ПАТОЛОГИЯ РЕФРАКЦИИ

УДК 617.753

И.Л. КУЛИКОВА
Чебоксарский филиал МНТК «Микрохирургия глаза» им. акад. С.Н. Федорова» МЗ РФ

Применение первого в России фемтосекундного лазера в рефракционной хирургии

Куликова Ирина Леонидовна
доктор медицинских наук, заместитель директора по лечебной работе
428028, г. Чебоксары, пр. Тракторостроителей, д. 10, тел. (8352) 52-08-27, e-mail: koulikovail@mail.ru

Автором представлен обзор сравнительных данных экспериментальных исследований и функциональных результатов операций лазерного in situ кератомилеза с применением фемтосекундного лазера и механического кератома. Приведены данные световой и электронной микроскопии по изучению особенностей регенерации роговицы кролика после ЛАЗИК и ИнтраЛАЗИК. Показаны преимущества фемтосекундного лазера, сохраняющего биомеханические свойства роговицы во время резекции клапана, обеспечивающего более высокое качество зрения и открывающего новые возможности в рефракционной хирургии.

Ключевые слова*: лазерный in situ кератомилез, фемтосекундный лазер, роговичный клапан, аберрации высшего порядка, пространственная контрастная чувствительность.*

I.L. KULIKOVA
Cheboksary branch IRTC «Eye Microsurgery» named after acad. S.N. Fedorov» MH of RF

Use of the first femtosecond laser in Russia in refractive surgery

Review of comparative data of experimental investigations and functional results of laser in situ keratomileusis surgeries with femtosecond laser and mechanic keratome is given. Light and electron microscopy to study peculiarities of cornea healing in rabbit after LASIK and IntraLASIK data are represented. Femtosecond laser advantages are shown, as it maintains biomechanic properties of cornea during valve resection and it provides quality of vision and opens new possibilities in refractive surgery.

Keywords*: laser in situ keratomileusis, femtosecond laser, cornea valve, high order aberration, space contrast sensitivity.*

ЦВЕТНЫЕ ИЛЛЮСТРАЦИИ К СТАТЬЕ НА СТР. 320

В Чебоксарском филиале впервые в России в 2007-2008 гг. были выполнены операции лазерного интрастромального (in situ) кератомилеза (ЛАЗИК,LASIK) для коррекции аметропий, а также сквозная кератопластика и имплантация интрастромальных сегментов у пациентов с кератоконусом с использованием фемтосекундного лазера «IntraLase FS» (США) [1-6].

Появление фемтосекундных лазеров (ФСЛ), создающих с помощью сфокусированных кавитационных пятен гладкие разрезы в строме и однородные по профилю и структуре клапаны, обеспечило высокие функциональные результаты при выполнении рефракционной операции [7, 8]. «IntraLase FS» использует близкий инфракрасный луч света (длина волны 1053 нм), чтобы точно отделить ткани с помощью процесса, называемого фоторазрывом, когда лазерные импульсы разделяют ткани на молекулярном уровне без передачи тепла или воздействия на окружающие ткани [7]. В отличие от эксимерлазерной абляции фоторазрыв не зависит от свойств абсорбции длины лазерного излучения тканью роговицы. В основе фоторазрыва лежит явление, называемое индуцированный лазерный оптический распад, который завершается, когда строго сфокусированный лазерный импульс ультракороткой продолжительности (600-800 фсек) производит плазму. Плазма медленно расширяется со сверхзвуковой скоростью, постепенно замещая окружающие ткани шоковыми волнами. После охлаждения плазмы формируется полость пузыря, при этом испаряется маленький участок ткани (менее 1 микрона),

а оставшийся пузырь эвакуируется с помощью эндотелиального насоса или при поднятии клапана. Программное обеспечение позволяет выполнить резекционную плоскость, которая создается размещением десятков тысяч смежных лазерных пульсов в секунду, в любом направлении [7, 9].

Было доказано, что ФСЛ оставляет значительное количество коллагеновых волокон стромы неповрежденными [10]. По данным гистологических и электронно-микроскопических исследований, выполненных через 1-3 месяца после ЛАЗИК с формированием клапана ФСЛ 60 кГц (ИнтраЛАЗИК или ФемтоЛАЗИК, IntraLASIK), результаты воздействия ФСЛ и механического кератома на процессы заживления роговичной раны отличались, в основном, по краю клапана [11].

Исследование особенностей заживления стромальной раны после использования микрокератома показало, что в месте разреза преобладает апоптоз клеток [12, 13]. Воздействие же ФСЛ на ткани, по заключению других исследователей, вызывает некроз клеток и следующую за этим выраженную воспалительную реакцию [14]. При этом отмечается отсутствие значимых различий между ФСЛ 60 кГц и микрокератомом в вызванной инфильтрации и стромальной пролиферации клеток по всему разрезу, по сравнению с предыдущими моделями лазеров 15 и 30 кГц, кроме бокового воздействия на периферии. Считается, что более сильная реакция заживления по краю клапана способствует биомеханической стабильности роговицы, уменьшая риск смещения клапана в послеоперационном периоде [7, 14].

