

ISSN 2072-1757 (print)

ISSN 2307-3217 (online)

Научно-практический медицинский журнал

ПРАКТИЧЕСКАЯ МЕДИЦИНА



PRACTICAL MEDICINE

The scientific and practical medical journal

Офтальмология

Ophthalmology

16+

№ 9 (110)' 2017 / том 1

ФЕМТОЛАЗЕРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ОФТАЛЬМОЛОГИИ

УДК 617.7:615.849.19

Н.П. ПАШТАЕВ, И.Л. КУЛИКОВА

Чебоксарский филиал МНТК «Микрохирургия глаза» им. акад. С.Н. Федорова МЗ РФ, 428028, г. Чебоксары, пр. Тракторостроителей, д. 10

Фетосекундные технологии: 10 лет на гребне инноваций

Паштаев Николай Петрович — доктор медицинских наук, профессор, директор, тел. (8352) 49–24–61, e-mail: prmntk@chtt.sru
 Куликова Ирина Леонидовна — доктор медицинских наук, заместитель директора по лечебной работе, тел. (8352) 49–25–68, e-mail: koulikovail@mail.ru

В Чебоксарском филиале, первом из филиалов Межотраслевого научно-технического комплекса «Микрохирургия глаза» имени академика Святослава Николаевича Федорова, впервые в России в 2007 г. были выполнены операции лазерного *in situ* кератомилеза с фемтолазерным сопровождением для коррекции аметропий, в 2008 г. — имплантация интрастромальных роговичных сегментов у пациентов с кератоконусом и фемтолазерная сквозная кератопластика, в 2013 г. — имплантация кольца MyoRing у пациентов с кератоконусом, миопией высокой степени и тонкой роговицей с использованием фемтосекундного лазера IntraLase FS 60 кГц (AMO, США). Авторами представлен обзор 10-летних результатов применения в филиале передовых фемтолазерных технологий, обозначены перспективы использования отечественной фемтолазерной установки FemtoVisum 1 МГц (Optosystems, Troizk) в хирургии заболеваний роговицы и фемтолазера LenSx 510 кГц (Alcon, США) в хирургии катаракты, показано преимущество фемтолазерных технологий в обеспечении безопасности и быстрой реабилитации пациента.

Ключевые слова: фемтосекундный лазер, фемтолазерная кератопластика, ФемтолАЗИК, роговичный сегмент, MyoRing, фемтокросслинкинг, фемтолазер-ассистированная экстракция катаракты.

N.P. PASHTAEV, I.L. KULIKOVA

Cheboksary Branch of the S. Fyodorov Eye Microsurgery Federal State Institution, 10 Traktorostroiteley Pr., Cheboksary, Russian Federation, 428028

Femtosecond technologies: 10 years on the crest of innovations

Pashtaev N.P. — D. Med. Sc., Professor, Director, tel. (8352) 36–91–73, e-mail: prmntk@chtt.sru

Kulikova I.L. — D. Med. Sc., Deputy Director for clinical work, tel. (8352) 36–91–53, e-mail: koulikovail@mail.ru

In 2007 for the first time in Russia in the Cheboksary Branch, the first of the branches of the Interdisciplinary Scientific and Technical Complex «Eye Microsurgery» named after Academician Svyatoslav Nikolaevich Fedorov, laser *in situ* keratomileusis operations with femtoscopic accompaniment for correction of ametropies were performed, in 2008 — implantation of intrastromal corneal segments in patients with keratoconus and femtolaser through keratoplasty, in 2013 — implantation of the MyoRing ring in patients with keratoconus, high degree myopia and fine Cornea using an IntraLase FS 60 kHz femtosecond laser (AMO, USA). The authors present the review of 10 years' results of use of advanced femtolaser technologies, opportunities for use of domestic FemtoVisum 1 MHz (Optosystems, Troizk) femtolaser unit for surgery of cornea diseases and LenSx 510 kHz (Alcon, USA) femtolaser in cataract surgeries are identified, advantage of femtolaser technologies to ensure safety and quick rehabilitation of a patient is demonstrated.

Key words: femtosecond laser, femtolaser keratoplasty, Femto-LASIK, cornea segment, MyoRing, femto-crosslinking, femtolaser-assisted cataract extraction.

