средняя центрация капсулотомии с помощью фемтосекундного лазера VICTUS была значительно более точной по сравнению с ручной капсулотомией (рис. 5-9). Отклонение от идеальной центрации (децентрации) в фемтосекундной группе составило  $95 \pm 37$  мкм, а в мануальной группе —  $160 \pm 90$  мкм ( $P < 0,001$ ). Стандартные отклонения децентрации также значительно различались ( $P < 0,001$ ), что указывает на лучшую повторяемость центрация капсулотомии фемтосекундным лазером.

Измеренные с помощью фемтосекундного лазера VICTUS диаметры передней капсулотомии полностью соответствовали предполагаемому диаметру 5,5 мм, поскольку среднее измеренное значение совпадало с предполагаемым диаметром с небольшим стандартным отклонением  $\pm 0,12$  мм (рис. 5-10).

## ФРАГМЕНТАЦИЯ ЛИНЗЫ

С помощью фемтосекундного лазера VICTUS можно выбрать и применить различные схемы фрагментации линзы, например, окружные (кольцевые), радиальные разрезы или их комбинацию. обоих (см. Рисунок 5-6).<sup>4</sup> Было показано, что фрагментация лазерной линзы обеспечивает от 30% до 50% сокращение эффективного времени факоэмульсификации (ЭПТ) для всех 4 степеней катаракты

Рисунок 5-9. Превосходная центрация капсулотомии с помощью фемтосекундного лазера VICTUS по сравнению с ручным рексисом, выполненным с использованием изогнутой иглы калибра 26. (Перепечатано с разрешения Bausch + Lomb, Technolas Perfect Vision.)

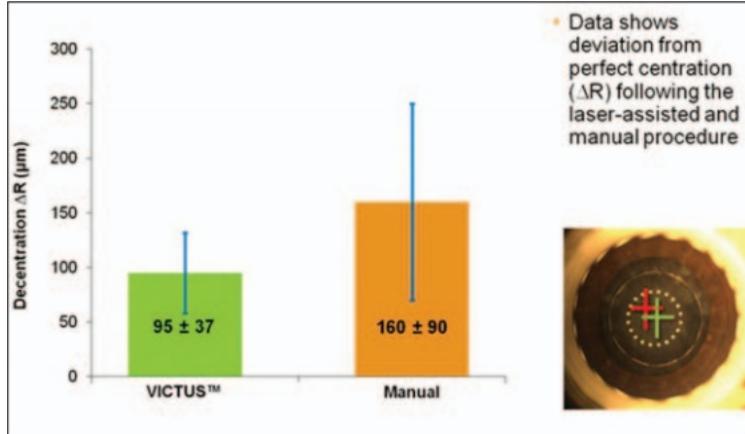


Рисунок 5-10. В клиническом исследовании 5 средний измеренный послеоперационный диаметр передней капсулотомии с помощью фемтосекундного лазера VICTUS оказался очень точным по сравнению с предполагаемым диаметром 5,50 мм (стандартное отклонение ± 0,12 мм).

(Перепечатано с разрешения Bausch + Lomb/Technolas Perfect Vision.)

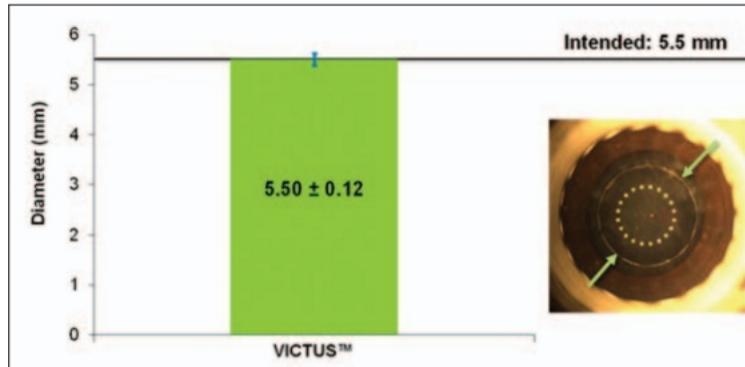
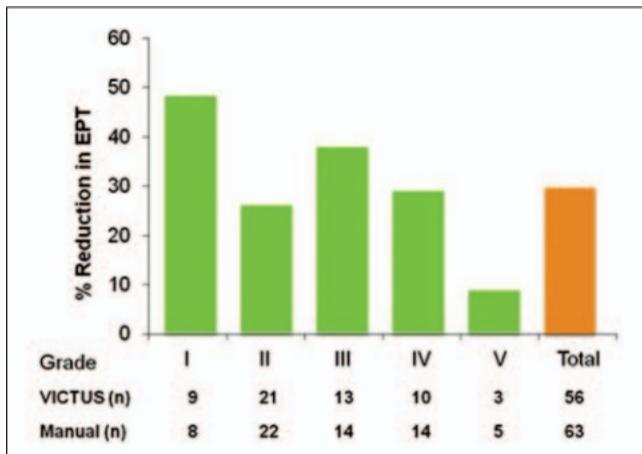


Рисунок 5-11. Измеренное процентное снижение EPT после лазерной фрагментации хрусталика VICTUS по сравнению с ручной техникой, построенное в зависимости от степени катаракты. (Перепечатано с разрешения Bausch + Lomb, Technolas Perfect Vision.)



(Рисунок 5-11). Воздействие более высоких уровней энергии ультразвука и его более длительная продолжительность отрицательно влияют на клеточный метаболизм, структуру распределения митохондрий и клеточную структуру.

Размер эндотелиальных клеток роговицы.<sup>5</sup>

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Фемтосекундная лазерная платформа VICTUS уникальна тем, что на одной платформе можно выполнять широкий спектр рефракционных процедур (создание лоскута LASIK, INTRACOR и терапевтическую хирургию роговицы). В будущем можно ожидать дополнительную интеграцию катарактальной и рефракционной хирургии. Примером может служить фемтосекундная хирургия катаракты с имплантацией ИОЛ, выполняемая в сочетании с процедурой рефракционной пресбиопии на роговице. Изогнутый интерфейс пациента — еще одна уникальная особенность системы VICTUS. Аппланация минимальна, а в сочетании с интеллектуальными датчиками контроля давления система обеспечивает минимальную деформацию роговицы. ОКТ-изображения в реальном времени позволяют хирургу планировать и контролировать во время процедур. При процедурах катаракты точность капсулотомии была продемонстрирована как точная центрация, диаметр и округлость. В будущем создание разрезов в капсуле хрусталика и роговице, контролируемое компьютером, открывает потенциал для создания ИОЛ следующего поколения, которые невозможно имплантировать только вручную.

### ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Ауффарт ГУ. Первый европейский опыт использования фемтосекундной лазерной платформы VICTUS. Документ представлен на ежегодном собрании Европейского общества катарактальной и рефракционной хирургии. сентябрь 2011 г.; Вена, Австрия.
2. Сунг Х.К., Мальта Дж.Б. Фемтосекундные лазеры в офтальмологии. *Am J Офтальмол.* 2009;147:189–197.
3. Фихте СМ, Эндл М.Дж., Элмер Т.Р. Опыт хирургов США – TECHNOLAS 520F. Представлено на симпозиуме Американского общества катаракты и рефракционной хирургии; март 2011 г.; Сан-Диего, Калифорния.
4. Редди К.П. Лазерная рефракционная хирургия катаракты на фемтосекундной лазерной платформе VICTUS. Доклад представлен на ежегодном собрании Европейского общества катарактальной и рефракционной хирургии. сентябрь 2011 г.; Вена, Австрия.
5. Ниши Ю., Энглер С., На Д.Р. и др. Оценка окислительного стресса, вызванного факоэмульсификацией, и повреждения культивируемых эндотелиальных клеток роговицы человека в различных растворах с использованием окислительно-восстановительной флуорометрической микроскопии. *Акта Офтальмол.* 2010;88:e323–e327.

Клинический опыт использования лазерной системы LensAR  
см. в главе 9 «Фемтосекундная лазерная платформа VICTUS»:

Клинический опыт, стр. 95.

Сводная таблица лазерной системы VICTUS	
<i>Лазерная система VICTUS (Bausch + Lomb/Technolas Perfect Vision, Мюнхен, Германия)</i>	
Дата одобрения передней капсулотомии FDA и номер 510 (К)	В ожидании
Фрагментация линзы. Дата одобрения FDA и номер 510(К).	В ожидании
Дата одобрения FDA и номер 510(К) разрезов роговицы	В ожидании
Дата утверждения европейского знака CE	6 декабря 2011 г. (для лоскутов LASIK, трансплантации роговицы, астигматической кератотомии, INTRACOR, капсулотомии, фрагментации хрусталика)
Площадь станка (база системы)	2,08 × 0,83 м (без учета фиксированного нависающего аппликационного кронштейна и кровати пациента)
Рекомендуемое место для лазера	Предпочтения хирурга
Положение лазера относительно пациента	Лазер находится слева от пациента
Положение хирурга относительно пациента	Улучшенное место для сидения
Расположение пациента	Платформа для пациента VICTUS с джойстиковым управлением
Компоненты интерфейса стыковки	Одноразовый зажим-присоска прикрепляет глаз пациента к линзе с лазерной фокусировкой.
Особенности крепления лазера к роговице пациента	Изогнутое присасывающее устройство для фиксации на поверхности роговицы.
Необходимость зеркала для век	Предпочтения хирурга
Количество просмотров экранов	2
Технология визуализации	Октябрь реального времени
Фемтосекундный лазер	Длина волны 1028 нм, длительность импульса от 400 до 550 фс, максимальная энергия импульса ≥ 10 мкДж, частота повторения до 160 кГц, размер пятна неприменимо
Удаление катаракты	Факоэмульсификация по предпочтениям хирурга
Программируемые параметры лечения	Настраиваемые разрезы роговицы, капсулотомия и фрагментация хрусталика
Возможность хирурга изменять параметры лечения	Регулировки, выполняемые до и во время операции с помощью сенсорного экрана и клавиатуры.





# Т<sup>раздел</sup> II

Клинический опыт  
фемтосекундной лазерной  
хирургии катаракты



# T6

## Лазерная система LensAR Клинический опыт

*Харви Сий Уй, доктор медицинских наук*

*и Уильям Трэтлер, доктор медицинских наук*

Эта глава написана после более чем 500 операций по удалению катаракты с использованием фемтосекундного лазера с использованием лазерной системы LensAR (LensAR Inc, Винтер-Парк, Флорида). Одним словом, это эффективная и безопасная процедура. Единственным осложнением, связанным с лазером, было преходящее повышение внутриглазного давления (ВГД) после применения фемтосекундного лазера. Иногда повышение ВГД может быть результатом образования пузырьков газа или закупорки трабекулярной сети белками хрусталика, высвобождаемыми после открытия капсулотомии в течение длительного периода времени. Завершение операции и быстрое удаление всех белков хрусталика с помощью факэмульсификации обычно разрешает это осложнение и сводит к минимуму риск повреждения зрительного нерва. В следующем разделе обсуждается клинический опыт с точки зрения хирурга при использовании лазерной системы LensAR, жемчужинах для операционной и ведении сложных случаев.

### ХИРУРГИЧЕСКИЙ ОПЫТ

#### *Предоперационное планирование*

Как и при любой хирургической процедуре, для достижения наилучших результатов необходимы предоперационная оценка, планирование и подготовка. Создание идеального размера и формы.

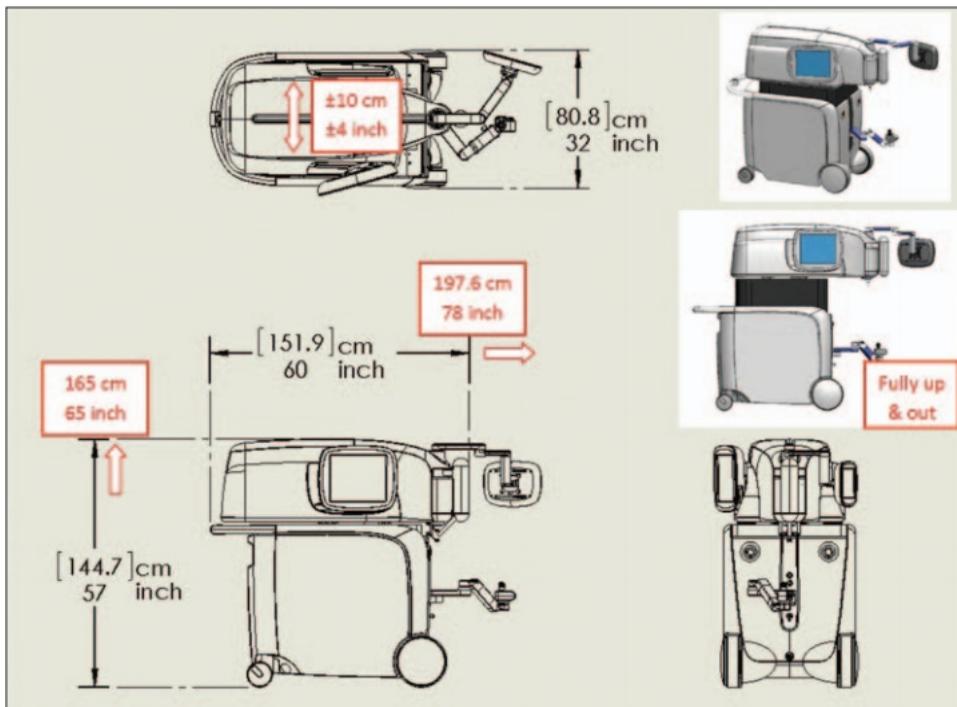


Рисунок 6-1. Размеры лазерной системы LensAR. (Перепечатано с разрешения LensAR Inc.)

капсулотомия значительно повышает простоту и безопасность ядерной разборки. При планировании лазерного лечения следует обращать внимание на расширение, размер, форму и центрацию зрачка. К нормальному зрачку применяется стандартный запрограммированный алгоритм лазерной капсулотомии для создания зрачка одинакового размера и формы. капсулотомия.<sup>1,2</sup>

Достижение максимального расширения зрачков с помощью местных мидриатиков и нестероидных противовоспалительных средств обеспечивает большую гибкость при создании зон капсулотомии и лечения фрагментации. При наличии маленьких зрачков диаметр планируемой капсулотомии может быть уменьшен; однако желательно сохранять запас безопасности в 500 мкм от края зрачка. Для эксцентричных зрачков зона лечения может по-прежнему располагаться по центру зрительной оси даже при уменьшении диаметра зоны лечения. Эта возможность регулировать параметры капсулотомии и центрировать капсулотомию вдоль оптической оси особенно важна при использовании интраокулярных линз (ИОЛ) премиум-класса, таких как мультифокальные ИОЛ, аккомодационные ИОЛ или асферические ИОЛ. В случаях, когда имеется эксцентричный зрачок, но центрация ИОЛ не так важна, например, при использовании неасферических ИОЛ, центр зоны лечения может быть смещен, чтобы обеспечить возможность создания более крупной капсулотомии для облегчения удаления материала линзы.

### *Подготовка пациента и стыковка*

После расширения пациента помещают на лечебную кровать, расположенную рядом с фемтосекундным лазером LensAR. Альтернативно, лазерный аппарат, который полностью мобилен и занимает относительно небольшую площадь (32 на 60 дюймов), можно переместить в положение рядом с кроватью пациента (рис. 6-1). Местная анестезия обычно обеспечивает достаточный комфорт при использовании аспирационного кольца; однако,



Рисунок 6-2. Лазерная система LensAR пристыковывается к пациенту. Заполненный жидкостью сенсорный интерфейс без роговицы прикрепляется к глазу с помощью всасывания низкого давления через сервоуправляемую лазерную головку, которая опускается для стыковки с интерфейсом с помощью джойстика. (Перепечатано с разрешения LensAR Inc.)

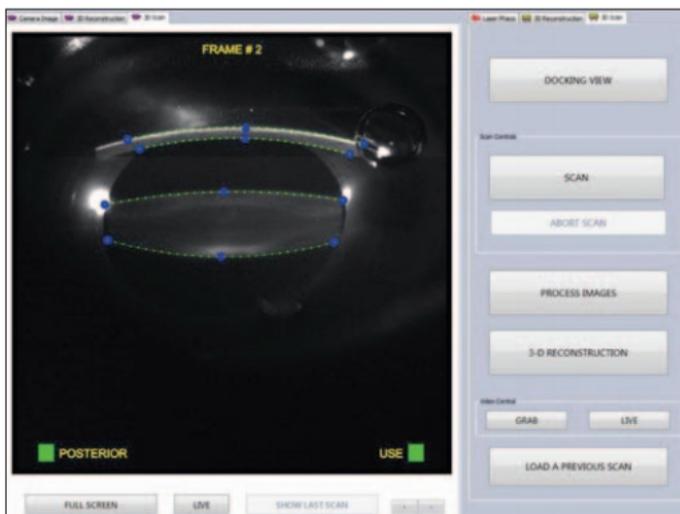


Рисунок 6-3. Снимок экрана программного обеспечения, демонстрирующий изображение Шаймп-Флога ключевых структур переднего сегмента и автоматическое определение глазных поверхностей (передняя и задняя поверхность роговицы, передняя и задняя поверхность хрусталика). Собранные данные используются для планирования фемтосекундной операции по удалению катаракты. (Перепечатано с разрешения LensAR Inc.)

в некоторых глазах с небольшими глазными щелями или аномально сильным мигательным рефлексом может потребоваться инъекция периокулярного лидокаина для расслабления круговых мышц и облегчения установки присасывающего кольца. После того, как присасывающее кольцо помещается на поверхность глаза, лазерная система, при активации ножной педали, применяет заранее заданную низкую степень всасывания с сервоуправлением, чтобы удерживать кольцо на месте. Затем сбалансированный солевой раствор заполняет всасывающее кольцо. Затем выдвигной рычаг с электроприводом стыкуется с всасывающим кольцом (Рисунок 6-2). Процесс стыковки контролируется через экран хирурга и управляется с помощью джойстика.

### Активация системы изображения

После стыковки система визуализации LensAR Laser активируется для съемки изображений. и биометрические измерения размеров переднего сегмента. <sup>3</sup> Передний и задние вершины хрусталика и роговицы обнаруживаются, и аппарат также может определить любой наклон линзы от оптической оси линзы. Это позволяет хирургу точно центрировать переднюю капсулотомию по оптической оси хрусталика, даже когда глаз наклонен (рис. 6-3). Хирург может в любой момент выбрать

Рисунок 6-4. Трехмерная модель переднего сегмента с наложенной передней капсулотомией (желтый) и планом лечения фрагментации хрусталика (синий). (Перепечатано с разрешения LensAR Inc.)