Нами было проведено изучение особенностей регенерации роговицы кролика после резекции роговичного клапана ФСЛ 60 кГц и механическим кератомом М2 с помощью световой и электронной микроскопии [15, 16]. На фоне прекрасных клинических результатов была отмечена более выраженная воспалительная реакция в первый день после ИнтраЛАЗИК и заметное рубцевание по краю клапана в отдаленном послеоперационном периоде, что соответствовало наблюдениям других авторов [17, 18].

Анализ раннего послеоперационного (на 6-е сутки) заживления раны в роговице кролика после воздействия ФСЛ IntraLase FS 60 кГц показал наличие в тканях роговицы фотодеструктивных изменений. Эти изменения проявлялись по-разному в зависимости от места воздействия. В горизонтальном срезе в местах скоплений некротических клеток воспалительная реакция была минимальной вследствие отсутствия существенных повреждений коллагеновых фибрилл. Основные изменения были выявлены в месте бокового разреза и в смежной зоне, где на фоне измененных фибрилл были обнаружены скопления кератоцитов. Край клапана был заполнен эпителиальной пробкой (звездочка) (рис. 1). Непосредственно в зоне абляции определялись обширные участки скопления деструктивных клеток на фоне незначительных обрывков коллагеновых фибрилл. В зоне, смежной с лазерным воздействием, между фибриллами в значительном количестве располагались кератобласты.

В боковом разрезе помимо коллагеновых фибрилл повреждался еще и эпителий, клетки которого, как известно, постоянно производят провоспалительные цитокины, освобождающиеся при его повреждениях [19]. По данным ряда исследователей, большие количества цитокинов, высвобождаясь в стромальную рану, связываются с рецепторами кератоцитов и увеличивают воспалительную инфильтрацию клеток [19, 20]. Следует отметить, что исследованиям изменений, вызванных лазерным воздействием и реакцией заживления роговицы, всегда мешали различия между роговицами животных и людей. Из образцов, доступных для лабораторной работы, только роговицы обезьян и микросвиней имеют Боуменову оболочку, и у животных всегда наблюдается более агрессивная реакция заживления раны [20].

Через 14 месяцев после ИнтраЛАЗИК на световых микроснимках место горизонтального разреза не просматривалось, а по ходу бокового разреза в области края клапана хорошо виден выраженный рубец (стрелки) (рис. 2). На электронных микроснимках роговицы эпителий в области клапана не изменился, базальная мембрана и коллагеновые фибриллы имели слегка волнообразный ход, ближе к краю по горизонтальному разрезу — просматривались частично измененные фибриллы (звездочка) (рис. 3а). Строма, расположенная ниже места воздействия, десцеметова мембрана и эндотелий были не изменены и соответствовали контрольной норме (рис. 3в).

Анализ раннего послеоперационного заживления раны в роговице кролика после воздействия механического кератома (М2) при выполнении ЛАЗИК следующее. На световых микроснимках едва определялся интрастромальный рубец в зоне разреза и абляции, а также по краю клапана (стрелки) (рис. 4). Через 14 месяцев после операции в месте разреза клапана в строме отмечалось нарушение хода коллагеновых фибрилл. Особенно значимо определялось изменение хода фибрилл и их дезорганизация в слабовыраженном рубце по краю клапана (круг) (рис. 5).

Таким образом, после операций наиболее выраженные изменения наблюдались в месте резекции клапана и эксимерлазерной абляции, однако они проявлялись по-разному; при формировании клапана ФСЛ происходило повреждение волокон в основном в области бокового разреза; при работе механического кератома — по всему разрезу. Ультраструктурный анализ через 14 месяцев после воздействия показал сохранную структуру роговицы со слабым интрастромальным рубцом по всему разрезу и признаками структурных изменений волокон клапана после ЛАЗИК, и сильным интрастромальным рубцом в области бокового разреза после ИнтраЛАЗИК. После обеих операций ниже лазерного воздействия изменений в структуре роговицы не обнаружено.

Резюмируя итоги всего комплекса выполненных нами экспериментальных исследований, отметим, что выполнение технологий ЛАЗИК и ИнтраЛАЗИК с предварительным формированием клапана роговицы толщиной 160 и 120 мкм и выполнением абляции на глубину 130 мкм способствовало истончению роговицы кроликов почти в 2 раза (при исходной толщине роговицы кролика в среднем 280 мкм). В области клапана был обнаружен волнообразный ход базальной мембраны и прилежащих слоев стромы, что было сильнее выражено после ЛАЗИК. В отдаленном периоде наиболее значительные изменения в структуре волокон клапана, особенно в области его края, и слабый интрастромальный рубец по всему сформированному разрезу были выявлены после ЛАЗИК, что обуславливает нестабильность роговицы в области клапана и возможность его смещения на фоне травмы в отдаленном периоде после операции. Выраженный рубец по краю клапана после ИнтраЛАЗИК, видимый при биомикроскопическом обследовании и подтвержденный данными световой и электронной микроскопии, является «опорным элементом», поддерживающим биомеханическую стабильность роговицы после вмешательства.