Тридцать лет назад 27 октября 1987 года был открыт самый первый из 11 ныне действующих филиалов Межотраслевого научно-технического ком-

плекса «Микрохирургия глаза» имени академика Святослава Николаевича Федорова. Чебоксарский филиал, взяв старт на оказание высококвалифици-

рованной офтальмохирургической помощи пациентам с различной патологией органа зрения, по сей день остается ведущим центром Поволжья и одним из самых мощных офтальмологических учреждений России.

В 2002 г. Российская академия наук приняла программу «Фундаментальные науки — медицине». Ее участники — ведущие академические институты в содружестве с ведомственными учреждениями, в том числе и с медицинскими, разработали оригинальные методики и приборы, уже использующиеся в клиниках России и за рубежом [1]. С начала 60-х годов прошлого века в нашей стране и в США начались интенсивные исследования взаимодействия лазерного излучения с веществом.

Неудивительно, что одной из первых идея применения лазерного излучения в медицине возникла именно в офтальмологии. Уже в начале 60-х по инициативе академика А.М. Прохорова и академика М.М. Краснова проводились эксперименты по использованию излучения лазера для лечения глаукомы и катаракты [2, 3]. Важным моментом в офтальмохирургии сегодня, особенно с учетом выполнения операций в амбулаторных условиях и повышения хирургической активности, является необходимость минимизации количества осложнений и получения высоких функциональных результатов в короткие сроки. В течение более трех десятилетий лазерная рефракционная роговичная хирургия является признанным методом коррекции аметропий. С появлением эксимерного лазера в рефракционной хирургии роговицы наступил коренной перелом, а на исходе прошлого тысячелетия фемтосекундные лазеры ультракоротких импульсов (ФСЛ) подняли на совершенно иной уровень качества эффективность не только рефракционной, но и катарактальной хирургии [4, 5].

Внедрение в офтальмологию ФСЛ явилось существенным достижением. В 1994 году R.M. Kurtz из университета Мичигана (США) впервые выдвинул идею применения фемтосекундного лазера для хирургии в офтальмологии [6]. В 1996-1997 гг. в указанном университете, при участии I. Ratkay-Traub, T. Juhász, R.M. Kurtz и N. Pashtaev, прошли первые экспериментальные исследования по воздействию ФСЛ на роговицу животных [7]. В 1983 г. доктор физ.-мат. наук П.Г. Крюков — один из основоположников направления фемтосекундной лазерной техники в нашей стране и мире, с аспирантами А. Шарковым и А. Коняшенко в ФИАН, в отделении квантовой радиофизики в Троицке, впервые в Советском Союзе запустили фемтосекундную установку [8].

Первые клинические испытания ФСЛ на роговице прошли в Венгрии в 1998 году в клинике «Focus Medical Eye Microsurgery and Laser Center» (Будапешт) при участии проф. D. Schanzlin, проф. С.Н. Федорова и к.м.н. Г.Ф. Качалиной. Первые операции на роговице (лазерный *in situ* кератомилез (ЛАЗИК) с фемтолазерным сопровождением — ФемтолАЗИК, имплантация роговичных сегментов) были выполнены Ratkay-Traub I. в 1998 году. Официальное разрешение для работы на роговице фемтосекундный лазер IntraLase FS (AMO, США) получили в 2000 году на основании заключения Food and Drug Administration (FDA). Первые лазеры работали с частотой от 5 до 10 кГц, однако компания IntraLase быстро модифицировала установки от 15 до 150 кГц с целью уменьшения времени воздействия и улучшения результатов лечения. Отмечены

достоинства ФСЛ при сравнении с механическим микрокератомом: точность формирования лоскута заданной толщины, безопасность и автоматизация процедуры [9].

IntraLase FS 60 кГц генерирует излучение однодового оптического квантового генератора на неодимовом стекле с диодной накачкой, с регистрационным усилителем с длиной волны 1053 нм. Частота повторения импульсов — 60 кГц, длительность импульса — 600-800 фемтосекунд (фс), максимальная пиковая мощность импульса — 5,0 мкДж, максимальная выходная мощность — 67, размер пятна — 3-6 мкм, размер рабочего поля — 10 мм, диаметр вакуумного кольца — 19,5 мм. IntraLase FS имеет алгоритм создания роговичного лоскута для рефракционно-лазерных операций, проведения послойной и сквозной кератопластики с различными профилями роговичного края, формирования интрастромальных тоннелей и интрастромальных карманов. Лазер работает в инфракрасном диапазоне (Nd:Glass) с коротким временем импульса (1 фемтосекунда = 1 трилионная часть секунды, или 10^{-15} сек.), и действует на ткани с помощью процесса, называемого photodisruption или фоторазрыва, когда лазерные импульсы разделяют ткани на молекулярном уровне без передачи тепла или воздействия на окружающие ткани. В основе photodisruption лежит явление, называемое индуцированный лазерный оптический распад, который завершается, когда строго сфокусированный лазерный импульс ультракороткой продолжительности (600-800 фсек) производит плазму. Чтобы использовать эффект фоторазрыва в качестве хирургического режущего инструмента, тысяча индивидуальных лазерных импульсов должны располагаться рядом для создания плоскости разреза внутри роговицы. Лазерные импульсы передаются через интерфейс IntraLase, состоящий из сборного вакуумного кольца, аппланационного конуса и аппланационного стекла, которыедерживают глаз в фиксированном положении во время процедуры и проводят наведенный лазерный луч.