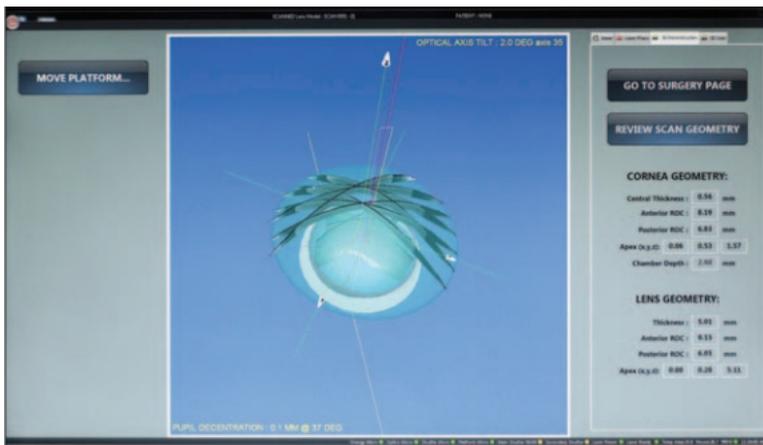
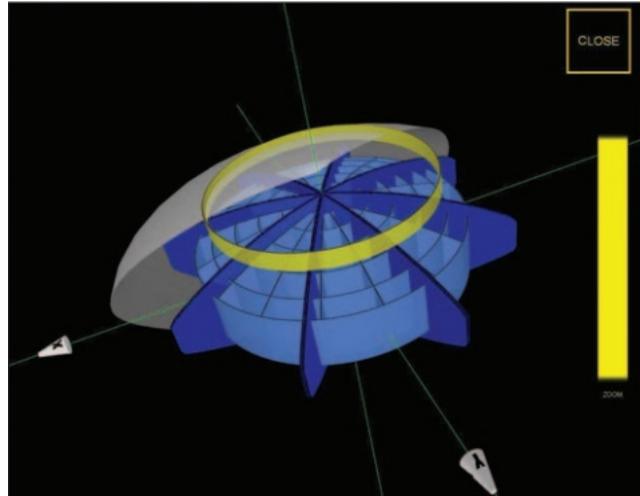


Рисунок 6-5. Изображение экрана оценки биометрии лазерной системы LensAR. Трехмерная реконструкция передней части глаза включает конкретные биометрические данные, включая передний и задний радиус кривизны роговицы и хрусталика, глубину передней камеры, а также толщину роговицы и хрусталика. (Перепечатано с разрешения LensAR Inc.)

модифицировать программное обеспечение анализа измеряемых поверхностей. Полученные изображения затем используются для создания трехмерной модели ключевых структур глаза, а на трехмерную модель накладываются индивидуальные планы лечения капсулотомии и фрагментации хрусталика (рис. 6-4 и 6-5). В программное обеспечение фемтосекундного аппарата включены различные заранее запрограммированные алгоритмы лечения фрагментации хрусталика (рис. 6-6). Алгоритм лечения настраивается в соответствии с предпочтениями хирурга с учетом предпочтительного места разреза, выбора ИОЛ, плотности ядра хрусталика и предпочтительной хирургической техники. Программное обеспечение учитывает наклон линзы и обеспечивает заранее заданный зазор задней капсулы для сохранения запаса безопасности от задней капсулы. Важнейшие параметры визуализируются и настраиваются с помощью графического пользовательского интерфейса. Как только хирург удовлетворен запланированными параметрами лечения, активируется фемтосекундный лазер.

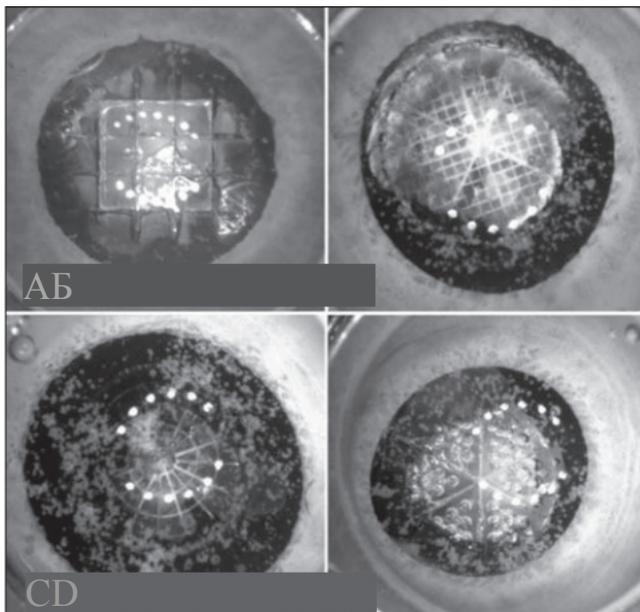


Рисунок 6-6. Виды с экрана хирурга различных алгоритмов лазерного лечения фрагментации хрусталика: (А) кубики, (Б) кубики и пирожки, (С) сферы и пироги и (D) пироги. (Перепечатано с разрешения LensAR Inc.)

### *Фемтосекундное лазерное лечение*

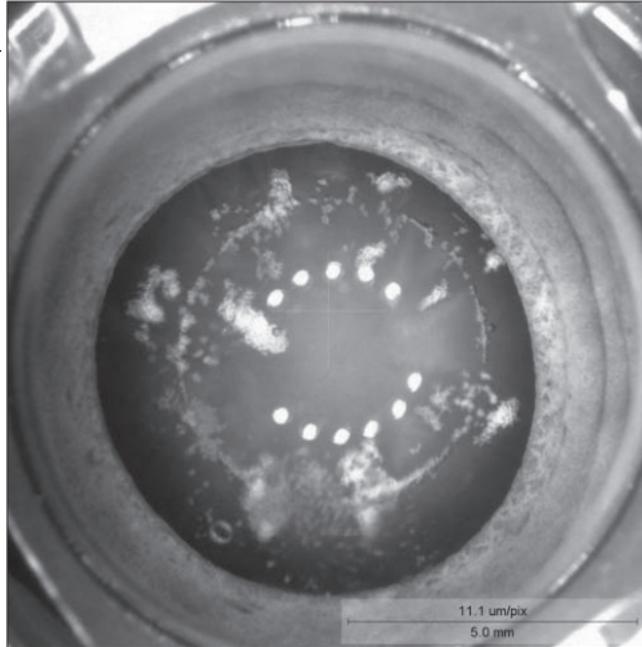
Выбор алгоритма лечения может повлиять на эффективность хирургического вмешательства и количество ультразвуковой энергии, необходимой для разборки ядра. Для хирургов, применяющих принцип «стоп-и-руби» и «пре-чоп», схема фрагментации круга лучше всего подходит для снижения энергии ультразвука и облегчения разборки ядра. Круговая диаграмма делит ядро на 20 частей, каждый из которых делится на внутренний, средний и внешний сегменты. В исследовании, в котором сравнивалась лазерная фрагментация круговой диаграммы с традиционным лечением глаз, алгоритм круговой обработки позволил снизить кумулятивную дисперсионную энергию на -100%, -64%, -39%, -42% для степеней 1, 2, 3, 4. катаракты соответственно (LensAR Inc, неопубликованные данные).

Процесс фемтосекундного лечения контролируется в режиме реального времени с помощью хирургического экрана и может быть прерван хирургом в любой момент. Поскольку фемтосекундный лазер вызывает фоторазрушение, наблюдаются пузырьки газа (рис. 6-7). Чтобы свести к минимуму влияние пузырьков газа, сначала выполняют капсулотомию, затем лазерную фрагментацию хрусталика в заднем и переднем направлении, а затем хирургические разрезы роговицы. Продолжительность хирургического вмешательства от стыковки до окончания лечения обычно составляет от 3 до 4 минут.

### *После завершения лечения фемтосекундным лазером*

После лечения фемтосекундным лазером пациента отстыковывают. В зависимости от настроек клиники мобильный аппарат LensAR можно убрать с дороги, а аппарат для факоэмульсификации расположить для операции по удалению катаракты. Альтернативно, пациента можно перевести в другую комнату для факоэмульсификации. Предпочтительно свести к минимуму задержки между фемтосекундным лечением и факоэмульсификацией, поскольку ВГД может увеличиться, если достаточное количество белков хрусталика, вытекших из «открытой» капсулы, закупорит трабекулярную сеть. Перед операцией по удалению катаракты выполняются обычные этапы асептики и наложения повязок. Могут быть применены дополнительные обезболивающие капли.

Рисунок 6-7. Вид с экрана хирурга при лазерной передней капсулотомии. Обратите внимание на окружающую линию пузырьков газа вдоль края капсулотомии. (Перепечатано с разрешения LensAR Inc.)



На веко накладывают зеркало с последующей профилактикой повидон-йодом. Затем через хирургические разрезы вводится офтальмологическое вязкоэластичное устройство (OVD). Затем кнопку капсулотомии удаляют с помощью щипцов для капсулорексиса. Специально разработанные щипцы для лазерной капсулотомии (Uy Laser Capsulotomy Forceps, Asico, Westmount, IL) с широкими прилегающими поверхностями могут облегчить удаление капсулы. Иногда на крае капсулотомии наблюдаются спайки, которые легко разрываются легким нажатием или потягиванием кнопки капсулотомии. За этим следует гидродиссекция и гидроделинеация с сознательным усилием высвободить как можно больше газовых пузырьков изнутри ядра, чтобы предотвратить всплеск после окклюзии, вызванный газовыми пузырьками.

Затем ядерная разборка может продолжаться в соответствии с предпочитаемой хирургом техникой. Фрагментация лазерной линзы облегчает разборку ядра независимо от техники. Хирурги, применяющие принцип «разделяй и властвуй», обнаружат, что фрагментированное ядро можно удалить при меньшей мощности ультразвука во время моделирования, а также при удалении сегмента, поскольку более мелкие фрагменты уже сильно разрушены и их можно легко аспирировать кончиком инструмента. Для хирургов, занимающихся чрезмерными и предварительными операциями, лазерная фрагментация хрусталика создает плоскости расщепления, которые способствуют чистому и последовательному перелому или разделению ядра.

Основным преимуществом безопасности фрагментации хрусталика фемтосекундным лазером является способность программного обеспечения аппарата создавать защитную эпинуклеарную пластинку или зону безопасности между ядром и задней капсулой. Этот слой может снизить риск непреднамеренного разрыва или прокола задней капсулы хирургическими инструментами или твердым и острым материалом линзы. К концу разборки ядра эта эпинуклеарная пластинка легко удаляется с помощью аспирации или щадящей факоэмульсификации. Оставшийся кортикальный материал затем аспирируют с использованием традиционной автоматической ирригации и аспирации. Остальная часть операции по удалению катаракты проводится по стандартной методике: использование вязкоэластика для заполнения капсульного мешка для размещения ИОЛ с последующей вязкоэластической эвакуацией и гидратацией разрезов роговицы, чтобы гарантировать отсутствие каких-либо утечек из раны.

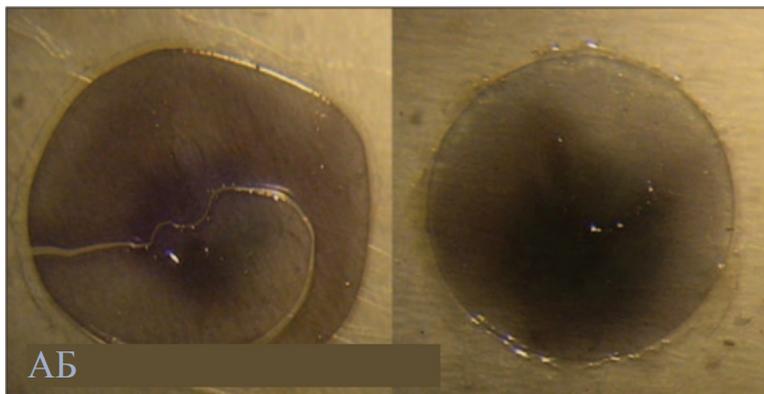


Рисунок 6-8. Сравнение пуговиц, полученных после (А) ручной капсулорексиса и (Б) лазерной капсулотомии. Размер и регулярность значительно улучшаются с помощью лазерного метода. (Перепечатано с разрешения LensAR Inc.)

## ЖЕМЧУГ ДЛЯ ОПЕРАЦИОННОЙ

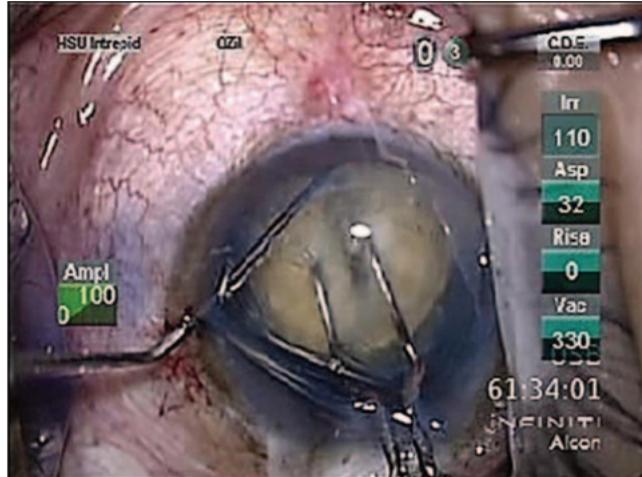
Кривая обучения лазерной хирургии катаракты не слишком крутая. Пристальное внимание к размеру и центрированию передней капсулотомии во время фемтосекундного планирования и лечения должно помочь хирургу получить наилучшие визуальные результаты. На хирургическом столе начинающий фемтосекундный хирург по катаракте должен осторожно отделить переднюю капсульную кнопку от оставшихся краев капсулы. Кнопку можно будет взять и снять, как только все ее края будут четко и полностью отделены от края капсулы (рис. 6-8). Во время гидродиссекции и гидроделинеации целесообразно направить несколько небольших струй сбалансированного солевого раствора между капсулой и корой, а также между ядром и корой, чтобы ослабить ядро и облегчить манипуляции. Некоторое внимание следует уделить инъекции физиологического раствора в ядро между плоскостями фрагментации, чтобы выбить захваченные пузырьки газа. Пузырьки газа можно удалить путем введения дополнительного офтальмологического вязкоэластичного устройства. Минимизация пузырьков газа в передней камере может помочь предотвратить постокклюзионный всплеск. Хирурги могут по существу использовать те же методы и инструменты, к которым они привыкли для традиционной факоэмульсификационной хирургии катаракты. Хирурги переходного периода обнаружат, что методы фако-чоп и пре-чоп значительно облегчаются за счет фрагментации хрусталика фемтосекундным лазером (рис. 6-9). По мере накопления опыта более опытный хирург может регулировать настройки аппарата, чтобы уменьшить мощность факоэмульсификации и увеличить вакуум и поток, чтобы в полной мере воспользоваться преимуществами частиц линзы, фрагментированных лазером. Хирург должен помнить о эпинуклеарной пластинке, которая может защитить заднюю капсулу от повреждения, и ее следует удалить, желательно только после аспирации всех твердых или острых ядерных фрагментов.

## ВЕДЕНИЕ СЛОЖНЫХ СЛУЧАЕВ

### *Разрыв задней капсулы и потеря стекловидного тела*

Во время разборки ядра передняя и задняя капсулы все еще могут быть разорваны в результате случайного контакта с активным кончиком факоэмульсификатора или острым ядерным наконечником.

Рисунок 6-9. Вид под операционным микроскопом на предварительное измельчение плотного твердого ядра. Обратите внимание на четкое разделение ядерных половин вдоль плоскостей расщепления, созданных фемтосекундным лазером. (Перепечатано с разрешения LensAR Inc.)



фрагмент. По своей природе поврежденная задняя капсула все еще может разорваться в результате минимальных манипуляций с ядерными сегментами. Ослабленные и рыхлые пояски все равно могут разрываться, что приводит к дальнейшему смещению капсульного мешка казади, увеличению затруднений при удалении ядра и возможности повреждения капсульного мешка.

Лечение разрыва задней капсулы и потери стекловидного тела при лазерной хирургии катаракты следует тем же принципам, что и лечение потери стекловидного тела при традиционной факоэмульсификации: удаление оставшегося материала хрусталика (ядра, эпинуклеуса и коры), передняя витрэктомия при необходимости, сохранение капсульной поддержки, и имплантация ИОЛ. Одним из преимуществ является надежная лазерная капсулотомия, которая может выдерживать значительно большую нагрузку (например, хирургические манипуляции с крючками зрачков) и облегчает установку многочастных ИОЛ с фиксацией борозд. Никаких дополнительных сложностей в лечении этих сложных осложнений при проведении лазерной хирургии катаракты с помощью лазерной системы LensAR не возникает.

### *Хрупкие зоны*

Хрупкие пояски вызывают трудности у хирурга по удалению катаракты. Лазерная капсулотомия облегчает создание отверстия передней капсулы меньшего размера и оптимального размера и позволяет хирургу избежать риска разрыва капсулы, связанного с выполнением ручного капсулорексиса. Горизонтальное измельчение рекомендуется при катаракте со слабыми связками, поскольку оно снижает напряжение связок во время моделирования и вращения, а также минимизирует наклон и смещение хрусталика. Лазерная фрагментация хрусталика создает плоскости расщепления внутри ядра и значительно облегчает горизонтальное измельчение и удаление ядра хрусталика. Вялые или дряблые задние капсулы связаны со слабыми связками или плотным ядром, растянувшим капсульный мешок. Эпинуклеарная пластинка или зона безопасности, созданная в результате лазерной фрагментации хрусталика, уменьшает эффект батуга этих вялых задних капсул. В конце разборки ядра эпинуклеарная пластинка может легко выпадать в переднюю камеру от свободной задней капсулы и удаляться. Лазерная капсулотомия также значительно облегчает создание большого капсулорексиса для облегчения техники переворота. В глазах с очень рыхлыми связками может потребоваться поддержка капсульного мешка с помощью ретракторов. Оценка прочности капсулы с использованием свиных глаз показала, что капсулотомия, выполненная лазером, более надежна, чем ручная.

созданные. <sup>4</sup> Клинический опыт с участием людей показал, что



Рисунок 6-10. Экран планирования разрезов роговицы, показывающий дугообразные и хирургические разрезы. Длину дугообразных разрезов можно запрограммировать вместе с осями, а положение разрезов роговицы и парацентеза можно переместить к лимбу и расположить в предпочтительной ориентации. Выбор геометрии разрезов может быть задан в настройках хирурга. (Перепечатано с разрешения LensAR Inc.)

Края капсулотомии, созданные фемтосекундным лазером, действительно достаточно прочны, чтобы выдерживать напряжения, создаваемые ретракторами капсулы, а также во время имплантации капсульных натяжных колец, если это необходимо.