Из всего сказанного можно заключить, что для предупреждения ослабления и истончения роговицы в передней и средней части стромы, и для минимизации изменений фибрилл, входящих в состав роговичного клапана, необходимо выполнять ЛАЗИК и ИнтраЛАЗИК с формированием тонкого клапана (90-100 мкм). ИнтраЛАЗИК способствует большей биомеханической стабильности роговицы, по сравнению с ЛАЗИК. Более выраженный рубец при воздействии ФСЛ по краю клапана, видимый в щелевую лампу (рис. 6) подтверждался данными

оптической когерентной томографии (ОКТ) (рис. 7), и его наличие, несомненно, повышало устойчивость глаза к механической травме и снижало риск возможного смещения клапана.

Рисунок 1.

Роговица на 6-е сутки после воздействия ФСЛ (полутонкий срез): общий вид в месте формирования клапана роговицы (белыми стрелками показана зона горизонтального разреза, черными — бокового разреза) (окраска метиленовым синим, ув. х200,250)

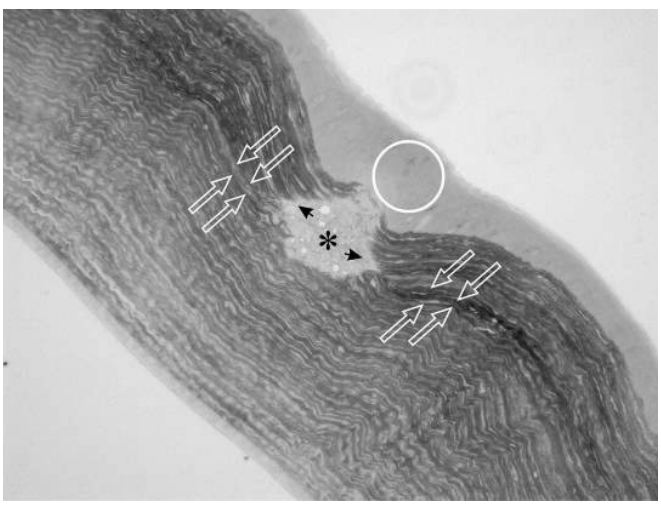
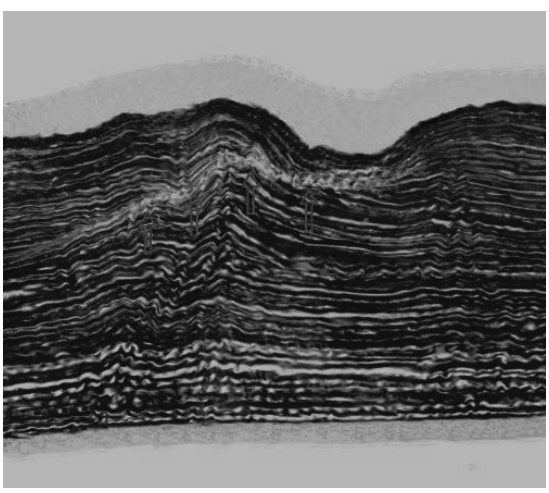


Рисунок 2.

Роговица через 14 месяцев после воздействия ФСЛ (полутонкий срез): зона рубца по краю клапана (окраска метиленовым синим, ув. х200,250)



Совершенствование технологии ЛАЗИК не может в полной мере решить проблему создания запланировано точных по толщине и профилю роговичных клапанов [9, 11, 18]. Рефракционная операция, изменяя профиль роговицы, неизбежно приводит к увеличению аберраций высших порядков, а создаваемый микрокератомом клапан в виде «мениска» — толстый на периферии и тонкий в центре — усиливает нестабильность роговицы в зоне воздействия и ухудшает оптические свойства глаза. Проблемы, связанные с непосредственным формированием клапана во время ЛАЗИК, отошли сегодня на задний план благодаря появлению усовершенствованных кератомов. Однако у разнообразных моделей кератомов имеются значительные различия между намеченными и реальными величинами толщины клапана, что является немаловажным фактором обоснования безопасности операции. Появление ФСЛ, способного фокусироваться в строме на запрограммированной глубине, создавая гладкий срез и однородный клапан, является очередным шагом к усовершенствованию техники ЛАЗИК и достижению более высоких функциональных показателей.

Рисунок 3.