Появление ФСЛ, создающих гладкие разрезы в строме и однородные по профилю и структуре клапаны, обеспечило высокие функциональные результаты при выполнении рефракционной операции [10]. В настоящее время в Европе представлено достаточно много аналогов IntraLase FS: Femto LDV (Ziemer Ophtalmic Systems AG, Port, Switzerland), VisuMax (Carl Zeiss Meditec AG, Germany), Femtec (20/10 Perfect Vision, Heidelberg, Germany) и др.

В Чебоксарском филиале впервые в России в 2007 г. были выполнены операции ФемтолАЗИК для коррекции аметропий, в 2008 г. — имплантация интрастромальных роговичных сегментов (ИРС) у пациентов с кератоконусом и сквозная кератопластика (СКП), в 2013 г. — имплантация кольца MyoRing у пациентов с кератоконусом, с тонкой роговицей и миопией высокой степени с использованием ФСЛ IntraLase FS 60 кГц [11-16]. В последние годы в филиале совершен мощный прорыв в лазерном лечении кератоконуса и лазерной пересадке роговой оболочки при различных ее дистрофиях. Этому немало способствовало внедрение в 2015 г. в работу филиала первого российского фемтосекундного лазера ФемтоВизум (Оптоисистемы, Троицк). На сегодня в филиале выполненного более 15000 различных операций с помощью фемтосекундного лазера.

Нами было проведено изучение особенностей регенерации роговицы кролика после резекции рого-

вичного клапана IntraLase FS 60 кГц и кератомом M2 с помощью световой и электронной микроскопии [17, 18]. Анализ показал, что сформированный ру-бец по краю клапана, сформированного ФСЛ через 12-14 мес. после операции, видимый при биомикро-скопическом обследовании, подтвержденный дан-ными световой и электронной микроскопии, а так-же данными оптической когерентной томографии, яв-ляется «опорным элементом», поддерживающим биомеханическую стабильность роговицы и устой-чивость к механической травме. Кераторефракци-онная операция меняет не только толщину рогови-цы, но ее внутреннюю структуру. Многочисленные рас-четы, проведенные при различных параметрах ширины и глубины абляции, показали, что любая рефракционная операция приводит к уменьшению изгибной жесткости роговицы, и, как следствие, к уменьшению показателей внутриглазного давле-ния (ВГД) [19]. С.М. Бауэр и Л.А. Федотова с соавт. указывали, что после ЛАЗИК наблюдаются более низкие показатели ВГД, и, следовательно, большее ослабление роговицы, чем после ФемтолАЗИК.