### *Зрелая катаракта*

Фемтосекундный лазер может проникать даже в плотные темно-коричневые катаракты для эффективной фрагментации хрусталика. Однако его полезность при черной и белой катаракте ограничена. Черные катаракты поглощают весь свет, а белые катаракты отражают свет. В обоих случаях фемтосекундный лазер полезен только для создания передней капсулотомии и не способен существенно фрагментировать хрусталик. Создание непрерывного криволинейного капсулорексиса вручную при этой запущенной катаракте может оказаться затруднительным из-за отсутствия красного рефлекса и частого капсулярного фиброза. В таких случаях создание идеальной лазерной капсулотомии может значительно облегчить операцию.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Лазерная хирургия катаракты с использованием лазерной системы LensAR эффективна и безопасна.<sup>5</sup> Предоперационное планирование должно включать оценку размера расширенного зрачка и Оценка плотности катаракты. При осложненной катаракте, например более зрелой, плотной или с рыхлыми связками, необходимо соблюдать обычную осторожность. Лазерная система LensAR может сделать экстракцию катаракты более безопасной и предсказуемой в этих более сложных сценариях. Благодаря добавлению к лазерной платформе разрезов роговицы будет достигнута дополнительная точность на этих ключевых этапах хирургии катаракты (рис. 6-10).

ИСПОЛЬЗОВАННАЯ  
ЛИТЕРАТУРА

1. Тэкман Р.Н., Кури Ю.В., Ничамин Л.Д., Эдвардс К. Передняя капсулотомия ультракороткоимпульсным лазером. J Хирургия рефракции катаракты. 2011;37(5):819–824.
2. Хе Л., Шихи К., Калбертсон В. Фемтосекундная лазерная хирургия катаракты. Курр Опин Офтальмол. 2011;22(1):43–52.
3. Паланкер Д.В., Блюменкранц М.С., Андерсен Д. и др. Фемтосекундная лазерная хирургия катаракты с интегрированной оптической когерентной томографией. Научный перевод Мед. 2010;2(58):58–85.
4. Фрей Р.В., Теума Е.В., О'Суиллабейн Д. и др. Оценка механических свойств капсулы хрусталика после фотодеструкционной капсулотомии и непрерывного криволинейного капсулорексиса.  
Стендовая сессия представлена на: Ежегодном собрании Ассоциации исследований в области зрения и офтальмологии; май 2009 г.; Форт-Лодердейл, Флорида.
5. Уй Х.С., Эдвардс К., Кертин Н. Фемтосекундная факоэмульсификация: бизнес и медицина. Курр Опин Офтальмол. 2012;23(1):33–39.





# T7

## Лазерная система LenSx Клинический опыт

*Вэнс Томпсон, доктор медицины*

Шестимесячный опыт использования лазерной системы LenSx одним хирургом (Alcon, Форт-Уэрт, Техас) послужил основой для подробностей, изложенных в этой главе (рис. 7-1). Большинство хирургов, занимающихся лазерным кератомилезом in situ (LASIK), вспоминают свой первый опыт использования фемтосекундного лазера для создания лоскута. Аналогичным образом, использование фемтосекундной лазерной технологии для хирургии катаракты оказалось легче, чем ожидалось, внедрить в практику. В современных условиях, когда хирургия катаракты и рефракционная хирургия объединились, хирург обнаружит повышенную зависимость от уровня точности и аккуратности, который может обеспечить фемтосекундный лазер, поскольку он максимизирует функцию технологии имплантации интраокулярных линз (ИОЛ) премиум-класса. Всего за 6 месяцев опыта была подтверждена точность лазерной системы LenSx для создания разрезов (ось и архитектура), передней капсулотомии (центрация, округлость и размер), хирургии хрусталика (квадрантирование и смягчение для уменьшения времени и энергии факоэмульсификации), и интраоперационное лечение астигматизма может привести к тому, что лазер станет основной технологией.

в хирургической практике.<sup>1-3</sup> Лазерная хирургия катаракты становится интуитивно понятной для офисного персонала, направляющие врачи, и особенно пациенты, которые связывают репутацию точности с лазерной хирургией. Эта дополнительная точность и предсказуемость ключевых рефракционных аспектов хирургии катаракты побудили нашу практику назвать фемтосекундную хирургию катаракты «рефракционной лазерной хирургией катаракты» или ReLACS.



Рисунок 7-1. Лазерный станок LenSx. Экран слева для ввода данных, экран справа, отображающий ОКТ-изображение для хирургического наведения, а также джойстик управления, расположенный над фокусирующим конусом.

## РАННИЙ ХИРУРГИЧЕСКИЙ ОПЫТ

Местоположение фемтосекундной лазерной установки — одно из первых решений, которые необходимо принять. Его можно разместить в операционной или в предоперационной зоне. Выбор места размещения лазера в предоперационной зоне, вероятно, более эффективен, поскольку пациенты могут быть подготовлены во время смены операционной.

Не следует недооценивать объем компьютерной работы при планировании всей процедуры (рис. 7-2). Операционного микроскопа также нет, и процедура выполняется только путем наблюдения за экраном изображения глазной когерентной томографии (ОКТ). Параметры, подлежащие корректировке (некоторые до и некоторые во время аспирации), включают ось и архитектуру главного и бокового разреза, размер и центриацию капсулорексиса, квадрант хрусталика и план смягчения, а также необходимость выполнения астигматических кератотомических разрезов. Эти шаги описаны более подробно ниже. Последующие шаги включают в себя подключение стыковочной системы, оценку изображений ОКТ, завершение индивидуального лечения пациента и проведение лазерной терапии с постоянным контролем и осознанием адекватности аспирации. Этот процесс быстро становится удобным и интуитивно понятным, и как только будет преодолена умеренная кривая обучения, процедура может выполняться весьма эффективно.

## СТЫКОВКА

Стыковка — это применение одноразового конусообразного устройства, которое соединяет линзу, фокусирующую лазер, с роговицей пациента, обеспечивая доставку энергии (рис. 7-3). Хирургам будет полезно иметь опыт установки аспирационного кольца в



Рисунок 7-2. Экран просмотра хирурга, отображающий параметры лечения, наложенные на ОКТ-изображение переднего сегмента. Тачпад предназначен для управления экраном хирурга, а джойстик — для управления фокусирующей линзой на глазу пациента.



Рисунок 7-3. Пристыковка линзы лазерной фокусировки к роговице пациента внутри синего конусообразного устройства. Фемтосекундная лазерная энергия передается через связанное устройство.

Фемтосекундная технология LASIK. Хирургам катаракты, которые не выполняли лоскуты LASIK с использованием фемтосекундного лазера, потребуется около 10 случаев, чтобы привыкнуть к процессу стыковки. Положение головы является ключевым моментом в процессе стыковки.

В идеале лицо пациента должно быть параллельно полу. Для этого может потребоваться поднять подбородок пациента. Также полезно слегка наклонить голову в сторону от конуса, чтобы нос не мешал фокусирующему конусу. Также важно правильное положение кровати и подголовника. Кровать пациента должна быть удобной и легко перемещаемой в правильное положение под лазерным конусом. Если кровать слишком широкая, она может мешать лазеру, расположенному слева от пациента. Это затруднит согласование

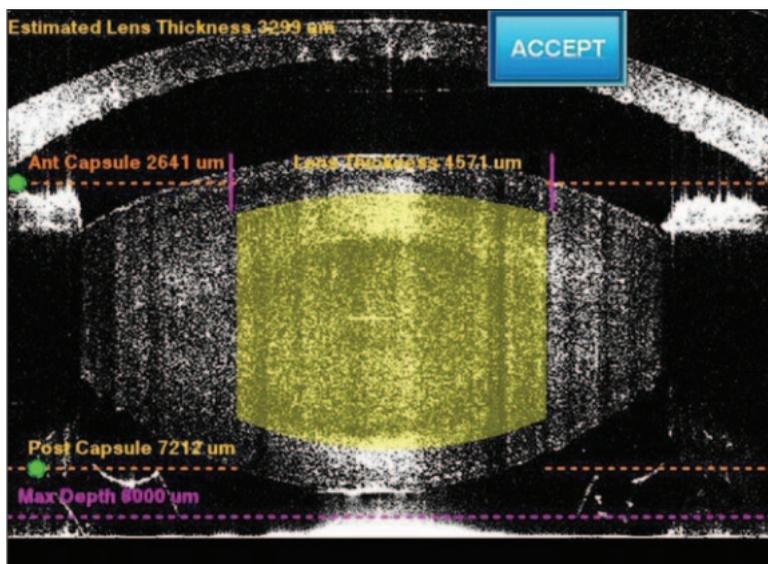


Рисунок 7-4. ОКТ-изображение на экране хирурга показывает правильную центрацию и минимальный наклон. Желтая область указывает на зону абляции фрагментации хрусталика, оранжевые линии указывают на переднюю и заднюю границы капсулы, а фиолетовые метки указывают на степень создаваемой передней капсулотомии.

конус к глазу. Кроме того, если подголовник недостаточно прочный, пациент может постепенно смещаться вниз от конуса после применения аспирации и подачи лазерной энергии, что увеличивает риск потери аспирации.

Хирург также должен следить за любым наклоном во время стыковки. Идеальная процедура стыковки предполагает, что пациент смотрит прямо на фиксирующий светильник, чтобы глаз не смотрел вверх или вниз, что может привести к наклону ОКТ-изображения. При правильной центрации ОКТ-изображение линзы не наклоняется и достигается правильная глубина абляции (рис. 7-4). При неправильной центрации происходит чрезмерный наклон хрусталика, что приводит к менее полному лечению фрагментации хрусталика (рис. 7-5). Последующие этапы фемтосекундной хирургии катаракты после стыковки намного проще и точнее, если пациент хорошо фиксировался и процесс стыковки привел к качественной центрации и минимальному наклону. Если наблюдается чрезмерный наклон, хирург может и должен прекратить отсасывание, чтобы повторить попытку стыковки с лучшей центрацией. Однако, если после нескольких попыток пациент все еще не может центрально фиксироваться (обычно из-за сильной реакции Белла), хирург может продолжить лечение фемтосекундным лазером.

Если изображение ОКТ неоптимально или если аспирация пропала в любой момент во время процедуры, не стоит беспокоиться. При необходимости каждый этап работы лазерной системы LenSx можно прервать и безопасно завершить в операционной с использованием традиционных методов. Например, если происходит слишком большой наклон, хирург может решить не выполнять лазерные разрезы роговицы, но все равно может приступить к лазерной передней капсулотомии и фрагментации хрусталика. В редких случаях, когда процедура не может быть полностью завершена, лазерную абляцию можно остановить, прекратить отсасывание и завершить процедуру в операционной.

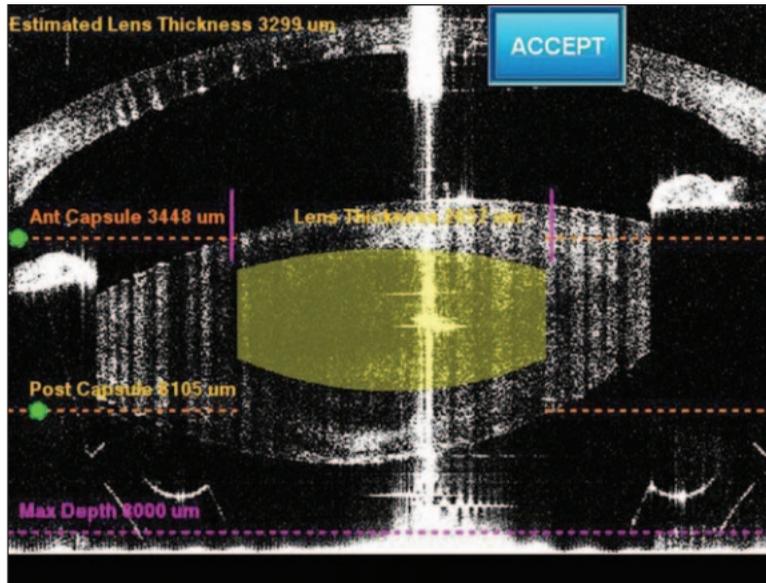


Рисунок 7-5. ОКТ-изображение на экране хирурга показывает неправильную центрацию и чрезмерный наклон хрусталика. За счет наклона линзы уменьшается глубина зоны абляции фрагментации хрусталика.

## ВИЗУАЛЬНОЕНАВЕДЕНИЕ И ФЕМТОСЕКОНДЛАЗЕРНАЯ АКТИВАЦИЯ

Каждый этап лазерной процедуры контролируется ОКТ-изображениями и имеет последовательность, отличающуюся от той, которая используется во время доставки энергии. ОКТ-изображения на экране хирурга развиваются в следующем порядке: 1. Лимбальная центрация роговицы.

2. Ось и расположение первичного разреза раны на роговице
3. Ось и расположение бокового разреза на роговице
4. Центрация капсулорексиса
5. Передняя и задняя границы передней капсулы (чтобы обеспечить полное раскрытие капсулы на всю толщину)
6. Передняя и задняя глубина операции на хрусталике
7. Глубина астигматической кератотомии (при ее выполнении)

Оптическая зона и ось астигматической кератотомии программируются заранее в процессе предоперационного хирургического планирования, поэтому параметры уже отображаются на экране. После пристыковки пациента на экране изображения ОКТ необходимо выбрать только глубину.

Последовательность доставки энергии следующая: 1.

Передняя капсулотомия.

2. Хирургия хрусталика (создание квадранта с размягчением хрусталика или без него).
3. Астигматическая кератотомия (если планируется).

4. Основной разрез.

5. Разрез бокового порта

В течение всего процесса подачи энергии хирург должен концентрироваться на аппланации, чтобы при обнаружении потери аспирации процедуру можно было немедленно остановить и завершить в операционной.

Рисунок 7-6. Вид переднего сегмента пациента на экране хирурга с наложенными друг на друга зонами лечения: желтый прямоугольник для основной раны, оранжевый прямоугольник для разреза бокового порта и фиолетовый кружок для передней капсулотомии. Обратите внимание на главный разрез, расположенный вверху под углом 87 градусов.

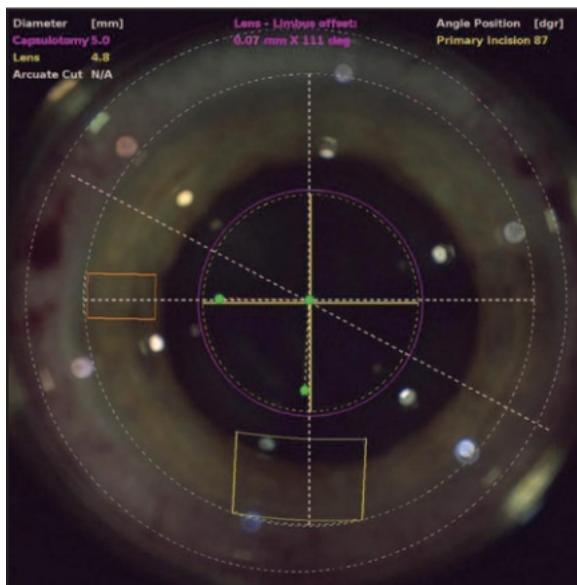
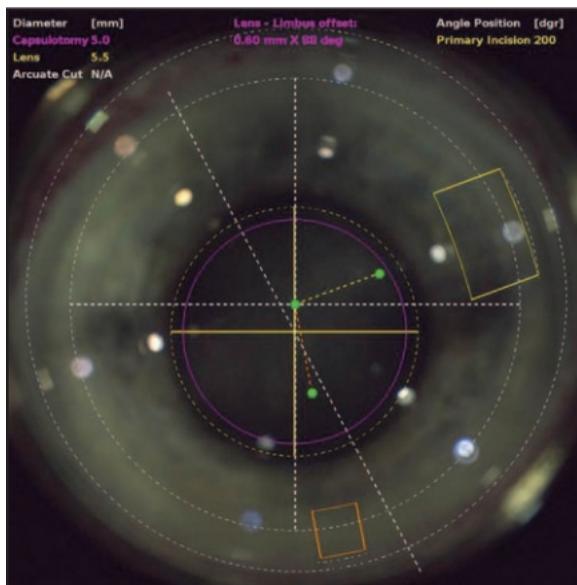


Рисунок 7-7. Вид переднего сегмента пациента на экране хирурга с наложенными друг на друга зонами лечения: желтый прямоугольник для основной раны, оранжевый прямоугольник для разреза бокового порта и фиолетовый кружок для передней капсулотомии. Обратите внимание на главный разрез, расположенный во времени под углом 200 градусов.



## РАЗРЕЗЫ

Создание разреза является мощным аспектом фемтосекундной хирургии катаракты. Основная рана и разрез бокового порта могут быть точно выполнены по любой желаемой оси. Выбор одной кнопки позволяет мгновенно изменить ось основного разреза (рис. 7-6 и 7-7). Разрезы могут быть выполнены в соответствии с предпочтениями хирурга в 2 или 3 плоскостях. Затем каждую плоскость можно спроектировать по индивидуальному заказу с учетом глубины, ширины и длины (рис. 7-8).

При выполнении бипланарного или трехплоскостного разреза толщиной 2,0–2,5 мм (в зависимости от угла) проксимальная часть может приближаться к границе зрачка. Если у пациента небольшой диаметр роговицы и разрез пересекает зону зрачка, пациент может

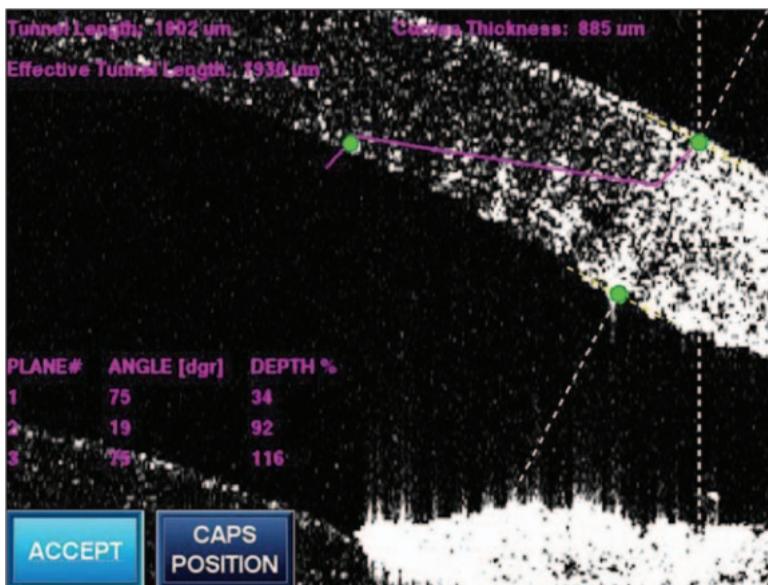


Рисунок 7-8. ОКТ-изображение на экране хирурга, показывающее бипланарную основную зону обработки раны роговицы. Также может быть выбрана трехплоскостная рана.