Электронный микроснимок роговицы через 14 месяцев после ИнтраЛАЗИК: А — изменения фибрилл по горизонтальному разрезу; Б — нижележащая строма (ув. х3500,6000)

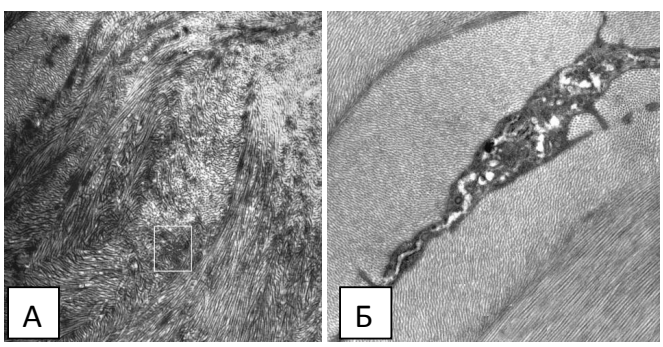
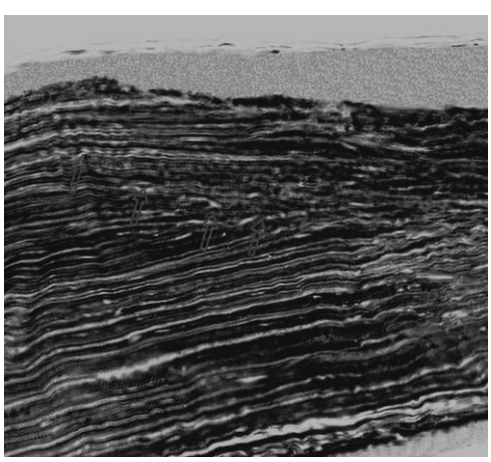


Рисунок 4.

Роговица через 14 месяцев после ЛАЗИК (полутонкий срез): по краю роговичного клапана (окраска метиленовым синим, ув. х200,250)



Нами было проведено исследование профиля клапана по данным ОКТ и объема сформированного ложа роговицы после ЛАЗИК с использованием автоматического кератома Moria M2 (Antony, France) с одноразовой головкой 90 мкм у 23 пациентов и после ИнтраЛАЗИК с использованием ФСЛ IntraLase 60 кГц у 19 пациентов [16, 21, 22]. Толщина клапана, созданного микрокератомом Moria M2 с одноразовой головкой 90 мкм, составляла в среднем 147 мкм (от 70 до 200 мкм) со средней девиацией ±40 мкм, при этом клапан имел менискообразную конфигурацию. Параметры клапана в среднем составили: диа-

метр 9,15±0,3 мм (реально используемый диаметр, ограниченный углом ножки клапана 8,75±0,35 мм), эффективная область стромального ложа 57,4 мм² и ширина ножки 4,3 мм. Таким образом, механический кератом дает значительные погрешности в толщине и в диаметре формируемого клапана роговицы.

Параметры клапана, созданного ФСЛ, составили — диаметр в среднем 9,69±0,13 мм, ширина ножки — 2,8 мм. Эффективная область стромального ложа составила 69,8 мм². Анализ показал, что толщина клапана, полученная с помощью IntraLase 60 кГц, отличается от запланированной в среднем только на ±6 мкм. Горизонтальные и вертикальные профили клапана показали постоянную среднюю толщину 119 мкм и запланированную конфигурацию. Результаты исследования по формированию клапана в группе ФемтоЛАЗИК показали явное преимущество по сравнению с группой ЛАЗИК, так как с помощью ФСЛ создавался запланировано точный, с разбросом ±6 мкм по толщине, равномерный клапан и значительно большее по объему эффективное стромальное ложе.

Как известно, исследование остроты зрения при различном контрасте тестового изображения позволяет значительно точнее оценить работу глаза в реальных условиях [23]. Интенсивная засветка может значительно снижать пространственную контрастную чувствительность (ПКЧ) из-за рассеяния света в оптических средах глаза, а тест при засветке позволяет измерить степень этого снижения. Кераторефракционная операция, исправляя аберрации низшего порядка, индуцирует аберрации высшего порядка (АВП), что неизбежно сказывается на качестве зрения [24-26]. Исследуя ПКЧ, мы измеряем непосредственно качество зрения, его потенциальный прирост после операции и функциональное влияние аберраций и светорассеяния на оптическую систему в целом. В исследование ПКЧ после рефракционных операций, как правило, включаются пациенты с изначальной высокой корригированной остротой зрения и без амблиопии [27, 28]. Для детей с рефракционной и анизометропической амблиопией изначально характерно снижение ПКЧ на высоких и средних частотах, а при высокой степени амблиопии встречается снижение ПКЧ на низких частотах [23].