Рефракционные операции с использованием ФСЛ составляют сегодня не менее 80% от всех рефракционных вмешательств в филиале. Первые результаты фемтолазерной коррекции миопии были опубликованы в 2008 г. [20]. Н.П. Паштаев и Т.З. Патеева отмечали высокую предсказуемость и эффективность ФемтолАЗИК в коррекции миопии. С.Г. Бодрова определила основные факторы риска в назначении ФемтолАЗИК после длительного но-шения контактных линз и разработала критерии отбора пациентов на операцию [21]. Разноплано-вые исследования, выполненные нами, и успешное применение ФемтолАЗИК у взрослых, позволило применить технологию у детей с гиперметропи-ческой анизометропией [23-27]. Н.П. Паштаев и И.Л. Куликова подчеркивали, что рефракционная операция, являясь пусковым моментом в лече-нии амблиопии на фоне уменьшения аметропии и анизометропии, возможна только тогда, когда ис-черпаны все возможности традиционных методов коррекции. Впервые были представлены осо-бенности гистоморфологических изменений у детей и взрослых пациентов с гиперметропией в течение 3 лет после ЛАЗИК и ФемтолАЗИК [28]. Н.П. Паш-таев, И.Л. Куликова и О.В. Шленская диагности-ровали, что в раннем послеоперационном периоде морфологические изменения протекают идентично в обеих группах, однако у детей репаративные про-цессы происходят быстрее: восстановление иннер-вации у детей начиналось с 3-го и заканчивалось к 6-му месяцу, у взрослых — к 1 году после опера-ции. Морфологические признаки синдрома «сухого глаза» были характерны для обеих групп в период от 3 до 6 месяцев после операции. По нашим дан-ным, при обследовании с помощью конфокальной микроскопии 73 пациентов в возрасте от 6 до 17 лет с гиперметропией со средним значением сфе-рического эквивалента рефракции (СЭ) $+5,75 \pm 0,85$ дптр и 56 пациентов в возрасте от 20 до 56 лет с СЭ $+6,5 \pm 2,45$ дптр, толщина эпителия составила в среднем $50,82 \pm 5,29$ мкм у детей и $53,05 \pm 4,47$ мкм у взрослых [66]. Плотность кератоцитов во всех слоях стромы роговицы у детей была несколь-ко выше, чем у взрослых: в передних слоях на 4,73% ($p=0,716$), в средних слоях — на 8,18% ($p=0,027$), в задних слоях — на 7,19% ($p=0,087$) и состави-ла 776,16; 640,52 и 684,83 кл/мм² соответственно [29].

Выполнение ФемтолАЗИК в сочетании с курса-ми консервативного и аппаратного лечения у де-тей с анизометропией более 3,00 дптр (в среднем $4,31 \pm 1,56$ дптр), амблиопией и ретинальной остро-той зрения 0,1 и ниже, позволило повысить зри-тельные функции во всех случаях [30]. Удалось изменить монокулярный характер зрения на одно-временный и бинокулярный в 74,4% случаев, уве-личить некорригированную остроту зрения (НКОЗ) в среднем на $0,29 \pm 0,12$, максимальную корриги-рованную остроту зрения (МКОЗ) — на $0,4 \pm 0,12$. Мониторинг состояния роговицы по данным прибо-ра «Pentacam» до и через 5 лет после гиперметро-пического ФемтолАЗИК у детей выявил изменение показателей кератотопографических индексов в связи с изменением толщины роговицы в зоне ла-зерной абляции и отсутствие патологической эле-вации задней поверхности роговицы. Данные изме-нения отражают профиль роговицы после лазерной коррекции гиперметропии и должны расцениваться как топографическая «кератопсевдоэкстазия» [31].

Нами было проведено исследование профиля клапана по данным оптической когерентной томо-графии 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 ФемтолАЗИК с использованием ФСЛ IntraLase 60 кГц у 19 пациентов [18]. 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, клапан имел неравномерную конфигурацию. Параметры клапана в среднем составили: диаметр $9,15 \pm 0,3$ мм (реально используемый диаметр, ограниченный углом ножки клапана $8,75 \pm 0,35$ мм), эффективная область стромального ложа $57,4 \text{ mm}^2$ и ширина нож-ки клапана 4,3 мм. Параметры клапана, созданного ФСЛ, составили — диаметр в среднем $9,69 \pm 0,13$ мм, ширина ножки — 2,8 мм, эффективная область стромального ложа — $69,8 \text{ mm}^2$. Толщина клапана, созданного с помощью IntraLase 60 кГц, отличается от запланированной в среднем только на ± 6 мкм. Таким образом, механический кератом дает значи-тельные погрешности по всем параметрам форми-руемого клапана роговицы.

Анализ пространственной контрастной чувстви-тельности и роговичных aberrаций высшего поряд-ка (АВП) у детей с односторонней гиперметропией высокой степени после ЛАЗИК и ФемтолАЗИК по-казывал, что основные различия между группами име-ются в диапазоне высоких частот: наименьшие ре-зультаты были получены после ЛАЗИК и наилучшие после ФемтолАЗИК, что объяснялось разницей в величине индуцированных АВП. Через 6 мес. после операций АВП, кома и сферическая aberrация со-ставили соответственно после ЛАЗИК — 1,721 мкм, 0,901 мкм и -0,490 мкм, после ФемтолАЗИК — 0,997 мкм, 0,512 мкм [32].