Каждую плоскость раны можно настроить в соответствии с предпочтениями хирурга относительно глубины, ширины и длины.

после операции наблюдаются блики, связанные с разрезом. В таких случаях разрезы лучше всего выполнять вручную на лимбе или через склеральный туннель. Хирург должен понимать, что фемтосекундным лазером можно лечить только чистую роговицу.

## ПЕРЕДНЯЯ КАПСУЛОТОМИЯ

Фемтосекундная лазерная передняя капсулотомия обеспечивает точность самого важного аспекта современной хирургии катаракты. Хирург может расположить центр капсулотомии и запрограммировать ее размер и положение, чтобы обеспечить высокую предсказуемость и воспроизводимость. ОКТ-изображение на экране хирурга отображает размер и расположение капсулотомии, диаметр которой обычно составляет 5,0 мм (см. рисунки 7-6 и 7-7). Как показывает опыт, отверстие капсулы обычно оказывается на 0,1–0,2 мм больше запрограммированного значения. Таким образом, может оказаться целесообразным запрограммировать в лазерном компьютере размер передней капсулотомии 4,8 мм, который в конечном итоге наиболее близок к целевому отверстию передней капсулы 5,0 мм.

После завершения центрирования капсулотомии важно запрограммировать пределы абляции выше и ниже передней капсулы, чтобы максимизировать вероятность формирования полной свободно плавающей капсулы на 360 градусов (рис. 7-9).

## ЛИНЗХИРУРГИЯ

Хрусталиковый аспект фемтосекундной хирургии также является важным достижением. Одним из преимуществ создания квадрантов лазером с размягчением хрусталика или без него является то, что для эмульгирования оставшейся части хрусталика требуется меньше энергии, когда пациент

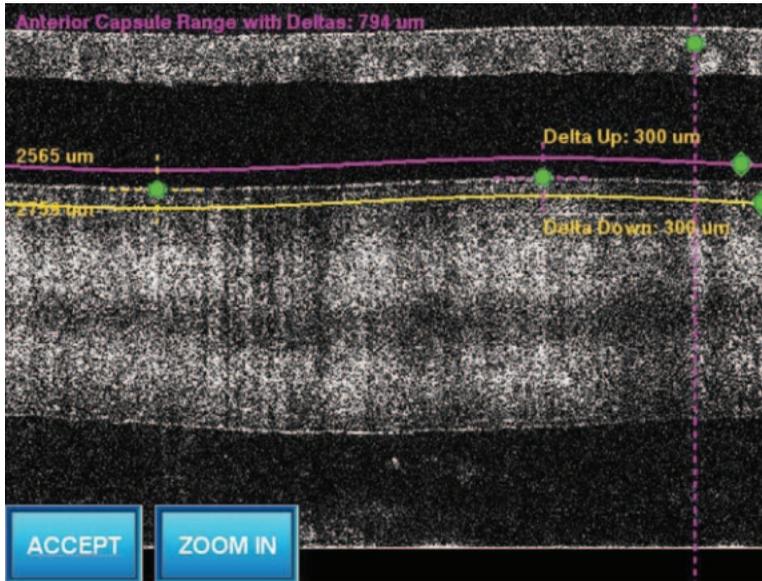


Рисунок 7-9. ОКТ-изображение на экране хирурга, показывающее зону лечения передней капсулотомии. Пределы абляции установлены выше (сплошная фиолетовая линия) и ниже (сплошная желтая линия) передней капсулы, чтобы гарантировать создание полной свободно плавающей капсулы на 360 градусов.

переводят в операционную. Это значительно повысило безопасность хирургии катаракты, особенно в тех случаях, когда решающее значение имеет меньшее использование энергии факоземulsionification, например, у пациентов с дистрофией роговицы Фукса. Следует также подчеркнуть важность минимизации наклона хрусталика, обсуждавшуюся ранее, чтобы обеспечить возможность более глубокой абляции хрусталика (см. рисунки 7-4 и 7-5).

### АСТИГМАТИЧЕСКАЯ КЕРАТОТОМИЯ

Большая часть планирования астигматической кератотомии происходит до стыковки пациента. Ось, оптическая зона и градусы длины дуги программируются в компьютере лазера. Когда хирург просматривает ОКТ-изображение после стыковки пациента и применения аспирации, единственной необходимой настройкой остается глубина желаемой абляции, которая выбирается на основе измерений толщины роговицы в реальном времени, предоставляемых системой ОКТ-визуализации. Создаваемые дугообразные разрезы идеально гладкие и занимают ровно 90% глубины роговицы.

### ПОСТАВКА ЭНЕРГИИ

Настройка операции под контролем ОКТ-изображения становится все более эффективной для лазерного хирурга и — после ее завершения — позволяет выполнить последний этап процедуры: подачу энергии. На этом этапе очень важно следить за потерей всасывания. При полной аппланации мениски на периферии отсутствуют. Если на периферии виден небольшой мениск, абляция может продолжаться до тех пор, пока мениск остается за пределами зоны абляции и не прогрессирует внутрь (что может привести к

представляют собой постепенную потерю всасывания). Если происходит потеря аспирации, хирургу важно снять ногу с педали и завершить операцию в операционной.

## ЖЕМЧУГ ДЛЯ ОПЕРАЦИОННОЙ

После того, как пациент завершает фемтосекундную лазерную часть операции и перемещается в операционную, обстановка остается такой же, как и при стандартной факоэмульсификационной хирургии катаракты. Пациента готовят и укутывают обычным стерильным способом.

Фемтосекундная лазерная абляция создает множество маленьких пузырьков на любой границе раздела. Любой разрез имеет остаточные спайки, похожие на перфорированную бумагу. Первым шагом является открытие основного разреза, для чего необходимо аккуратно отделить имеющиеся спайки. Крайне важно, чтобы передняя камера оставалась сформированной, поскольку любые остаточные спайки при передней капсулотомии могут расширяться. После открытия основного разреза в переднюю камеру вводят вискоэластик. Затем открывается боковой разрез.

Обычно капсулотомия является свободно плавающей и совершенно свободной. Иногда капсулотомия может быть неполной или иметь небольшие спайки типа почтовых марок. Важно поддерживать стабильность передней камеры, поскольку обмеление передней камеры может привести к расширению остаточных спаек. Перед удалением важно тщательно отделить оставшиеся спайки капсулы. Хирург может использовать круговые движения, аналогичные тем, которые используются при обычном формировании капсулорексиса, чтобы проверить наличие спаек. Вытягивание капсулы в любом другом направлении может привести к неравномерному разрыву остаточных спаек. Однако при использовании тех же движений, что и при обычном ручном формировании капсулорексиса, когда имеется неполная область, она разрывается по тому же радиальному пути, образуя полное высококачественное, непрерывное криволинейное отверстие передней капсулы.

Хирургия хрусталика в операционной значительно облегчается функцией создания квадранта фемтосекундного лазера. Смягчение линз облегчает их снятие, поскольку требуется меньше энергии для факоэмульсификации и манипуляций с линзами. Минимизация наклона во время стыковки для обеспечения более глубокой абляции хрусталика повышает простоту и эффективность факоэмульсификации.

Удаление коры головного мозга после лечения хрусталика фемтосекундным лазером может представлять собой небольшую проблему для начинающего хирурга. Поскольку передняя кора также разрезается во время формирования передней капсулотомии, в ней нет нитей коры, которые могли бы помочь начать ирригацию и аспирацию. Перемещение аспирационного наконечника устройства для внутриглазной ирригации/аспирации (И/А) радиально вперед-назад в течение нескольких часов поможет заполнить аспирационный порт так, чтобы было достаточно закупорки коры головного мозга, чтобы закупорить порт и обеспечить более легкую очистку коры.

## БИЗНЕС-СООБРАЖЕНИЯ

Добавление фемтосекундного лазера к рефракционной хирургии катаракты — дорогая технология, которая не покрывается планами страхования пациентов; таким образом, клиническое рассмотрение ные, а также деловые соображения имеют важное значение. <sup>4</sup> Офтальмологическая практика следует исходить из того, что это устройство находится под контролем правительства.

Правило Золотого скальпеля, которое означает, что независимо от того, используется ли металлическое, алмазное или лазерное лезвие, возмещение за такую процедуру, как хирургия катаракты, должно быть одинаковым. В Medicare действует политика рефракционной кератопластики, содержащая рекомендации при выставлении счетов за непокрываемые услуги. В нем говорится, что «кератопластика с целью компенсации рефракционной ошибки считается заменой или альтернативой очкам или контактными линзам, которые специально исключены». Кроме того, «кератопластика для лечения дефекты рефракции не покрываются».<sup>5</sup>

Название ReLACS, используемое в нашей практике для этой процедуры, подразумевает цель этой технологии: улучшить рефракционный результат для пациента. Эта рефракционная цель достигается посредством важных шагов, которые может облегчить технология фемтосекундного лазера, таких как создание первичного разреза по оси, точная передняя капсулотомия для улучшения окончательного эффективного положения линзы и астигматическая кератотомия для уменьшения аномалии рефракции. Рефракционный компонент операции по удалению катаракты не входит в покрываемую услугу, а скорее является личным предпочтением пациента. Таким образом, пациент может отдельно заплатить за рефракционные преимущества фемтосекундного лазера. Этот логический подход важен для определения того, как выставить счета за эту профессиональную услугу с добавленной стоимостью. Одна стратегия включает в себя составление списка задач и тестов, необходимых для предоперационной оценки рефракционной катаракты. К ним относятся интраоперационная aberromетрия и возможность будущих улучшений, каждый из которых имеет определенную ответственность. В конечном итоге для каждого этапа можно рассчитать средневзвешенное значение, чтобы определить общую сумму, которую должен заплатить пациент.

Пациенты понимают этот подход типа меню и готовы инвестировать в рефракционную хирургию катаракты, если их цель — избавиться от очков.

Следует отметить, что не все пациенты, желающие провести рефракционную операцию по удалению катаракты, имеют право на выполнение фемтосекундной лазерной части. Например, если пациент плохо расширяется, лазер нельзя использовать для капсулорексиса или части процедуры, касающейся хрусталика. Для этих пациентов по-прежнему может взиматься та же плата за операцию по рефракционной катаракте; таким образом, расходы на лазер покрываются независимо от того, используется он или нет. Используя эту философию, офтальмологическая практика может с уверенностью включить фемтосекундную хирургию катаракты в надежную программу рефракционной хирургии катаракты.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Фемтосекундная лазерная технология и лазерная система LenSx представляют собой ренессанс в программе хирургии катаракты в нашем учреждении. Пациенты, направляющие врачи и офисный персонал нашли эту технологию чрезвычайно интересной.

Оптимизация — один из ее ключевых атрибутов, и это одна из главных причин, по которой эта технология и наше понимание того, как лучше всего использовать ее для достижения наилучших результатов для пациентов, со временем будут только улучшаться.

### ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Кралиц К., Такач А., Михальц К. и др. Параметры фемтосекундной лазерной капсулотомии и ручного непрерывного криволинейного капсулорексиса и их влияние на центрацию интраокулярной линзы. *J Refract Surg.* 2011;27:558–563.
2. Михальц К., Кнорц М.К., Алио Х.Л. и др. Внутренние аберрации и оптическое качество после фемтосекундной лазерной передней капсулотомии в хирургии катаракты. *J Refract Surg.* 2011;27:711–716.

3. Надь З.З., Краниц К., Такач А.И., Михалц К., Ковач И., Кнорц М.К. Сравнение параметров децентрации интраокулярной линзы после фемтосекундной и ручной капсулотомии. *J Refract Surg.* 2011;27(8):564–569.
4. Уй Х.С., Эдвардс К., Кертис Н. Фемтосекундная факоэмульсификация: бизнес и медицина. *Курр Опин Офтальмол.* 2012;23:33–39.
5. Руководство по определению национального медицинского страхования. Доступно по адресу: [https://www.cms.gov/manuals/downloads/ncd103c1\\_Part1.pdf](https://www.cms.gov/manuals/downloads/ncd103c1_Part1.pdf). По состоянию на 30 декабря 2011 г.



# T<sup>8</sup>

## Прецизионная лазерная система Catalys

### Клинический опыт

*Уильям Калбертсон, доктор медицины; Дуглас Д. Кох, доктор медицины;  
Барри Сейбел, доктор медицины; Роджер Штайнерт, доктор медицины;*

*Джонатан Х. Талмо, доктор медицинских наук; и Джон Вукич, доктор медицинских наук*

Хирурги, использующие прецизионную лазерную систему Catalys (OptiMedica Corporation, Саннивейл, Калифорния) для операций по удалению катаракты с помощью фемтосекундного лазера, обнаружили, что это безопасная и эффективная процедура. Система и пользовательский интерфейс интуитивно понятны и понятны и могут быть разделены на 4 основных этапа: (1) планирование (2) использование лазера (3) визуализация и настройка хирургом и (4) применение лечения (рис. 8-1). В следующем разделе обсуждается хирургический опыт использования системы Catalys, жемчужины при лечении пациентов, теории интеграции для рабочего процесса практики и ожидаемые улучшения, которые следует ожидать в результатах лечения пациентов при использовании этой технологии.

#### ПРЕДОПЕРАЦИОННОЕ ПЛАНИРОВАНИЕ И ПОДГОТОВКА

Для разных пациентов параметры лечения хирурга обычно имеют некоторую предсказуемую вариабельность. Например, существуют различные варианты интраокулярных линз (ИОЛ) и степени катаракты. Для любого конкретного размера оптики ИОЛ диаметр передней капсулотомии в идеале должен перекрывать оптику примерно на 0,5 мм на 360 градусов. Запас безопасности задней капсулы в 500 мкм также типичен для предотвращения непреднамеренного повреждения задней капсулы во время лазерного лечения. Этот подход к планированию на основе шаблонов учитывает такие параметры. Используя графический пользовательский интерфейс с сенсорным экраном, хирурги



Рисунок 8-1. Обзор 4 этапов процедуры с использованием прецизионной лазерной системы Catalys. (Перепечатано с разрешения OptiMedica.)



Рисунок 8-2. Пример страницы сводного плана лечения лазерной системы Catalys Precision, как показано в графическом интерфейсе пользователя. (Перепечатано с разрешения OptiMedica.)

способен создать набор лечебных шаблонов для передней капсулотомии и фрагментации хрусталика, которые можно выбрать и применить к отдельному пациенту (рис. 8-2). Для планирования лечения требуется всего несколько касаний экрана. Поскольку планы лечения хранятся в лазерной системе, вместо того, чтобы вводить каждую часть данных, когда пациент пристыкован, техник может ввести план до начала процедуры.

Перед лечением рекомендуется рутинное расширение 1,0% циклопентолата и 2,5% фенилэфрина по 3 дозы каждые 20 минут, начиная за 1 час до лазерной процедуры. Хирург может использовать баллон Хонан на 10–15 минут, чтобы смягчить глаз и уменьшить любое потенциальное давление сзади. После местного применения анестетика хирург может перейти к стыковке глаза пациента с лазерной системой.



Рисунок 8-3. Этапы стыковки с интерфейсом Liquid Optics. (Перепечатано с разрешения OptiMedica.)

## ПРИВЛЕЧЕНИЕ И ЗАКРЫТИЕ ПАЦИЕНТА

Хирурги, которые использовали фемтосекундные лазеры для хирургии роговицы, имели опыт более сложного аспекта адаптации к технологии: процесса стыковки и понимания того, как обеспечить оптимальное взаимодействие лазера с роговицей.

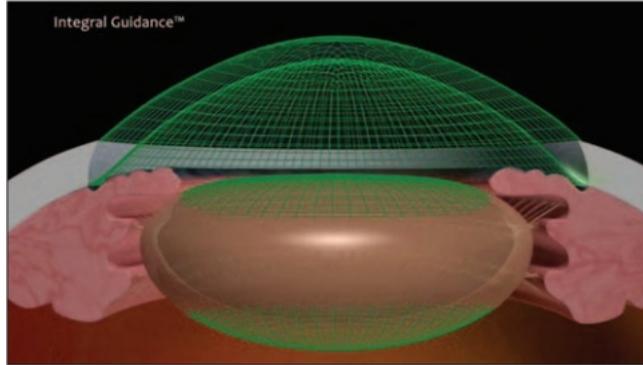
Этот шаг может быть несколько сложным, учитывая различия в анатомии глазницы и кривизне роговицы, а также сотрудничество пациента. Глубокие, узкие орбиты и пациенты с сильным морганием или рефлексом Белла — это лишь некоторые примеры особенностей пациентов, которые могут стать проблемой. Новичка можно заверить, что хирурги, имеющие более чем 10-летний опыт использования фемтосекундного лазера для создания лоскута роговицы при лазерной хирургии кератомилеза *in situ* (LASIK), обнаружили, что стыковка с использованием интерфейса пациента Catalys Liquid Optics несколько проще. Пациенты чувствуют себя комфортно и могут переносить стыковочное устройство.

Для стыковки роговицы пациента с лазером необходимо выполнить несколько простых шагов с использованием заполненного жидкостью всасывающего кольца и односторонней жидкостной иммерсионной линзы (рис. 8-3). При установке аспирационного кольца на глаз пациента обеспечивается хорошая тактильная обратная связь. Важно центрировать кольцо на лимбе, просматривая склеру на зрачке со всех сторон. Затем аспирационное кольцо заполняется сбалансированным солевым раствором и пациент помещается под лазер. Используя экранную визуализацию и средства стыковки, хирург с помощью джойстика соединяет присасывающее кольцо с односторонней линзой лазера. Хрусталик контактирует с жидкостью, но не соприкасается с роговицей и не аппланирует ее. Точные настройки можно выполнить до того, как интерфейс зафиксируется на месте и пациент будет готов к следующему шагу.

## ВИЗУАЛИЗАЦИИ И ЛЕЧЕНИЕ ПЕРЕДНЕГО СЕГМЕНТА

Как только хирург завершает стыковку пациента, Catalys Integral Guidance сканирует и преобразует структуры переднего сегмента с помощью встроенной оптической когерентной томографии (ОКТ) в спектральной области в трехмерную карту. Видео в ближнем инфракрасном диапазоне обеспечивает живое изображение глаза. Программное обеспечение системы идентифицирует ключевые поверхности: переднюю и заднюю часть роговицы, радужную оболочку, а также переднюю и заднюю поверхности линзы. Процесс Integral Guidance означает, что хирургу не нужно планировать лечение, пока пациент находится под отсасыванием. Индивидуальные схемы передней капсулотомии и фрагментации хрусталика накладываются на данные ОКТ и проецируются на экран графического пользовательского интерфейса для хирурга, который затем может при необходимости регулировать положение зон лечения в зависимости от анатомии и ориентации глаза (рис. 8-). 4). После подтверждения автоматических маркеров идентификации поверхности, границ безопасности и зон обработки можно приступить к применению лазерной обработки.