Анализ ПКЧ и роговичных АВП у детей с односторонней гиперметропией высокой степени после ЛАЗИК и ИнтраЛАЗИК показал следующее [29, 30]. У всех исследуемых пациентов до операции среднее значение ПКЧ для 6 частот в мезопических условиях (light off, 10 candel/m²) составило 0,72 лог/ед., в условиях засветки (light on, 20000 candel/m²) — 0,9 лог/ед., при норме в контроле — 1,9 и 1,75 логарифм/ед. соответственно. Через 6 месяцев в группе ЛАЗИК данные ПКЧ для 6 частот в мезопических условиях составили 1,5 лог/ед. и в условиях засветки 1,3 лог/ед., в группе ИнтраЛАЗИК 1,6 и 1,46 лог/ед. В режиме засветки между группами не отмечалось значимых различий по всем частотам, кроме высоких, где по сравнению с исходными данными (0,32 лог/ед.) ПКЧ в группе ЛАЗИК составила 0,34 лог/ед. ($p>0,05$), в группе ИнтраЛАЗИК — 0,86 лог/ед. ($p<0,001$). В мезопических условиях на высоких частотах, в сравнении с дооперационным показателем (0,36 лог/ед.), данные ПКЧ в группе ЛАЗИК составили 0,39 лог/ед. ($p>0,05$), в группе ИнтраЛАЗИК — 0,97 лог/ед. ($p<0,001$).

Роговичные аберрометрические данные были выражены как среднеквадратичное значение ошибок отклонения волнового фронта (RMS) для всех АВП, в том числе для аберраций 3 порядка (кома) и 4 порядка (сферическая аберрация). До операций у всех пациентов среднее значение АВП составило 0,629 мкм. Через 6 мес. после операций АВП, кома и сферическая аберрация составили, соответственно, после ЛАЗИК — 1,721 мкм, 0,901 мкм и -0,490 мкм, после ИнтраЛАЗИК — 0,997 мкм, 0,512 мкм и —0,539 мкм. Во всех группах сферическая аберрация поменяла знак на отрицательный. Острота зрения с коррекцией увеличилась в среднем на 0,2, без коррекции — на 0,1, при этом по сравнению с дооперационными значениями ПКЧ улучшилась на 6 частотах в мезопических условиях в среднем в 1,65 раза, в условиях засветки — в 1,5 раза.

Рисунок 5.
Электронный микроснимок роговицы через 14 месяцев после ЛАЗИК: волокна в области рубца по краю клапана. (ув. х3500)

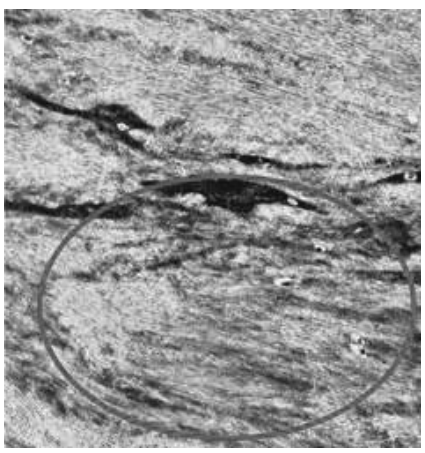
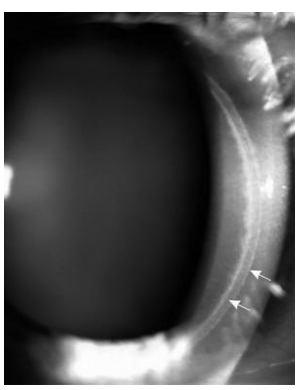


Рисунок 6.
Фото глаза через 3 месяца после ФемтоЛАЗИК (боковое освещение) (стрелками показан край четко очерченного клапана)

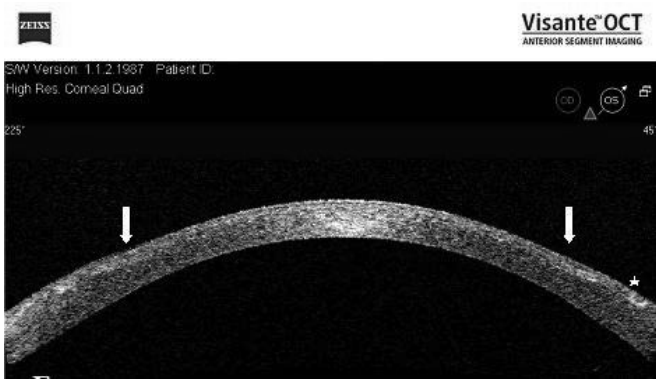


Основные различия между группами ЛАЗИК и ИнтраЛАЗИК были отмечены в диапазоне высоких частот. В режиме засветки на высоких частотах данные ПКЧ увеличились после ИнтраЛАЗИК — в 2,7 раза, в мезопических условиях данные ПКЧ увеличились после ИнтраЛАЗИК в 2,5 раза. При различном контрасте тестового изображения данные ПКЧ после ЛАЗИК на высоких частотах остались на дооперационном уровне. Фемтосекундный лазер, по данным ряда авторов, индуцирует значительно меньше аберраций по сравнению с механическим кератомом [27]. В нашем исследовании на высоких частотах при различном контрасте тестового изображения худшие результаты были получены после ЛАЗИК и наилучшие после ИнтраЛАЗИК, что объяснялось в первую очередь разницей в величине индуцированных АВП.