Первое сообщение об использовании ФСЛ IntraLase FS 60 кГц в России при кератоконусе (КК) с целью формирования интрастромального тоннеля для имплантации отечественных интрастромаль-ных роговичных сегментов (ИРС) было опублико-вано в 2009 году [33]. Н.П. Паштаев, Н.А. Маслова с соавт. не отмечали интра- и послеоперационных осложнений. Процедура отличалась простотой, безопасностью и коротким реабилитационным пе-риодом. Через 3 мес. после операции у пациентов с КК II стадии авторы отметили повышение НКОЗ

с $0,21 \pm 0,08$ до $0,48 \pm 0,02$, КОЗ — с $0,64 \pm 0,04$ до $0,75 \pm 0,02$, у пациентов с КК III стадии НКОЗ увеличилась с $0,09 \pm 0,03$ до $0,32 \pm 0,02$, КОЗ — с $0,18 \pm 0,04$ до $0,52 \pm 0,02$. В обеих группах ФРР повысился в среднем в 1,3 раза, КГ — в 1,32 раза. Полученные результаты оставались стабильными на протяжении семи лет наблюдения [33-35].

В 2007 г. на конгрессе европейского общества катарактальных и рефракционных хирургов в Стокгольме профессором кафедры офтальмологии Медицинского университета Инсбрук А. Daxer была представлена концепция CISIS (Corneal intrastromal implantation surgery). MyoRing представляет собой замкнутое кольцо диаметром от 5 до 8 мм с шагом 1 мм, толщиной — от 200 до 400 мкм с шагом 20 мкм. Передняя поверхность кольца выпуклая, задняя — вогнутая [36]. Оно изготовлено из полимера на основе полиметилметакрилата, является одновременно жестким и эластичным, что позволяет имплантировать его через относительно малый тоннельный разрез. Разрез туннеля самогерметизируется и не требует наложения швов. Расчет кольца MyoRing производится по данным номограммы, которая учитывает минимальную толщину роговицы и среднее значение кератометрии. Данный метод может применяться при миопии для компенсации сферического компонента до -20,0 дптр и цилиндрического компонента до -4,5 дптр, при КК I-III стадии (прогрессирующем и непрогрессирующем кератоконусе с непереносимостью контактных линз), вторичных кератэкстазиях различной этиологии, пеллюцидной дегенерации роговицы.

Первое сообщение об использовании ФСЛ IntraLase FS 60 кГц в России для имплантации колец MyoRing с целью коррекции миопии высокой степени у пациентов с тонкой роговицей было опубликовано в 2013 году [37]. Н.П. Паштаев и Н.А. Поздеева с соавт. представили клинико-функциональный анализ отдаленных результатов имплантации кольца MyoRing у 48 пациентов (86 глаз) в возрасте от 24 до 45 лет с миопией высокой степени, амблиопией слабой степени и периферической хориоритинальной дистрофией сетчатки [38]. Первым этапом формировали роговичный карман диаметром до 9,0 мм, шириной входа 5,0-6,0 мм преимущественно с латеральной стороны с помощью фемтосекундного лазера «IntraLase FS» 60 кГц (США) на глубину 80% от исходной толщины роговицы. В сформированный карман специальным пинцетом вводили MyoRing диаметром от 5,0 до 6,0 мм и высотой от 280 до 320 мкм. Расчет параметров кольца MyoRing определялся по номограмме, которая учитывает минимальную толщину роговицы и степень исходной миопии. Значение сферического компонента рефракции до операции составило в среднем $-13,4 \pm 1,4$ дптр, цилиндрического — $-2,5 \pm 1,2$ дптр, минимальное значение пахиметрии в центре — 464 ± 20 мкм. Авторами было отмечено, что через 2 года после операции предсказуемость сфероэквивалента в пределах $\pm 0,5$ дптр составила 78,4%, НКОЗ увеличилась на $0,45 \pm 0,1$, КОЗ — на $0,25 \pm 0,2$, показатели пахиметрии в самом тонком месте остались неизменными, элевация задней поверхности роговицы незначительно уменьшилась, СН и CRF статистически значимо не изменились по отношению к исходным данным, что свидетельствует о сохранности биомеханических показателей роговицы. Незначительное изменение кератотопографических индексов статистически значимо отличалось от исходных показателей, однако изменение этих показателей не

выходило за пределы верхнего значения нормы, что подтверждает безопасность применения имплантации кольца MyoRing у пациентов с миопией высокой степени и тонкой роговицей.