Рисунок 8-4. Схема автоматической 3D-подгонки поверхности глаза Integral Guidance (зеленого цвета) для передней и задней части роговицы, а также передней и задней линзы. (Перепечатано с разрешения OptiMedica.)



Помимо преимуществ точности и достоверности, процесс Integral Guidance является ключом к оптимизации процедуры. Благодаря меньшему времени, затрачиваемому на визуализацию и ручное изменение всех настроек, хирурги, использующие Catalys, могут значительно сократить время процедуры. При использовании Catalys общее среднее время процедуры составляет 2 минуты 30 секунд, что значительно меньше, чем время процедуры в несколько минут, о котором сообщалось в системах первого поколения. Этот уровень эффективности особенно важен при лечении пациентов с катарактой, которые обычно старше и имеют сопутствующие заболевания, такие как глаукома.

## ПРИМЕНЕНИЕ ФЕМТОСЕКУНДЛАЗЕРНОЙ ОБРАБОТКИ

Лечение начинается нажатием на ножную педаль. Полная капсулотомия проводится примерно за 2 секунды. Шаблоны фрагментации линзы отображаются примерно через 30 секунд, в зависимости от настроек шаблона.

В основе этапа 4 лежит запатентованный современный фемтосекундный лазер, разработанный специально для процедуры лазерной хирургии катаракты. OptiMedica оптимизировала характеристики лазера, чтобы обеспечить безопасное и точное лечение в минимальные возможные сроки. Фактически, лазер настолько совершенен, что потребовалось более 5 лет, чтобы соответствовать строгим спецификациям OptiMedica.

OptiMedica не использует систему LASIK для хирургии катаракты, поскольку существует фундаментальная разница в числовой апертуре. В роговице требуются высокая числовая апертура и относительно низкая энергия. Объективу требуется меньшая числовая апертура. Поэтому фемтосекундные лазеры, предназначенные для лоскутов LASIK, не могут воздействовать на ядро. OptiMedica с нуля разработала систему Catalys для хирургии катаракты с намерением обеспечить точность и безопасность фемтосекундных лазеров, наблюдаемых при процедурах катаракты LASIK.

Для лечения передней капсулотомии спиральный лазерный рисунок применяется сзади к переднему положению, чтобы обеспечить обработку передней капсулы (рис. 8-5). Это движение энергии вверх позволяет избежать рассеяния лазерного луча, вызванного пузырьками, образовавшимися в глубине уже обработанной ткани. Пузырьки за точкой фокусировки лазера имеют вторичное преимущество: они рассеивают и уменьшают количество сфокусированного лазерного излучения, которое может достичь сетчатки.

Далее происходит фрагментация хрусталика. Лазер запрограммирован на выполнение передней капсулотомии в первую очередь, поскольку во время фрагментации хрусталика образуется значительное количество пузырьков газа. Большое количество импульсов может растянуть и сместить капсулу хрусталика из исходного положения, в результате чего луч лазера для капсулотомии не сможет обработать капсулу. Интересно, что мелкие пузырьки, образующиеся при капсулотомии, не влияют на



Рисунок 8-5. Изображение, полученное с помощью видеокамеры ближнего инфракрасного диапазона, после капсулотомии с использованием фемтосекундного лазера. Обратите внимание на темный ободок пузырьков, образовавшихся в результате лазерной резки.

(Перепечатано с разрешения Opti-Medica.)

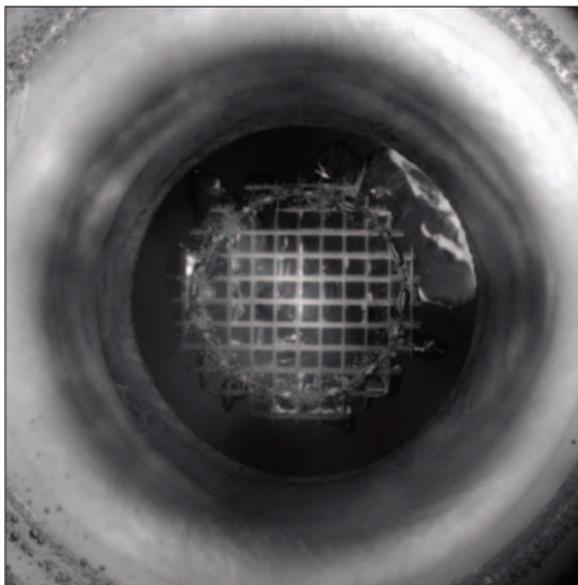


Рисунок 8-6. Изображение, полученное с помощью видеокамеры ближнего инфракрасного диапазона, после сегментации и фрагментации линзы с помощью фемтосекундного лазера. Линза кажется ярче из-за усиленного рассеяния света пузырьками газа. (Перепечатано с разрешения OptiMedica.)

положение линзы так, чтобы выравнивание осколочных бумаж линзы оставалось достаточно точным. Распространение энергии для сегментации и фрагментации хрусталика также перемещается назад кпереди. Газ внутри линзы увеличивает ее отражающую способность, поэтому лазерный рисунок виден во встроенной видеосистеме (рис. 8-6). Расширение хрусталика в результате газообразования иногда может приподнять капсулотомный диск.

В этом случае разрезы роговицы будут выполняться в последнюю очередь. В некоторых случаях с помощью фемтосекундного лазера можно выполнить только внешнюю первичную плоскость толщиной 200 мкм, а окончательное проникновение для формирования внутренней раны можно выполнить в операционной с помощью стандартного микрохирургического кератома для завершения многоплоскостного разреза (рис. 8-7). ).

Как только пациент попадает в операционную, можно применить стандартную стерильную технику хирургии катаракты. Круглая пуговица капсулы удаляется с помощью щипцов круговыми движениями, аналогичными ручному капсулорексису, что безопаснее, чем простое выдергивание диска прямо из глаза в случае, если между

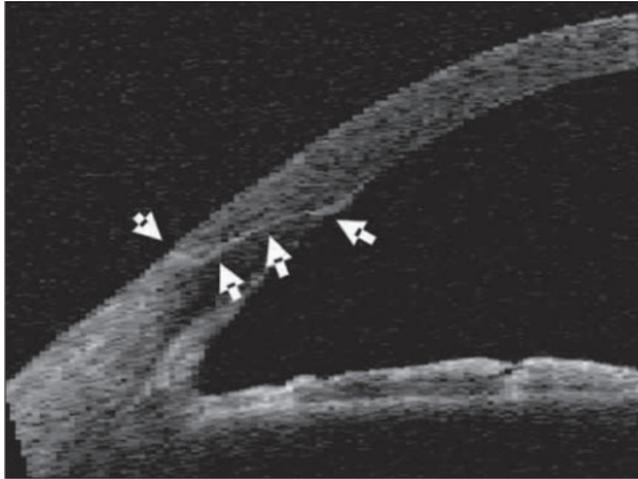


Рисунок 8-7. ОКТ-изображение разреза катаракты в первый послеоперационный день после создания внешней раны с помощью лазерной системы Catalys Precision и ручного создания внутренних плоскостей раны. (Перепечатано с разрешения OptiMedica.)

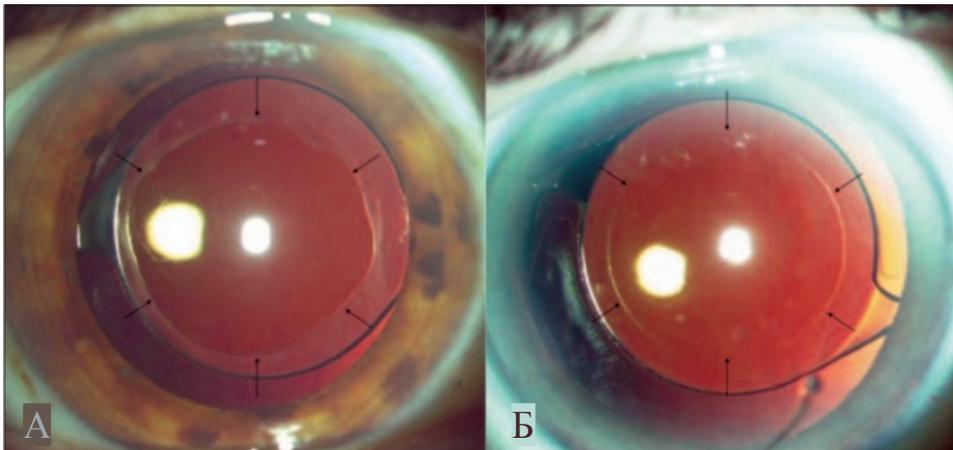


Рисунок 8-8. Фотографии с помощью щелевой лампы (А) через 1 месяц после ручного капсулорексиса в сравнении с (Б) передней капсулотомией, выполненной с использованием лазерной системы Catalys Precision. (Перепечатано с разрешения OptiMedica.)

диск и капсульный мешок. Сразу после удаления капсульного диска диаметр капсулотомического отверстия примерно на 0,4 мм больше диаметра резецированного капсулярного диска, вероятно, из-за ретракции капсулы после капсулотомии.<sup>1</sup> Однако после извлечения линзы и установки ИОЛ диаметр Открытие капсулы возвращается в пределах 50 мкм от ширины первоначального лазерного разреза.<sup>1,2</sup>

Во время факоэмульсификации хрусталик легко разделяется на 4 квадранта и может быть удален с минимальной энергией ультразвука или вообще без нее. Хирург заметит, что линза 4-го класса будет больше похожа на линзу 2-го класса, и будет достигнута более высокая хирургическая эффективность. После очистки кортикального слоя и установки ИОЛ хирург заметит, что диаметр капсульного отверстия возвращается в пределах 50 мкм от ширины первоначального лазерного разреза и симметричное перекрытие капсульного мешка хрусталика на 0,5 мм с краем ИОЛ с оптикой диаметром 6 мм (Рисунок 8-8).

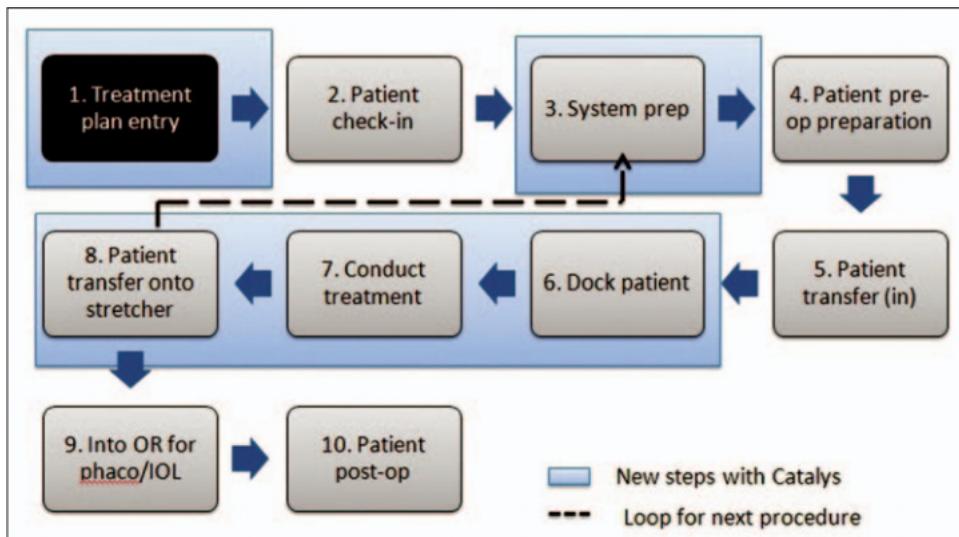


Рисунок 8-9. Рабочий процесс процедур с помощью Catalys и интеграция в клиническую практику. (Перепечатано с разрешения OptiMedica.)

#### ИНТЕГРАЦИЯ РАБОЧЕГО ПРОЦЕССА

Catalys разрабатывался с участием как специального медицинского консультативного совета, так и консультативного совета медицинского персонала, чтобы максимизировать эффективность рабочего процесса. Использовать Catalys просто как для пациентов, так и для хирургической бригады. Система включает в себя встроенную кровать с эргономичным подголовником индивидуальной конструкции, обеспечивающим максимальную устойчивость пациента. В сочетании с док-системой Liquid Interface глаз пациента остается неподвижным, что повышает точность лечения. После процедуры Catalys пациента можно доставить в операционную на инвалидной коляске или носилках. Более молодые или более подвижные пациенты могут даже входить и выходить самостоятельно, без особой помощи. Общее время пребывания в операционной сокращается, поскольку капсулотомия уже завершена и хрусталик предварительно размягчен. На рис. 8-9 показано, как добавление системы Catalys влияет на рабочий процесс клинической практики.

Ключевые факторы, которые следует учитывать при планировании пациентов для процедуры Catalys, включают количество операционных залов в хирургическом учреждении, количество хирургов, среднее время операционной и количество операционных залов, используемых каждым хирургом.

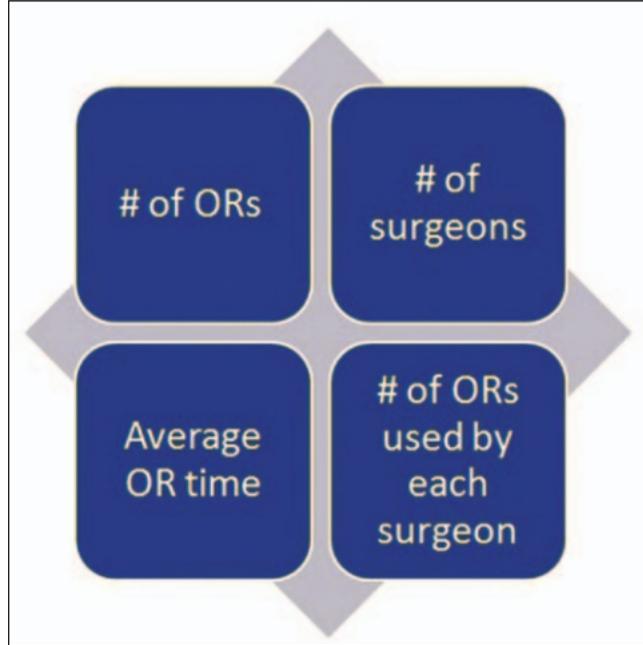
Хирурги могут выполнять операции сгруппировано, последовательно или в течение всего хирургического дня (рис. 8-10).

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Операция по лазерной коррекции зрения способна обеспечить пациенту зрение 20/20 без очков в большинстве случаев. Однако при хирургии катаракты этот показатель приближается к 55–60%. Эффективное положение линзы является основной причиной этой разницы. Исследования показывают, что точная капсулотомия — с точки зрения размера, формы и центрации — может привести к лучшей остроте зрения с наилучшей коррекцией у пациентов с катарактой.<sup>3-5</sup>

Когда линза не идеально отцентрирована и капсулотомия проходит слишком близко к (или за) одному краю оптики линзы, линза может сместиться в плоскости x, y или, возможно, в горизонтальной плоскости.

Рисунок 8-10. Предпочтения хирурга будут диктовать планирование случаев в группах, сериями или в перерывах в течение хирургического дня. (Перепечатано с разрешения OptiMedica.)



что приводит к наклону и децентрации, что приводит к астигматизму. Если линза асферическая или мультифокальная, оптика исказится. Если капсулотомия слишком большая или слишком маленькая, хрусталик может сместиться вперед или назад соответственно, что может изменить послеоперационную рефракцию пациента на более близорукую или дальнозоркую соответственно. Некоторые полагают, что отсутствие полной герметизации хрусталика может увеличить риск помутнения капсулы, что в таком случае требует задней капсулотомии из иттрий-алюминиевого граната. В случае имплантации некоторых линз эта дополнительная процедура может повлиять на то, насколько хорошо линза будет вести себя в дальнейшем.

Капсулорезекс, создаваемый фемтосекундным лазером, воспроизводим и точен с небольшой вариабельностью, и прецизионная лазерная система Catalys доказала свою эффективность в этом отношении. функция. <sup>1,2</sup> Двигаясь вперед, хирурги должны быть уверены, что улучшение рефракции Результаты могут быть достигнуты у пациентов с использованием фемтосекундной лазерной хирургии катаракты для обеспечения более надежного и эффективного положения линзы.

#### ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Паланкер Д.В., Блюменкранц М.С., Андерсен Дэн и др. Фемтосекундная лазерная хирургия катаракты с интегрированной оптической когерентной томографией. Научный перевод Мед. 2010;2:58–85.
2. Фридман Н.Дж., Паланкер Д.В., Шуэле Г. и др. Фемтосекундная лазерная капсулотомия. J Хирургия рефракции катаракты. 2011;37:1189–1198.
3. Гейл Р.П., Салдана М., Джонстон Р.Л. и др. Эталонные стандарты рефракционных результатов после операции по удалению катаракты Национальной службы здравоохранения. Глаз. 2009;23:149–152.
4. Элефтериадис Х. Мастер-биометрия ИОЛ: рефракционные результаты 100 последовательных случаев. Вг J Офтальмол. 2003;87:960–963.
5. Мерфи С., Тафи С.Дж., Минасян, округ Колумбия. Ошибка рефракции и визуальный результат после удаления катаракты. J Хирургия рефракции катаракты. 2002;28:62–66.





# T<sup>9</sup>

## Фемтосекундная лазерная платформа VICTUS Клинический опыт

*Герд У. Ауффарт, доктор медицинских наук, FEBO  
и Касу Прасад Редди, доктор медицинских наук, MRCOphth*

Фемтосекундный лазер Technolas был представлен в 2005 году для хирургии роговицы, а последняя версия фемтосекундной лазерной платформы VICTUS (Bausch + Lomb/ Technolas Perfect Vision GmbH [TPV], Мюнхен, Германия) способна выполнять широкий спектр процедур на переднем сегменте, которые включают лоскуты лазерного кератомилеза in situ (LASIK), астигматическую кератотомию или лимбальные расслабляющие разрезы, перфорационную кератопластику, пластинчатую кератопластику, фемтосекундную лазерную эндотелиальную кератопластику, интрастромальные кольцевые сегменты роговицы, сшивку роговицы, интрастромальное лечение пресбиопии (ИНТРАКОР) и – совсем недавно – лазерную рефракционную хирургию катаракты.

Заявки на одобрение регулирующими органами ИНТРАКОР (TPV, Мюнхен, Германия) и процедур лечения катаракты были поданы в США, а знак одобрения Conformité Européenne (CE) в Европе был получен 6 декабря 2011 г. для дополнительных показаний к лечению катаракты. Передняя капсулотомия и фрагментация хрусталика.