Поскольку роговица является главной преломляющей средой глаза, любая неправильность и неровность на ее поверхности влияют на качество зрения — снижается ПКЧ, теряются строчки корригированной остроты зрения, появляются ореолы и вспышки вокруг объектов, особенно в условиях плохой освещенности и расширения зрачка. По данным публикаций гиперметропический ЛАЗИК индуцирует аберрации высших порядков в 5-6 раз больше по сравнению с миопическим ЛАЗИК, что объясняется сложным профилем гиперметропической абляции [31, 32]. Некоторые авторы сообщают, что через 3 месяца после ЛАЗИК для коррекции гиперметропии более 5,0 дптр RMS роговичных аберраций высших порядков увеличился в среднем в 2,89 раза для 6,0 мм размера зрачка [33]. Ряд авторов, исследуя роговичные аберрации высшего порядка после ЛАЗИК в коррекции гиперметропии до +6,0 дптр, заключили, что гиперметропический ЛАЗИК значительно увеличивает АВП [34]. Через 6 месяцев при 6,5 мм зрачке АВП увеличились с 0,587 мкм до 1,149 мкм. Кома увеличилась с 0,305 до 0,7515 мкм (в 2,46 раза), сферическая аберрация увеличилась с 0,253 до 0,401 мкм (в 1,58 раза) и поменяла знак с положительного на отрицательный, что было получено и другими исследователями.

Рисунок 7.

Роговица пациента А. (ОКТ, сканирование с высоким разрешением 10х3 мм): через 3 месяца после ФемтоЛАЗИК, контур интерфейса определяется, границы его нечеткие, стрелками показано уплотнение поверхностных слоев стромы в месте лазерной абляции, звездочкой указан четкий рубец по краю клапана

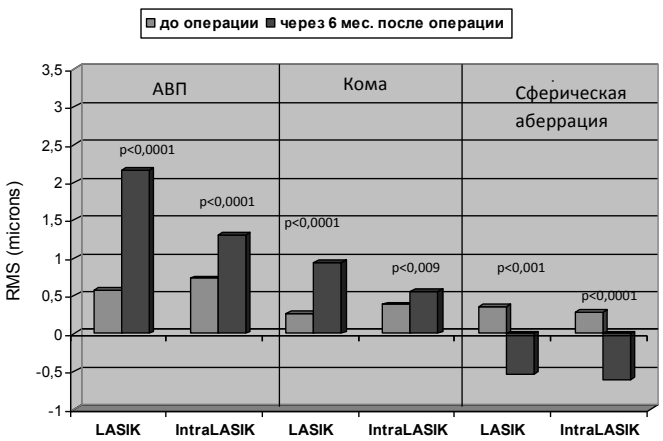


Эффективный диаметр используемой оптической зоны при выполнении ЛАЗИК в коррекции аметропий обсуждался многими исследователями. Ряд авторов представили результаты сравнительного анализа ЛАЗИК для коррекции гиперметропии от +2,0 до +5,5 дптр с диаметрами центральной оптической зоны 5,5, 6,5 и 7,0 мм, который показал, что больше всего было проблем со зрением в мезопических условиях у пациентов с заданным во время операции диаметром оптической зоны 5,5 мм (27%) и значительно меньше при использовании оптической зоны 7,0 мм (5%) [35].

Нами было проведено обследование пациентов в возрасте от 15 до 56 лет через 6 месяцев после ИнтраЛАЗИК, выполненного с оптической зоной абляции 6,5 мм и общей зоной воздействия 9,2 мм, и ЛАЗИК с оптической зоной абляции 6,3 мм и общей зоны — 8,4 мм [36]. До операции в группе ИнтраЛАЗИК средний сферический эквивалент рефракции (СЭ) составлял +7,18±1,55 дптр, через 6 месяцев +0,23±0,45 дптр; в группе ЛАЗИК до операции СЭ составлял +7,44±1,70 дптр, через 6 месяцев +1,25±0,77 дптр. Исследование показало, что ИнтраЛАЗИК индуцирует увеличение роговичных АВП в 1,78 раза, а ЛАЗИК — в 3,65 раза по сравнению с исходными данными (рис. 8).

Рисунок 8.

Роговичные аберрометрические показатели до и после ИнтраЛАЗИК и ЛАЗИК (mean±SD, мкм, n=21)



В коррекции аметропий и особенно гиперметропической рефракции ИнтраЛАЗИК показывает преимущество в сравнении с ЛАЗИК. С помощью ФСЛ с высокой точностью выкраивается равномерный по толщине роговичный лоскут и создается гладкое и эффективное по объему стромальное ложе, что является важным в получении высоких функциональных результатов на фоне небольших показателей индуцированных АВП. Выраженный рубец по краю клапана после ИнтраЛАЗИК является «опорным элементом», поддерживающим биомеханическую стабильность роговицы после вмешательства. Фемтосекундные лазеры открывают новые возможности в рефракционной хирургии.