На момент публикации этой главы с помощью фемтосекундной лазерной платформы VICTUS в офтальмологической больнице MaxiVision в Хайдарабаде, Индия, было выполнено 655 случаев катаракты, а 9 глаз из 8 пациентов были прооперированы в Гейдельбергском университете в Гейдельберге, Германия. В этой главе представлена клиническая оценка этой лазерной системы для выполнения передней капсулотомии хрусталика и фрагментации хрусталика. Также обсуждаются некоторые из наиболее сложных ситуаций, в которых фемтосекундный лазер VICTUS оказался успешным, и клинические рекомендации по оптимальному использованию этой технологии.

## ФИЗИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ И ТРЕБОВАНИЯ

Фемтосекундная лазерная платформа VICTUS оснащена собственной кроватью для пациента, которой можно управлять в 3D с помощью джойстика. В качестве рабочей станции лазер VICTUS обеспечивает гибкость при выполнении процедуры фемтосекундной лазерной катаракты как в амбулаторных условиях, так и в стерильных условиях. Хирург может решить, лучше ли установить систему непосредственно в стерильной операционной или в амбулаторном отделении, где пациент готовится к хирургической процедуре. Изогнутый интерфейс пациента и индивидуальная кровать пациента созданы для комфорта пациента и эргономичности хирурга. В целом занимаемая площадь машины без аппликационного рычага и кровати пациента составляет 2,075 м × 0,825 м при высоте 1,673 м.

## ИНТЕРФЕЙС И ДОКОВКА

Изогнутый интерфейс фемтосекундного лазера VICTUS (сопоставимый с роговицей с силой передней поверхности 35 Д) обеспечивает плавную стыковку с глазом и для оптимизации контакта необходимо лишь небольшое количество жидкости.<sup>1</sup> Капля Рингера чаще всего используется лактат или сбалансированный солевой раствор с каплей анестетика или без него. Оптимальная стыковка предотвращает конъюнктивальные кровоизлияния, складки или рябь на десцеметовой мембране и повышение внутриглазного давления (ВГД). Поскольку преломляющая сила роговицы увеличивается, использование изогнутого интерфейса пациента приводит к гораздо меньшей децентрации по сравнению с плоской аппланацией роговицы.

Процедура стыковки у опытного хирурга занимает около 10 секунд.

Центрацию можно выполнить с использованием анатомического ориентира (центр зрачка) или с помощью системного программного обеспечения во время планирования процедуры. Сама присоска гибкая и удобно адаптируется к глазу. Всасывание происходит мягко, поскольку вакуумный механизм находится под постоянным контролем компьютера. Если произойдет перерыв всасывания, компьютер автоматически прекратит процедуру. В таком случае, в зависимости от клинической ситуации, процедуру можно начать заново. По завершении процедуры вакуум всасывания автоматически сбрасывается, и хирург удаляет интерфейс пациента из глаза. Этот запатентованный подход обеспечивает больший комфорт для пациента, меньшее всасывание в целом, меньшую нагрузку на роговицу и более низкое ВГД.

## ОПТИЧЕСКАЯ КОГЕРЕНТОМОГРАФИЯ В РЕАЛЬНОМ ВРЕМЕНИ ИЗОБРАЖЕНИЯ И ВИДЕО

Просмотр анатомических особенностей и ориентиров, таких как точное расположение передней капсулы хрусталика, позволяет хирургу спланировать расположение центра капсулотомии. Оптическая когерентная томография (ОКТ) позволяет легко манипулировать рексисом, не повреждая радужную диафрагму. Четкое изображение задней линзы Капсула предусмотрена ОСТ для обеспечения зоны безопасности от 80 до 400 мкм.<sup>1</sup> В общем, желательно работать в пределах передних двух третей глубины хрусталика. В опыте офтальмологической больницы MaxiVision ОКТ-изображения в реальном времени использовались для создания рексиса диаметром 5,5 мм и поперечного разреза хрусталика диаметром 4 мм на глубину 1000 мкм от задней капсулы. При разрезе толщиной 4 мм край лазерной капсулотомии не пострадал.

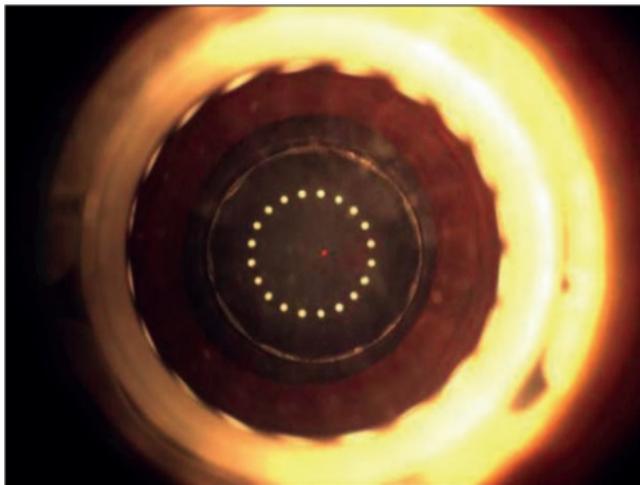


Рисунок 9-1. Вид процедуры капсулотомии через систему визуализации фемтосекундной лазерной платформы VICTUS. (Перепечатано с разрешения Bausch + Lomb/Technolas Perfect Vision.)

## ПЕРЕДНЯЯ КАПСУЛОТОМИЯ

Предпочтительно сначала выполнить капсулотомию, чтобы пузырьки газа, образующиеся при взаимодействии лазера с тканью хрусталика, имели возможность выйти в переднюю камеру, а не накапливаться в хрусталике (рис. 9-1).<sup>1</sup> Инъекция небольшого количества вязкоупругой жидкости позволяет легко удалить рексис щипцами. Альтернативно можно использовать кончик наконечника для факоэмульсификации для удаления рексис.<sup>2</sup>

Капсулотомия с лазерным удалением и рексисом выполняется быстро и безопасно, и хирург имеет возможность указать точный желаемый диаметр и центрацию.

## ФРАГМЕНТАЦИЯ ЛИНЗЫ

Во время опыта в Индии было проверено несколько твердых непрозрачных катаракт, и было обнаружено, что их легко фрагментировать.<sup>1,2</sup> Три модели фрагментации: Доступные в системе: кольцевые (круговые разрезы; Рисунок 9-2), радиальные (поперечные или секторные разрезы) и квадрантные разрезы (точечная абляция в одном квадранте за раз; Рисунок 9-3). Наиболее эффективная комбинация моделей фрагментации хрусталика будет определяться дополнительным хирургическим опытом и предпочтениями хирурга, но некоторые фундаментальные рекомендации заключаются в следующем: при катаракте 1 и 2 степени адекватны и эффективны окружные разрезы; для катаракты 3, 4 и 5 степени после капсулотомии следует перекрестная фрагментация (рис. 9-4). Секторные разрезы (более 4 радиальных разрезов) могут дополнительно сократить время факоэмульсификации, но обычно это не является существенным. Поперечный разрез с последующими круговыми разрезами (рис. 9-5) эффективен при твердой катаракте, но необходимы дальнейшие эксперименты, чтобы определить его преимущество перед только поперечным разрезом.

## ВПУХАЮЩАЯ КАТАРАКТА

Капсулотомия в таких случаях является сложной задачей даже для опытных хирургов и упрощается с помощью фемтосекундной лазерной платформы VICTUS. Диаметр 5,5 мм

Рисунок 9-2. Вид через хирургический микроскоп после фрагментации хрусталика с использованием кольцевой модели фемтосекундного лазера VICTUS. (Перепечатано с разрешения Bausch + Lomb/Technolas Per-fectVision.)

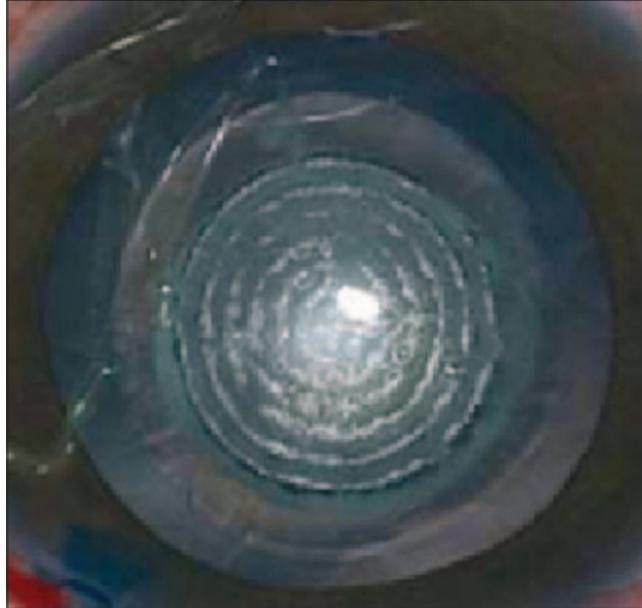


Рисунок 9-3. На платформе фемтосекундного лазера VICTUS для хирургии катаракты доступны различные варианты применения и схемы разрезов.

(Перепечатано с разрешения Bausch + Lomb/Technolas Per-fectVision.)

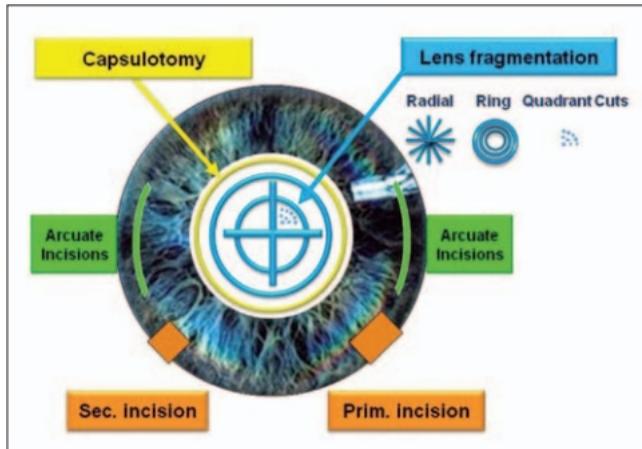


Рисунок 9-4. Вид передней капсулотомии и фрагментации хрусталика с помощью системы визуализации фемтосекундного лазера VICTUS. Обратите внимание на радиальный (поперечный) разрез и газовую диссекцию ядра и коры хрусталика. (Перепечатано с разрешения Bausch + Lomb/Technolas Perfect Vision.)

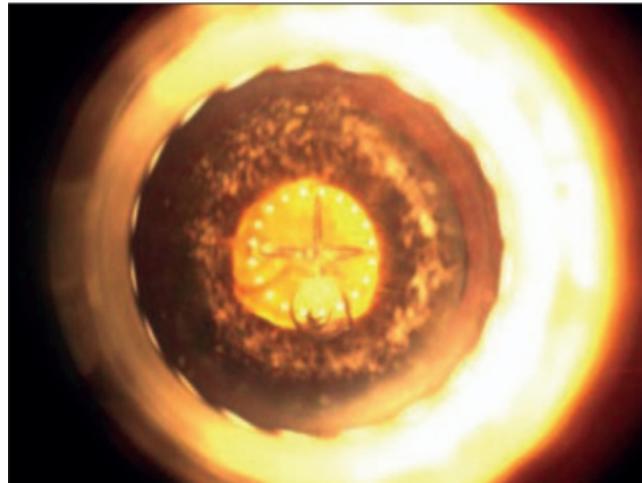




Рисунок 9-5. Просмотр через хирургический микроскоп после фрагментации хрусталика с использованием комбинации радиального (крестового) и кольцевого рисунка с помощью фемтосекундного лазера VICTUS. (Перепечатано с разрешения Bausch + Lomb/Technolas Per-fectVision.)

В таких случаях обычно планируют и эффективно выполняют капсулотомия. Капсулотомия диаметром 7 мм также была опробована при операции по удалению катаракты с малым разрезом (SICS) у индийского пациента. Индийские глаза иногда имеют темно-коричневые или черные катаракты выше 5 степени. Эти катаракты также имеют легкий факодонез. В этих случаях хирурги офтальмологической больницы MaxiVision предпочли выполнить SICS, а не факоэмульсификацию. Фемтосекундная лазерная капсулотомия длиной 7 мм оказалась чрезвычайно полезной в случае, когда была проведена SICS.

## ФАКОДОНЕЗ

Из 455 случаев катаракты, выполненных с помощью фемтосекундной лазерной платформы VICTUS в глазной больнице MaxiVision, в 4 случаях был проведен факодонез. В таких случаях ручная капсулотомия с помощью цистотома или капсульных щипцов оказывает давление на оставшиеся неповрежденные связки, и трудно сформировать точный рексис по диаметру, округлости и центрации. Таким образом, в этих 4 случаях факодонеза лазерная капсулотомия оказалась намного эффективнее.

### СЛУЧАИ, ТРЕБУЮЩИЕ БОЛЬШОГО ШЕСТИГРАНА

Пытаясь создать большой рексис, хирург может обнаружить, что рексис может распространяться на периферию и захватываться передними связочными волокнами, которые вставляются в переднюю капсулу. С этого момента становится очень трудно завершить капсулорексис, и хирургу, возможно, придется перейти к капсулотомии с открывашкой. Напротив, поскольку при выполнении фемтосекундной лазерной капсулотомии лазерная абляция начинается с 400 мкм позади передней капсулы и заходит в переднюю камеру в цилиндрической форме, то лазер прорезает не только капсулу, но и любые зоны, поступившие в способ. Это еще более актуально в случае капсулотомии диаметром 7 мм, перенесшей SICS.

Возможность создания надежного большого рексиса также была бы полезна в тех случаях, когда пациент мог выбрать аккомодирующую интраокулярную линзу (ИОЛ), такую как Tetraflex (Lenstec, Inc, Санкт-Петербург, Флорида) или Crystalens (Lenstec, Inc., Санкт-Петербург, Флорида). Abbott Medical Optics Inc, Санта-Ана, Калифорния).

## ЗОНУЛАРТЕНЗИЯ

Процедура фемтосекундного лазера VICTUS позволяет меньше манипулировать хрусталиком во время капсулотомии и тем самым снижает нагрузку на связочные волокна. Это улучшит долговременную стабильность имплантата ИОЛ.

## ПОРФИКСАЦИЯ

Капсулотомию можно выполнять на глазах с плохой фиксацией, в том числе с амблиопией. Система ОКТ-визуализации помогает выполнить точную капсулотомию и фрагментацию хрусталика, несмотря на плохую фиксацию. В таких случаях хирурги офтальмологической больницы MaxiVision отстыковывали и меняли положение глазного яблока, чтобы не было отклонений.

Однако отклонение в 5 градусов вполне приемлемо, поскольку ОКТ захватывает изображения в реальном времени, и параметры можно регулировать для обеспечения точности.

## ПСЕВДОЭКСФОЛИАЦИОННЫЙ СИНДРОМ

Капсулотомия при псевдоэксфолиации представляет собой трудную задачу из-за меньшего размера зрачка и более слабых связок,<sup>3</sup> и особенно при набухании, если требуется более крупная капсулотомия. В MaxiVision успешно вылечили одиннадцать глаз с псевдоэксфолиацией.

Отличные результаты были получены при использовании капсулотомии диаметром от 4,8 до 5,5 мм на расстоянии примерно 1 мм от края зрачка, поскольку лазерная абляция ближе к зрачку могла бы вызвать миоз, требующий внутрикамерного введения адреналина.

Два глаза двух пациентов с псевдоэксфолиативным синдромом также были успешно вылечены в Гейдельбергском университете. Благодаря стабильности капсулы после фемтокатарактной капсулотомии, вызывающей меньшее повреждение связок, операция по удалению катаракты у этих пациентов оказалась менее травматичной и имела отличные результаты.

## СУБЛЮКСИРОВАННОЕ ПОЛОЖЕНИЕ ЛЕНЗЫ

Основываясь на опыте Гейдельбергского университета в отношении подвывиха хрусталиков, фемтокапсулотомия обеспечивает стабильный рексис, что приводит к атравматичной операции, поэтому капсульный мешок все еще можно использовать для имплантации в мешок.

## АНЕСТЕЗИЯ

Лазерная хирургическая процедура катаракты может проводиться как под местной, так и под общей анестезией. В офтальмологической больнице MaxiVision операция по удалению катаракты с помощью VICTUS была проведена в 95% глаз под местной анестезией, а в остальных - под местной анестезией.



Рисунок 9-6. Лазерная фрагментация хрусталика позволяет легко расколоть ядро хрусталика и провести факоэмульсификацию. (Перепечатано с разрешения Vausch + Lomb/Technolas Per-fectVision.)

анестезия. Общий наркоз не применялся ни в одном случае. Все пациенты под местной анестезией чувствовали себя вполне комфортно, за исключением одного пациента, который испуганно двигал глазом после капсулотомии. Попыток фрагментации не предпринималось, операция была успешно завершена под местной анестезией.

В Гейдельбергском университете лазерная хирургия катаракты проводится как под местной, так и под общей анестезией. Это решение зависит от поведения и согласия пациента. В сложных случаях (глубокие глаза, мелкая передняя камера, меньший зрачок) общая анестезия может быть проще, но возможен и местный анестетик с надлежащей седацией.

## ГИДРОДИСЕКЦИЯ

Факоэмульсификацию обычно проводят без гидродиссекции, и на сегодняшний день в офтальмологической больнице MaxiVision никаких проблем не возникло (рис. 9-6).

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Фемтосекундный лазер VICTUS способен безопасно, точно и эффективно выполнять многие ключевые этапы хирургии катаракты, включая создание раны роговицы, переднюю капсулотомия, фрагментация и размягчение хрусталика.<sup>1,2</sup> Хирург найдет точную, Надежный и воспроизводимый характер лазерной передней капсулотомии будет наиболее полезен в рутинных и сложных случаях, таких как описанные в этой главе. Плотные катаракты можно удалить гораздо безопаснее после лечения с помощью лазерной фрагментации и смягчения хрусталика. Изогнутый интерфейс пациента и универсальность лазерного аппарата VICTUS для применения в роговичной и рефракционной хирургии являются уникальными. Было показано, что предыдущие версии этого фемтосекундного лазера способны безопасно и эффективно выполнение лоскутов LASIK,<sup>4</sup> роговичные туннели для интрастромального роговичного кольца сегменты для лечения кератоконуса,<sup>5</sup> сквозная кератопластика,<sup>6</sup> передний пластинчатая кератопластика,<sup>3</sup> задняя пластинчатая кератопластика,<sup>7</sup> астигматическая кератотомия,<sup>8,9</sup> и процедура интрастромальной коррекции пресбиопии INTRACOR, которая в дальнейшем будет обсуждается в главе 10.<sup>10-13</sup>

ИСПОЛЬЗОВАННАЯ  
ЛИТЕРАТУРА

1. Ауффарт Г.У. Первый европейский опыт использования фемтосекундной лазерной платформы VICTUS. Документ представлен на ежегодном собрании Европейского общества катарактальной и рефракционной хирургии. сентябрь 2011 г.; Вена, Австрия.
2. Редди К.П. Лазерная рефракционная хирургия катаракты на фемтосекундной лазерной платформе VICTUS. Доклад представлен на ежегодном собрании Европейского общества катарактальной и рефракционной хирургии. сентябрь 2011 г.; Вена, Австрия.
3. Хоффарт Л., Пруст Х., Матонти Ф., Катанезе М., Конрат Дж., Райдингс Б. Фемтосекундная передняя пластинчатая кератопластика. Дж. Фр. Офтальмол. 2007;30(7):689–694.
4. Хольцер М.П., Рабильбер Т.М., Ауффарт Г.Ю. Вырезы лоскута роговицы с помощью фемтосекундного лазера: морфология, точность и гистопатология. Инвестируйте офтальмол Vis Sci. 2006;47(7):2828–2831.
5. Томалла М. Экс-унд реимплантация сегментов интракорнеального кольца при поддержке фемтосекундного лазера Femtec для лечения прогрессирующего кератоконуса. Офтальмолог. 2007;104(4):321–324.
6. Пор Ю.М., Ченг Дж.Ю., Партасарати А., Мехта Дж.С., Тан Д.Т. Результаты фемтосекундной лазерной сквозной кератопластики. Ам J Офтальмол. 2008;145(5):772–774.
7. Зейтц Б, Лангенбухер А, Хофманн-Руммельт С, Шлотцер-Шрехардт У, Науманн Г.О. Немеханическая задняя ламеллярная кератопластика с использованием фемтосекундного лазера (фемто-плак) при декомпенсации эндотелия роговицы. Ам J Офтальмол. 2003;136(4):769–772.
8. Хоффарт Л., Пруст Х., Матонти Ф., Конрат Дж., Райдингс Б. Коррекция посткератопластического астигматизма фемтосекундным лазером по сравнению с механизированной астигматической кератотомией. Ам J Офтальмол. 2009;147(5):779–787.
9. Хоффарт Л., Пруст Х., Матонти Ф. и др. Дуговая кератотомия при посткератопластическом астигматизме фемтосекундным лазером. Дж. Фр. Офтальмол. 2009;32(8):544–550.
10. Руис Л.А., Сепеда Л.М., Фуэнтес В.К. Интрастромальная коррекция пресбиопии с использованием фемтосекундной лазерной системы. J Refract Surg. 2009;25(10):847–854.
11. Фиттинг А, Эмер А, Рабильбер ТМ, Ауффарт Г.Ю., Хольцер М.П. Согласование субъективных и объективных измерений рефракции после лечения фемтосекундным лазером INTRACOR. Офтальмолог. 2011;108(9):852–858.
12. Рабильбер Т.М., Хайгис В., Ауффарт Г.Ю., Маннсфельд А., Эмер А., Хольцер М.П. Расчет силы интраокулярной линзы после интрастромального фемтосекундного лазерного лечения пресбиопии: теоретический подход. J Refract Surg. 2011;37(3):532–537.
13. Хольцер М.П., Маннсфельд А., Эмер А., Ауффарт Г.Ю. Ранние результаты лечения пресбиопии фемтосекундным лазером INTRACOR. J Refract Surg. 2009;25(10):855–861.





# Т<sup>Раздел</sup> III

## Будущее Фемтосекундная хирургия



# To

## Фемтосекундные лазеры для лечения пресбиопии

*Джордж МакАрдл, OD*

Коррекция пресбиопии (потеря аккомодации) уже давно считается «Святым Граалем» рефракционной хирургии. Пресбиопия – неприятное состояние, которое отрицательно влияет на качество жизни<sup>1</sup> в возрасте, когда большинство взрослых достигли своего максимальную финансовую независимость и, следовательно, иметь возможность оплачивать выборные процедуры. По оценкам, более 1 миллиарда человек во всем мире страдают от пресбиопии.<sup>2</sup> При таком невероятном количестве подходящих кандидатов неудивительно, что большое количество разработан ряд методик, технологий и процедур для коррекции пресбиопии<sup>3</sup>; однако ни одно из них на сегодняшний день не добились одинаково высокого успеха. и низкая частота осложнений, необходимых для успеха плановой рефракционной процедуры. Очки для чтения или бифокальные очки эффективны, но неудобны. Мультифокальный контактные линзы пользуются умеренным процентом одобрения пациентов.<sup>4</sup> Хотя моновидение Контактные линзы и лазерный кератомилез in situ (LASIK) могут быть эффективными, но многие пациенты не переносят потерю восприятия глубины, снижение качества расстояния и зрение вблизи и нарушения ночного видения, что приводит к более высоким показателям улучшения.<sup>5</sup> Роговичные рефракционные процедуры, такие как роговичные вкладки и мультифокальный LASIK, никогда не имели широкого коммерческого успеха из-за проблем с техническим и визуальным качеством. Процедуры расширения склеры имели еще меньший успех в коррекции пресбиопии, и их труднее выполнять. Мультифокальные и аккомодационные интраокулярные линзы (ИОЛ) добились определенного успеха при использовании в корректирующей хирургии катаракты; однако они, как правило, не считаются подходящими в качестве чисто рефракционной процедуры.

## ПРЕСБИОПИЯ И ТЕОРИИ АККОМОДАЦИИ

Хотя прошло 200 лет с тех пор, как Янг<sup>6</sup> предположил, что хрусталик отвечает за аккомодацию, реальный механизм изменения формы и положения хрусталика во время аккомодации стал предметом серьезных дискуссий. Этот вопрос имеет первостепенное значение для рефракционного хирурга, поскольку необходимо понять механизм потери аккомодации, чтобы успешно и навсегда восстановить ее с помощью рефракционной процедуры.

Фон Гельмгольца, или капсульная теория аккомодации,<sup>7</sup> был в значительной степени поддерживается экспериментальной работой Финчема.<sup>8</sup> Гельмгольд предположил, что Хрусталик обычно поддерживается в уплощенном состоянии за счет зонального напряжения на экваторе хрусталика. Сокращение цилиарного тела вызывает ослабление связочного напряжения, что позволяет хрусталику «скругляться» во время аккомодации. Следовательно, активное сокращение цилиарной мышцы вызывает пассивное изменение формы хрусталика. Исследования Глассера, ведущего специалиста по аккомодации, подтвердили вывод о том, что затвердевание и увеличение хрусталика с возрастом следует рассматривать как Важные факторы в развитии пресбиопии.<sup>9</sup>

Хотя теория Гельмгольца является наиболее общепринятой теорией аккомодации, она не объясняет округление передней капсулы во время аккомодации с небольшим изменением кривизны задней капсулы хрусталика при аккомодации и «парадокс хрусталика», когда рост хрусталика с возрастом не связан с увеличением силы линзы. Кроме того, расслабление связок хрусталика во время аккомодации должно учитывать гравитационное воздействие на хрусталик, которое не было продемонстрировано.

Наконец, дезинсерция цилиарной мышцы приводит к потере аккомодации и дальнозоркости, а не постоянной близорукости, как предполагает теория Гельмгольца.<sup>10</sup> Поэтому были предложены другие, более противоречивые теории аккомодации, включая теорию роста линз<sup>11</sup> и модель поддержки стекловидного тела.<sup>12</sup> преломляющий процедуры, основанные на этих альтернативных теориях, столкнулись с временными или переменными успех.<sup>3</sup>

## АНАТОМИЧЕСКИЕ ВОЗРАСТНЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ, СПОСОБСТВУЮЩИЕ РАЗВИТИЮ ПРЕСБИОПИИ

С возрастом диаметр кольца цилиарного тела уменьшается,<sup>12</sup> позиционируя это ближе к хрусталику, что уменьшает напряжение связок и позволяет хрусталику принять более круглую конфигурацию. Ресничная мышца сохраняет способность сокращаться,<sup>13</sup> хотя скорость, с которой он может расслабиться, с возрастом уменьшается.<sup>14</sup> Зонулярные волокна с возрастом не меняют своих упругих свойств, но вставки прогрессируют. расположены значительно ближе кпереди.<sup>15</sup> Толщина капсулы хрусталика увеличивается, а ее эластичность снижается с возрастом, что делает ее менее поддающейся аккомодации. Экваториальный диаметр хрусталика увеличивается на протяжении всей жизни. Из-за постоянного роста хрусталика в ограниченном капсульном пространстве, а также изменений натяжения, оказываемого капсулой на волокна хрусталика, на протяжении всей жизни хрусталик подвергается уплотнению ядерных волокон, называемому склерозом, что приводит к увеличению жесткости хрусталика. Эти изменения позволяют предположить, что потеря эластичности хрусталика может быть основной причиной потери аккомодации с возрастом.

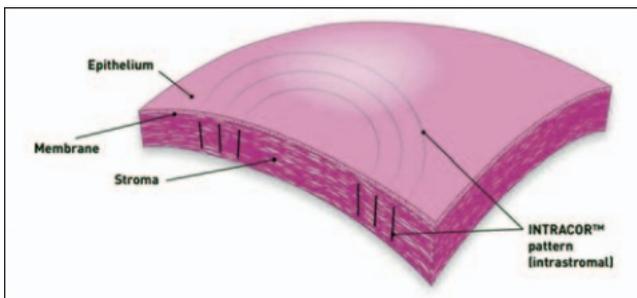


Рисунок 10-1. На схеме INTRACOR показаны концентрические интрастромальные разрезы для создания нескольких рефракционных областей на роговице с сохранением эпителия роговицы, слоя Боумена и передней стромы. (Перепечатано с разрешения Technolas Per-fect Vision GmbH.)

## ФЕМТОСЕКУНДЛАЗЕРНЫЕ ПОДХОДЫ К ВОССТАНОВЛЕНИЮ АККОМОДАЦИИ И КОРРЕКТИРОВКЕ ПРЕСБИОПИИ

Недавно для лечения пресбиопии стали применять фемтосекундные лазеры. Майерс и Крюгер были первыми, кто представил концепцию модификации линз с использованием лазера для улучшения скольжения волокон линзы и последующего увеличения изгиба линзы. Однако наносекундный лазер, появившийся в 1998 году, вызвал существенные побочные эффекты, включая ударные волны, кавитационные пузырьки и повышение температуры.<sup>16</sup> Дальнейшее изучение Исследования на трупных глазах обнаружили, что аккомодационный потенциал увеличился.<sup>17</sup> Более Недавно были показаны фемтосекундные лазеры с ультракороткими импульсами низкой энергии, для повышения гибкости и эластичности линз в донорских линзах человека<sup>18,19</sup> в то время как не стимулировать катарактогенеза в хрусталике животных.<sup>20</sup> Недавние исследования на приматах с участием более В течение 3 лет наблюдения также было обнаружено непрогрессирующее образование катаракты.<sup>21</sup> Оптический когерентная томография (ОКТ) была создана для управления лечением фемтосекундным лазером. мент.<sup>22</sup> Недавнее появление фемтосекундного лазера для хирургии катаракты значительно изменило ситуацию, расширил имеющиеся промышленные ресурсы для изучения различных подходов и технологий восстановления жилья.

Интрастромальные процедуры роговицы с использованием фемтосекундного лазера обеспечивают ограниченный риск заражения, быструю реабилитацию с ненарушенным эпителием, а также улучшенную стабильность роговицы, поскольку передняя строма и слой Боумена также сохраняются по сравнению с предыдущими инцизионными процедурами роговицы. Фемтосекундные лазерные процедуры также открывают интригующие возможности изменения формы и гибкости хрусталика.

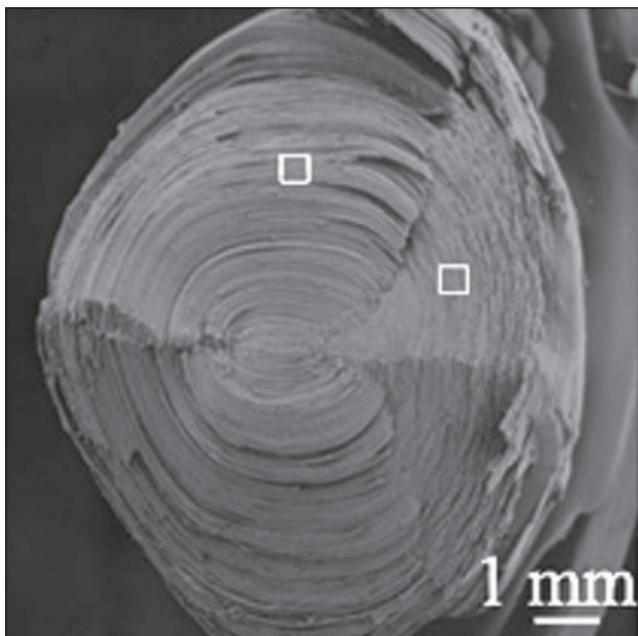
Хотя возможность возникновения катаракты исторически вызывала серьезную озабоченность при любых манипуляциях с хрусталиком, точность и достоверность фемтосекундного лазера под контролем ОКТ могут предложить подход, который минимизирует эти риски и предлагает множество преимуществ по сравнению с другими процедурами, аналогичными тем, которые применяются при ОКТ-лазере. интрастромальные процедуры на роговице: ограниченный риск заражения и быстрая реабилитация зрения. Преимущества процедур как на роговице, так и на хрусталике с помощью фемтосекундного лазера также включают в себя возможность потенциально выполнять эти процедуры под местной анестезией, двусторонне, в офисных условиях, таким же образом, как LASIK был выполнен в среднем 1 миллиону пациентов. глаз в Соединенных Штатах каждый год в течение последнего десятилетия.

## ИНТРАКОР-ТЕХНОЛАСПЕРФЕКТВИЖН

Хотя это процедура на роговице, ИНТРАКОР использует фемтосекундный диодный твердотельный лазер (VICTUS) для проведения серии концентрических интрастромальных разрезов для создания нескольких рефракционных областей на роговице, сохраняя при этом эпителий роговицы, слой Боумена и переднюю строму (рис. 10-1). ). Одна серия разрезов создаст гипервытянутую форму роговицы для фокусировки вблизи, а другая будет использоваться для придания формы.

Рис. 10-2. Ядро тринадцатилетнего павиана, рассеченное на ядро плода, демонстрирующее плоскости расщепления. (Перепечатано с разрешения Джерома Р.

Кушак, доктор философии).



роговица для фокусировки на расстоянии. Во время этой процедуры близорукость можно одновременно скорректировать с помощью интрастромальных радиальных разрезов. Серия сокращений предназначена для достижения оптимальной картины аберраций как на расстоянии, так и на близком расстоянии. Изменение формы роговицы происходит в результате биомеханического эффекта внутриглазного давления (ВГД), слегка смещающего центральную часть роговицы вперед.

Процедура INTRACOR при пресбиопии показала хорошие результаты по остроте зрения в раннем послеоперационном периоде. Стабильность роговицы сохраняется, о чем свидетельствует стабильность гистерезиса роговицы, фактора резистентности роговицы, пахиметрии, эндотелия, плотность клеток и контрастная чувствительность без структурных осложнений роговицы.<sup>23,24</sup> Во время послеоперационного заживления с помощью ИНТРАКОР пузырьки кавитационного газа исчезают в течение нескольких часов после операции, и при этом достигается хорошая острота зрения. короткий срок лечения.<sup>25</sup> INTRACOR может привести к изменению почти на 2 D, что обеспечивает умеренную коррекцию пресбиопии. В недавнем исследовании INTRACOR с участием 95 глаз общая удовлетворенность пациентов составила 95%, при этом 5,3% пациентов сообщили о ночном Нарушения зрения в 3 мес.<sup>26</sup>

## ФЕМТО-ЛЕНТОТОМИЯ

Фемтолентотомия пытается создать плоскости скольжения (рис. 10-2 и 10-3) внутри хрусталика, чтобы увеличить механическую гибкость хрусталика с помощью Титан-сапфировая лазерная система.<sup>27</sup> Ультракраткие импульсы имеют центральную длину волны 1041 нанометр (максимальная энергия импульса: 3,6 мкДж; длительность импульса: 306 фемтосекунд). В линзах доноров кролика и человека гальвометром создают узор из 3 основных геометрических частей: 2 колец, 2 цилиндров и набора плоскостей, напоминающий штурвал (рис. 10-4, 10-5 и 10-). 6).

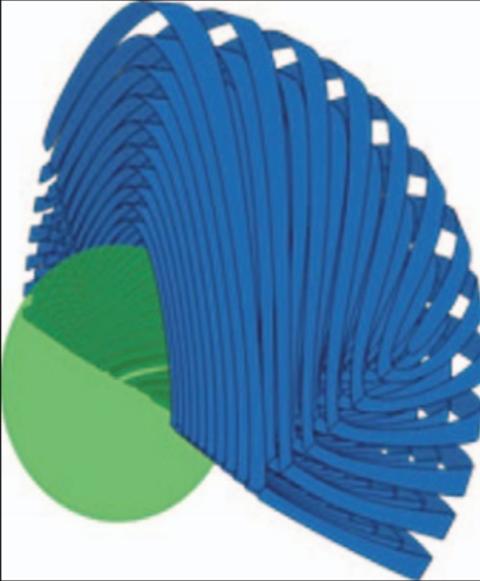


Рисунок 10-3. Корреляционная 3D-модель хрусталика бабуина, разработанная с помощью компьютерного проектирования (САПР), показывающая модель хрусталика с перекрывающимися скользящими или скользящими волокнами на швах. (Перепечатано с разрешения Джерома Р. Кушака, доктора философии.)

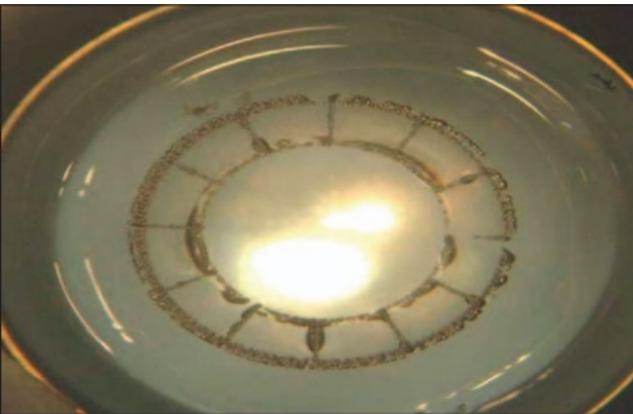


Рисунок 10-4. Модифицированная версия рисунка «руль» в хрусталике свиного глаза. (Перепечатано с разрешения Хольгера Любачевского, доктора философии.)