ЛИТЕРАТУРА

1. Куликова И.Л. Первый опыт применения фемтосекундного лазера в России / И.Л. Куликова, С.В. Сусликов // Офтальмология Юга. — 2007. — № 4. — С. 5.

2. Куликова И.Л. Первые результаты коррекции аметропий с использованием фемтосекундного кератома / И.Л. Куликова, Н.П. Паштаев // Клиническая офтальмология. — 2008. — № 3. — С. 87-90.

3. Патеева Т.З. Первые результаты лазерного кератомилеза с использованием фемтосекундного лазера / Т.З. Патеева, Н.П. Паштаев // Федоровские чтения. — 2008: VII Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием: сб. науч. ст. — М., 2008. — С. 104-105.

4. Федотова Л.А. Первые результаты операции IntraLASIK у пациентов с гиперметропией / Л.А. Федотова, Н.П. Паштаев // Федоровские чтения — 2008: VII Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием: сб. науч. ст. — М., 2008. — С. 108.

5. Паштаев Н.П. Использование фемтосекундного лазера INTRALASE для формирования интрастромальных роговичных тоннелей при имплантации роговичных сегментов у пациентов с кератоконусом / Н.П. Паштаев, Н.А. Маслова // Высокие технологии в офтальмологии: сб. науч. тр. — Краснодар: Альтаир, 2008. — С. 204-207.

6. Паштаев, Н.П. IntraLASIK: первые результаты лазерного кератомилеза с формированием роговичного клапана при помощи фемтосекундного лазера у пациентов с миопией / Н.П. Паштаев, Т.З. Патеева // Современные технологии катарактальной и рефракционной хирургии — 2008: сб. науч. ст. / ФГУ МНТК «Микрохирургия глаза». — М., 2008. — С. 202-206.

7. Binder P.S. Flap dimensions created with the IntraLase FS laser/ P.S. Binder // J. Cataract. Refract. Surg. — 2004. — Vol. 30. — P. 26-32.

8. Stonecipher K. Advances in refractive surgery: microkeratome and femtosecond laser flap creation in relation to safety, efficacy, predictability, and biomechanical stability/ K. Stonecipher, T.S. Ignacio, M. Stonecopher //Curr Opin Ophthalmol. — 2006. — Vol. 17. — P. 368-372.

9. Talamo J.H. Reproducibility of flap thickness with IntraLase FS and Moria LSK-1 and M2 microkeratomes / J.H. Talamo, J. Meltzer, J.Gardner // J. Refract. Surg. — 2006. — Vol. 22. — P. 556-561.

10. Holzer M.P. Femtosecond laser-assisted corneal flap cuts: morphology, accuracy and histopathology / M.P. Holzer // Invest. Ophthalmol. Vis. Sci. — 2006. — Vol. 47. — P. 2828-2831.

11. Netto M.V. Femtosecond laser and microkeratome corneal flaps: comparison of stromal wound healing and inflammation / M.V. Netto, R.R. Mohan, F.W. Mederios, et al. // J. Refract. Surg. — 2007. — Vol. 23. — P. 667-676.

12. Helena M.C. Keratocyte apoptosis after corneal surgery/ M.C. Helena, F. Baerveldt, et al. // Invest Opthalmol Vis Sci. — 1998. — Vol. 39. — P. 276-283.

13. Mohan R.R. Apoptosis, necrosis, proliferation, and myofibroblast generation in the stroma following LASIK and PRK / R.R. Mohan, A.E.K. Hutcheon, R. Choi, et al. // Exp Eye Res. — 2003. — Vol. 76. — P. 71-78.

14. Kim, J.Y. A femtosecond kaser creates a stronger than a mechanical microkeratome/ J.Y. Kim, M.J. Kim, T.I. Kim et al. // Invest Opthalmol Vis Sci. — 2002. — Vol. 47. — P. 599-604.

15. Куликова И.Л. Роговичная крышка, резецированная фемтосекундным лазером IntraLase 60 кГц: особенности стромального заживления / И.Л. Куликова, Ю.В. Поляков, И.А. Чабан // Офтальмохирургия. — 2009. — № 4. — С. 41-44.

16. Куликова И.Л. Кераторефракционная лазерная хирургия в реабилитации детей и подростков с гиперметропической рефракцией: автореф. дис. … д-ра мед. наук / И.Л. Куликова. — М., 2009. — С. 29.

17. Neuhann T. Femtosecond laser offers surgical precision and versatility, but at a higher price / T. Neuhann, T. Seiler, W. Culbertson // Eurotimes. — 2007. — Vol. 12. — Issue 9. — P. 18.

18. Talamo J.H. Reproducibility of flap thickness with IntraLase FS and Moria LSK-1 and M2 microkeratomes / J.H. Talamo, J. Meltzer, J. Gardner // J. Refract. Surg. — 2006. — Vol. 22. — P. 556-561.