Рисунок 10-5. Извлеченный свиной глобус с облученным рисунком рулевого колеса. (Перепечатано с разрешения Хольгера Любачевского, доктора философии.)

Рисунок 10-6. 3D ОКТ-изображение хрусталика, показывающее часть рисунка рулевого колеса и характерный треугольник линий швов. (Перепечатано с разрешения доктора философии Хольгера Любачевского.)

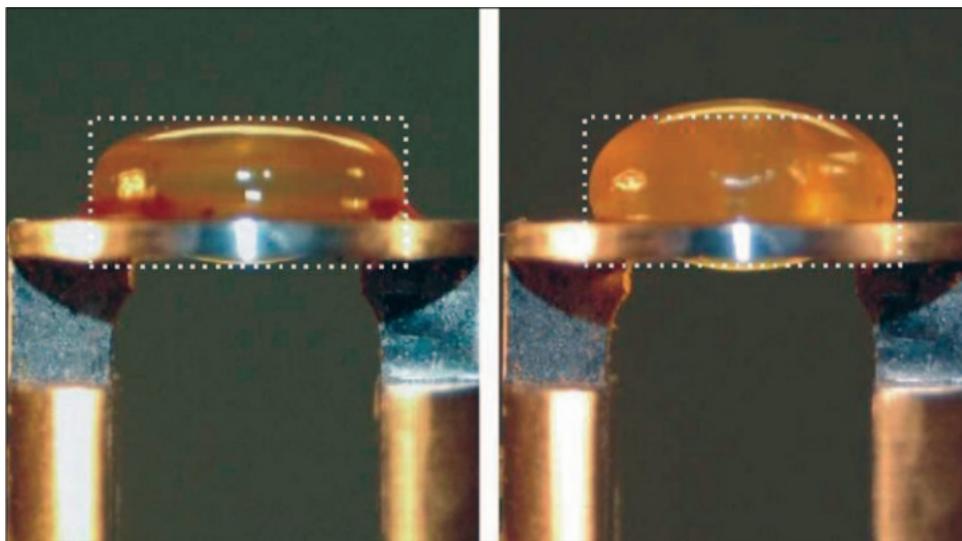
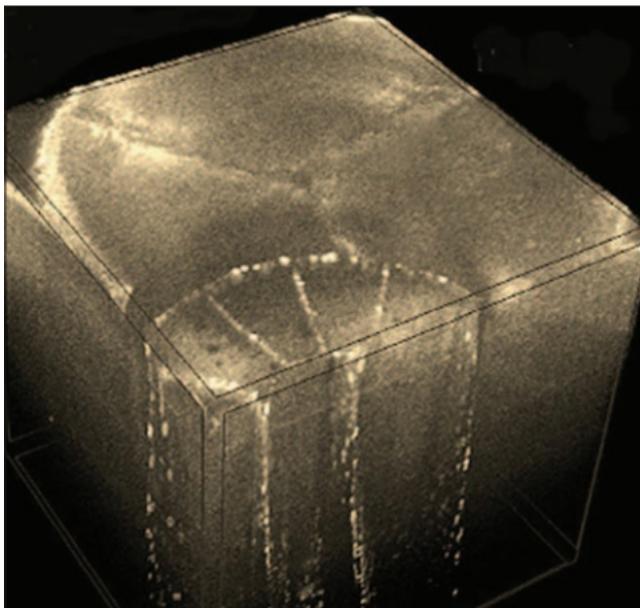


Рисунок 10-7. Вид сбоку хрусталика человека до (слева) и после (справа) лечения, демонстрирующий мгновенное увеличение передне-заднего диаметра после фемтосекундной лентотомии. Лазерная обработка уменьшает внутреннее трение материала линзы. (Перепечатано с разрешения Хольгера Любачевского, доктора философии.)

Наблюдалось увеличение передне-задней толщины на 97 мкм (рис. 10-7), а также увеличение деформационной гибкости на 16%, измеренное с помощью спин-теста Фишера. нингтест.<sup>28</sup> Считается, что этот метод может привести к увеличению аккомодационной способности. способность от 2 до 3 D. Испытания на людях планируется начать в начале 2012 года.



Рисунок 10-8. «Вафельный узор» представляет собой сетчатый рисунок, нанесенный на переднее ядро и швы.

(Перепечатано с разрешения ООО «Эксперт Обзоры»). Экспертное обозрение офтальмологии. 2011;6(1):55-65.)

## ЛЕНСАР

Компания LensAR разработала интригующую многофакторную технологию для устранения пресбиопии, которая включает в себя смягчение хрусталика, а также удаление тканей хрусталика. Это может привести в восстановлении гибкости хрусталика для восстановления аккомодационной способности.<sup>29</sup> Этот метод использует фемтосекундный лазер с длиной волны 1064 нм по запатентованным схемам, не затрагивающим центральную часть роговицы (рис. 10-8). Концепция LensAR заключается в микрообъемном удалении ткани хрусталика на средней периферии, что приводит к значительным изменениям кривизны во время аккомодации. Использование пользовательских шаблонов импульсных фемтосекундных лазеров может изменить

биомеханики хрусталика достаточно для повышения аккомодационной способности.<sup>22</sup>

Далее следует увеличение гибкости и изменение средней оптической силы линзы на 5,8 дптр. обработка хрусталиков трупов свиней и людей.<sup>22</sup> Тестирование на людях на Филиппинах недавно сообщалось.<sup>21</sup> Пациенты (n = 14), которым была назначена плановая операция по удалению катаракты с легкой катаракта (острота зрения 20/40 или выше) в возрасте от 45 до 60 лет была выбрана для моделирования потенциального пациента с пресбиопией. Хотя использовались 3 различных лазерных алгоритма, все они были избавлены от центра линзы. Первые результаты показали незначительные изменения в остроте зрения вдаль с наилучшей коррекцией (-0,06D). Средняя аккомодация за 1 месяц улучшилась на 0,20 Д объективно и на 0,22 Д субъективно. Хотя эти изменения в аккомодации скромны, отсутствие прогрессирующего образования катаракты обнадеживает.

### ЛЕНТИКУЛЯРНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКАЯ ГРУППА

Предыдущие две концепции включали попытку смягчить хрусталик, чтобы восстановить гибкость и аккомодацию. Группа лентиккулярных исследований (LRG) исследует существенно иной подход, основанный на предположении, что рост хрусталика в ограниченном капсульном пространстве вызывает уплотнение хрусталика или склероз.<sup>30,31</sup> Это постулируется что изменения скорости роста хрусталика можно достичь целенаправленным воздействием фемтосекундного лазера на передние эпителиальные клетки, замедляя снижение аккомодационной способности. В отличие от других методов коррекции пресбиопии, которые применялись после развития пресбиопии, метод LRG имеет более профилактический подход: лечение начинается до или сразу после начала пресбиопии, чтобы зафиксировать оставшуюся амплитуду аккомодации. LRG начинает испытания на животных в начале 2012 года.

## ВНУТКАНЕВОЕ ФРАКТИВНОЕ ИНДЕКСФОРМИРОВАНИЕ

Еще одним новым подходом к лечению пресбиопии является изменение показателя преломления хрусталика. Этот метод использует фемтосекундный лазер для создания решетчатого рисунка. крачка в кортикальной ткани хрусталика.<sup>32</sup> Использование фемтосекундного лазерного генератора из Ti:Саффира с длиной волны 800 нм.

При длительности импульса 27 фс и частоте повторения 93 МГц серия линий, образующих решетчатую структуру размером  $100 \times 100$  мкм, была вписана на 100 мкм ниже передней поверхности хрусталика (см. рис. 10-8). Эти решетки имеют очень низкий разброс по сравнению с приложениями для разрушения тканей, пока энергия импульса остается ниже порога оптического пробоя. В современных приложениях линз время диффузии нелинейно поглощенной лазерной энергии больше, чем временной интервал между лазерными импульсами, что позволяет накапливаться поглощенной энергии и ухудшает оптическое качество.<sup>33</sup> Если эта техника может применяться ниже порогового уровня клеточного повреждения, может оказаться возможным изменить показатель преломления хрусталика и увеличить диоптрию для восстановления аккомодации.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Эпоха применения фемтосекундного лазера для хирургии катаракты расширила возможности, доступные сейчас для оценки фемтосекундного лазера для лечения пресбиопии. Конечный успех этих процедур будет зависеть от того, сможет ли сверхбыстрое низкоэнергетическое точное размещение фемтосекундного лазера под управлением ОКТ избежать возникновения катаракты при лечении линз и оптических аберраций при лечении роговицы, одновременно достигая значимой коррекции пресбиопии. В то время как ранние исследования в этой области продолжаются, 1 миллиард пресбиопов в мире продолжают бороться с очками для чтения, бифокальными очками и монозрением.

ИСПОЛЬЗОВАННАЯ  
ЛИТЕРАТУРА

1. Луо Б.П., Браун Г.К., Луо С.К., Браун ММ. Качество жизни, связанное с пресбиопией. *Am J Офтальмол.* 2008;145(4):618–622.
2. Эфрон Н., Морган П.Б., Вудс К.А. Международный консорциум по исследованию прописывания контактных линз. Международное исследование по назначению контактных линз для длительного ношения. *Оптом Вис Ски.* 2011.
3. Глассер А. Восстановление аккомодации: хирургические возможности коррекции пресбиопии. *Клин Эксп Оптом.* 2008;91(3):279–295.
4. Ки Дж.Э., Йи Дж.Л. Проспективная клиническая оценка бифокальных контактных линз Acuvue. *CLAO J.* 1999;25(4): 218–221.
5. Хом ММ. Моновидение и ЛАСИК. *J Am Optom Assoc.* 1999;70(2):117–122.
6. Фишер Р. Сила сокращения цилиарной мышцы человека при аккомодации. *Дж Физиол.* 1977; 270: 51–74.
7. Фишер Р. Механика аккомодации в связи с пресбиопией. В: Старк Л., Обрехт Г., ред. *Последние исследования и обзоры Третьего международного симпозиума. Нью-Йорк; Профессиональная пресса; 1987: 42–44.*
8. Фишер Р. Механика аккомодации в связи с пресбиопией. *Глаз* 1988;2:646–649.
9. Глассер А., Кауфман П.Л. Механизм аккомодации у приматов. *Офтальмол.* 1999;106: 863–872.
10. Бито Л., ДеРуссо С., Кауфман П., Бито Дж. Возрастная потеря аккомодационной амплитуды у макак-резус: животная модель пресбиопии. *Инвестируйте офтальмол Vis Sci.* 1982;23:23–31.
11. Хэфлигер Э., Парел Дж. Размещение эндокапсулярной силиконовой линзы (Факто-эрац) у стареющей макаки-резуса. *J Ref Роговичная хирургия.* 1994;10:550–555.
12. Стрэнк С.А., Семмлоу Дж.Л., Стрэнк Л.М., Муньос П., Гронлунд-Джейкоб Дж., ДеМарко Дж.К. Возрастные изменения цилиарной мышцы и хрусталика человека: исследование магнитно-резонансной томографии. *Инвестируйте офтальмол Vis Sci.* 1999;40(6):1162–1169.

13. Пардью М.Т., Сивак Дж.Г. Возрастные изменения цилиарной мышцы человека. *Оптом Вис Ски*. 2000;77(4):204–210.
14. Свегмарк Г. Исследования импедансной циклографии аккомодации глаз человека в разном возрасте. *Акта Офтальмол*. 1969;47(5):1186–1206.
15. Сакабе И, Ошика Т, Лим С.Дж., Apple DJ. Переднее смещение зоны прикрепления на переднюю поверхность хрусталика человека с возрастом. *Офтальмология*. 1998;105(2):295–299.
16. Майерс Р.И., Крюгер Р.Р. Новые подходы к коррекции пресбиопии с помощью лазерной модификации хрусталика. *J Refract Surg*. 1998;14:136–139.
17. Крюгер Р.Р., Сан К.К., Стро Дж. и др. Экспериментальное повышение аккомодационного потенциала после лазерного фоторазрушения парных трупных хрусталиков неодимом: иттрием-алюминиевым гранатом. *Офтальмология*. 2001;108:2122–2129.
18. Шумейкер С., Оберхайде Ю., Фромм М. и др. Фемтосекундный лазер вызывал изменение гибкости хрусталиков доноров. *Виз Рес*. 2009;49:1853–1859.
19. Рипкен Т., Оберхайде У., Фромм и др. Fs-лазер вызывает изменения эластичности для улучшения аккомодации пресбиопической линзы. *Офтальмол Graefe's Arch Clin Exp*. 2008;246:867–906.
20. Крюгер Р.Р., Кусак Дж., Любачовски Х. и др. Первое исследование безопасности фемтосекундной фотодеструкции хрусталиков животных: морфология тканей и катарактогенез. *Ж Хирургия рефракции катаракты*. 2005;31:2386–2394.
21. Реджани Мелло Г.Х., Крюгер Р.Р. Фемтосекундная лазерная фоторазрушение хрусталика для восстановления аккомодации. *Международная офтальмол клиника*. 2011;51:87–95.
22. Любачевски Х., Шумахер С., Фромм М. и др. Фемтосекундная лентотомия: создание скользящих плоскостей внутри хрусталика для восстановления аккомодационной способности. *Дж Биофотон*. 2010;3:265–268.
23. Руис Л.А., Сепеда Л.М., Фуэнтес В.К. Интрастромальная коррекция пресбиопии с использованием фемтосекундной лазерной системы. *J Refract Surg*. 2009;25(10):847–854.
24. Рабсильер Т.М., Хайгис В., Ауффарт Г.Ю., Маннсфельд А., Эмер А., Хольцер М.П. Расчет силы интраокулярной линзы после интрастромального фемтосекундного лазерного лечения пресбиопии: теоретический подход. *J Refract Surg*. 2011;37(3):532–537.
25. Хольцер М.П., Маннсфельд А., Эмер А., Ауффарт Г.Ю. Ранние результаты лечения пресбиопии фемтосекундным лазером INTRACOR. *J Refract Surg*. 2009;25(10):855–861.
26. Бохач М, Габрич Н, Античич М, Драца Н, Декарис И. Первые результаты процедуры Intracog в Хорватии. *Колл Антрополь*. 2011;35(приложение 2):161–166.
27. Любачевский, Хольгер. Фемтосекундная лентотомия: создание скользящих плоскостей внутри хрусталика для восстановления аккомодационной способности. *Дж. Биофотоника*. 2010;3:265–268.
28. Шумахер С., Оберхайде Ю., Фромм М. и др. Фемтосекундный лазер вызывал изменение гибкости донорских хрусталиков человека. *Виз Рес*. 2009;49(14):1853–1859.
29. Фрей Р.В., Олмстед Р.Т., ДеКастро Дж., Зепкин и др. Модификация механики линз человеческого трупа и свиных линз с использованием фоторазрушающего лазера для изменения оптической силы линз и повышения гибкости. Аннотация ARVO #E3834; [www.lensar.com/downloads/Modification%20of%20Lens%20Mechanics%20of%20Human%20Cadaver.pdf](http://www.lensar.com/downloads/Modification%20of%20Lens%20Mechanics%20of%20Human%20Cadaver.pdf). По состоянию на 5 марта 2012 г.
30. Привет КР, Крам С.Л., Труискотт Р.Дж.В. Массивное увеличение жесткости ядра хрусталика человека с возрастом: основа пресбиопии? *Мол Вис*. 2004;10:956–963.
31. Вебер Х.А., Экерт Г., Пеххольд В., ван дер Хейде РГЛ. Градиент жесткости хрусталика. *Офтальмол Graefe's Arch Clin Exp*. 2007;245(9):1357–1366.
32. Дин Л. Внутритканевое формирование показателя преломления (IRIS) роговицы и хрусталика с использованием низкоимпульсного фемтосекундного лазерного генератора. *Инвестируйте офтальмол Vis Sci*. 2008;49(12):5332–5339.
33. Шаффер С., Гарсия Дж., Мазур Э. Объемный нагрев прозрачных материалов с использованием фемтосекундного лазера с высокой частотой повторения. *Appl Phys A*. 2003;76:351–354.



# Т

## Приложение Типы лазеров, используемых в офтальмологии

<i>Лазер</i>	<i>Длина волны (нм)</i>	<i>Эффект</i>
Эксимер	193	Фотоабляция
Аргон	с 514 по 488	Фотокоагуляция
фемтосекундный	с 1028 по 1053	Фоторазрушение/ фотодиссекция
Иттрий, легированный неодимом алюминиевый гранат (Nd:YAG) 1064		Фоторазрушение
Углекислый газ (CO <sub>2</sub> )	106 000	Фототермический

# T

## Раскрытие финансовой информации

Доктор Герд У. Ауффарт получил исследовательский грант, оплату лекций и компенсацию командировочных расходов от Technolas Perfect Vision GmbH.

Доктор Клара К. Чан получала гранты на поездки или гонорары от компаний Allergan, Bausch + Lomb и Alcon.

Доктор Уильям Калбертсон — консультант компаний Optimedica, Alcon, Abbott Medical Optics и Ноуа. Доктор Калбертсон также получает финансирование на исследования от Bausch + Lomb.

Доктор Тереза Игнасио работает в компании Alcon LenSx Inc.

Доктор Дуглас Д. Кох — консультант Alcon and Abbott Medical Optics и акционер OptiMedica.

Доктор Фридер Лезель работает в компании Technolas Perfect Vision GmbH.

Доктор Джордж МакАрдл является акционером Lenticle Research Group.

Доктор Золтан Надь не раскрыл никаких финансовых связей.

Доктор Луи Э. Пробст является консультантом компаний Abbott Medical Optics и TLC Vision.

Доктор Касу Прасад Редди — консультант компаний Bausch + Lomb и Technolas Perfect Vision.

Доктор Мелвин А. Сарайба работает в компании Alcon LenSx Inc.

Доктор Барри Сейбел является акционером Optimedica и членом Медицинского консультативного совета Optimedica.

Доктор Роджер Штайнерт — консультант компаний OptiMedica и Abbott Medical Optics.

Доктор Джонатан Х. Таламо — консультант OptiMedica.

Доктор Вэнс Томпсон не имеет финансовой или имущественной заинтересованности в представленных здесь материалах.

Доктор Уильям Трэтлер — консультант компаний LensAR и Abbott Medical Optics.

Доктор Харви Сий Уй — платный следователь LensAR.

Доктор Джон Вукич — консультант компаний OptiMedica и Abbott Medical Optics.

Г-н Эрик Вайнберг работает в компании Alcon LenSx Inc.