19. Hong, J.M. Proinflammatory chemokine induction in keratocytes and inflammatory cell infiltration into the cornea/ J.M. Hong, J.J. Liu, Js. Lee et al. // Invest Opthalmol Vis Sci. — 2002. — Vol. 42. — P. 2795-2803.

20. Smolin G. The cornea: scientific foundations and clinical practice/ G. Smolin, R. Thoft // Little Brown and Company: Third Edition Copyright. — 1994. — P. 682-683.

21. Куликова И.Л. Роговичная крышка, сформированная фемтосекундным лазером: анализ толщины и влияние на аберрометрические показатели у гиперметропов / И.Л. Куликова // Современные технологии катарактальной и рефракционной хирургии / 2008: сб. науч. ст. / ФГУ МНТК «Микрохирургия глаза». — М., 2008. — С. 141-145.

22. Куликова И.Л. Состояние профиля роговичного клапана и объем эффективного стромального ложа при использовании механического кератома М2 / И.Л. Куликова // Повышение качества и доступности медицинской помощи — стратегическое направление развития здравоохранения: материалы 45-й межрег. науч.-практ. конф. — Ульяновск: Артишок, 2010. — С. 432-433.

23. Аветисов С.Э., Кащенко Т.П., Шамшинова А.М. Зрительные функции и их коррекция у детей: руководство для врачей. — М.: Медицина, 2005. — 872 с.

24. Першин К.Б. Комплексное исследование функционального состояния зрительного анализатора после проведения ЛАСИК / К.Б. Першин, Н.Ф. Пашинова и др. // Офтальмохирургия и терапия. — 2001. — № 1. — Т. 1. — С. 17-21.

25. Шелудченко В.М. Разрешающая способность глаза после рефракционных операций: fвтореф. дис. … д-ра мед. наук. — М., 1996. — С. 21-28.

26. Шпак А.А. Офтальмоэргономические характеристики пациентов с близорукостью после фоторефракционной кератэктомии / А.А. Шпак, А.В. Дога, А.Л. Пахомова, А.М. Дорри // Офтальмохирургия. — 2002. — № 2. — С. 11-14.

27. Montes-Mico R. Contrast sensitivity after LASIK flap creation with a femtosecond laser and mechanical microkeratome / R. Montes-Mico, A. Rodrigues-Galietero, J.L. Alio //J. Refract. Surg. — 2007. — Vol. 23. — P. 188-192.

28. Yamane N. Ocular higher-order aberrations and contrast sensitivity after conventional laser in situ keratomileusis / N. Yamane, K. Miyata et al. // Invest. Ophthalmol. Vis. Sci. — 2004. — Vol. 24. — P. 3986-3990.

29. Куликова И.Л. Пространственная контрастная чувствительность и роговичные аберрации высших порядков после рефракционных операций у детей с гиперметропической анизометропией / И.Л. Куликова // Вестн. офтальмол. — 2009. — № 4. — С. 11-14.

30. Куликова И.Л. Качество зрения после кераторефракционных операций у детей с гиперметропической анизометропией / И.Л. Куликова, Н.А. Поздеева // Филатовские чтения: науч.-практ. конф. офтальмологов с междунар. участием / Институт глазных болезней и тканевой терапии им. В.П. Филатова. — Одесса, 2009. — С. 25-26.

31. Pesudovs K. Wavefront aberration outcomes of LASIK for high myopia and high hyperopia / K. Pesudovs // J. Refract Surg. — 2005. — Vol. 21. — P. S508-S512.

32. Семчишен В. Оптические аберрации человеческого глаза и их коррекция / В. Семчишен, М. Мрохен, Т. Сайлер // Рефракционная хирургия и офтальмология. — 2003. — Т. 3, № 1. — С. 5-13.

33. Arbarran-Diego C. Corneal aberration changes after hyperopic LASIK: a comparison between the VISX Star S2 and the Asclepion-Meditec Mel 70G Scan excimer lasers / C. Arbarran-Diego, G. Munoz et al. // J. Refract Surg. — 2006. — Vol. 22. — P. 34-42.

34. Nanba A. Corneal higher order wavefront aberrations after hyperopic laser in situ keratomileusis / A. Nanba, S. Armano // J. Refract. Surg. — 2005. — Vol. 21. — P. 46-51.

35. Kermani O. Hyperiopic laser in situ keratomileusis with 5.5-, 6.5-, and 7.0-mm optical zones / O. Kermani, K. Schmeidt, U. Oberheide et al. // J. Refract. Surg. — 2005. — Vol. 21. — P. 52-58.

36. Куликова И.Л. IntraLASIK и LASIK в коррекции гиперметропии высокой степени и гиперметропического астигматизма (сравнительный анализ) / И.Л. Куликова // Офтальмохирургия. — 2009. — № 3. — С. 4-8.