Первое сообщение об использовании ФСЛ IntraLase FS 60 кГц в России при кератоконусе с целью формирования интрастромального кармана для имплантации колец MyoRing (DiopTEX, Австрия) из полиметилметакрилата с внутренним диаметром 5,0 мм, шириной — 0,5 мм, высотой — 250 мкм было опубликовано в 2014 году. Н.П. Паштаев, Н.А. Поздеева, М.В. Синицын представили высокие предварительные клинико-функциональные результаты и отсутствие интра- и послеоперационных осложнений. В предложенной А. Daxer методике кольцо MyoRing всегда имплантируется в интрастромальный карман диаметром 9,0 мм, сформированный при помощи микрокераторома Pocket Maker на конкретно заданной глубине 300 мкм, для которой разработан соответствующий ей аппланатор, это ограничивает хирурга в выборе глубины залегания кольца MyoRing и не учитывает индивидуальной толщины роговицы пациента [39].

В филиале была разработана оптимизированная технология интрастромальной имплантации колец MyoRing, основанная на фемтолазерном формировании интрастромального кармана диаметром 8,0 мм на глубине 85% от минимальных данных пахиметрии [40]. После имплантации интрастромальных имплантов было отмечено повышение прочностных свойств роговицы, более выраженных после имплантации кольца в интрастромальный карман по сравнению с имплантацией интрапротоговиных сегментов в интрастромальный тоннель. Большее усиление биомеханических свойств роговицы наблюдалось при увеличении глубины имплантации интрастромального кольца. Н.П. Паштаев, Н.А. Поздеева, М.В. Синицын отмечали, что оптимизированная технология интрастромальной имплантации колец MyoRing с применением фемтосекундного лазера по сравнению со стандартным методом приводит к более выраженному повышению биомеханических свойств роговицы (при II стадии кератоконуса — в 1,7 раза; при III стадии — в 1,5 раза). Было сделано заключение, что имплантация колец MyoRing показана при кератоконусе III стадии (по классификации Amsler-Krumeich) при значении кератометрии более 55,0 дптр и минимальной толщине роговицы более 350 мкм; при кератоконусе II стадии и кератоконусе III стадии при среднем значении кератометрии менее 55,0 дптр возможно применение как имплантации интрастромальных колец MyoRing, так и интрапротоговиных сегментов [41-46].

Первые результаты фемтолазерной сквозной кератопластики (Fs-СКП) были опубликованы в России в 2011 году [47]. Н.П. Паштаев и Л.В. Лебедь представили анализ результатов Fs-СКП (IntraLase FS 60 кГц) с комбинированным профилем у 30 пациентов (30 глаз) с кератоконусом III-IV ст. по Амслеру [48]. Fs-СКП за выполнения сложных индивидуализированных разрезов с различным профилем края, позволяет повысить биомеханическую стабильность послеоперационной раны, четкого сопоставления размера удаляемого и пересаживаемого роговичных дисков, раннего снятия швов, уменьшению роговичного астигматизма, тем самым способствует ранней реабилитации пациентов.

Был проведен ретроспективный анализ традиционной СКП 28 пациентов (30 глаз), аналогичных основной группе, проведенных с использованием ме-

таллических трепанов. Возраст пациентов составил от 14 до 45 лет, срок наблюдения от 6 мес. до 3 лет. ФСЛ выполнял интрастромальные разрезы посредством трехэтапной резекции с энергией воздействия 2,1-2,2 мДж. Через год после традиционной СКП средняя НКОЗ составляла $0,1 \pm 0,14$ (0,1-0,2), после Fs-СКП — $0,5 \pm 0,15$ (0,4-0,8), КОЗ соответственно после традиционной СКП — $0,6 \pm 0,12$ (0,5-0,8), после Fs-СКП — $0,8 \pm 0,11$ (0,6-1,0). Значения цилиндрического компонента рефракции после Fs-СКП колебались в пределах от -0,75 до -6,0 Д (в среднем — $3,25 \pm 1,0$ Д), существенно не изменяясь после снятия шва (в 8-12 мес.) и на протяжении всего срока наблюдения. При традиционной СКП цилиндрический компонент колебался от 1,5 до 10,0 Д (в среднем — $4,5 \pm 1,25$ Д), имея максимальные значения сразу после операции и уменьшаясь после снятия шва (после 12 мес.). Вязкоэластические свойства роговицы значительно улучшались после обоих видов операции (корнеальный гистерезис после традиционной СКП — $9,3 \pm 0,6$ мм рт. ст., после Fs-СКП — $10,5 \pm 0,4$ мм рт. ст., фактор рецистентности роговицы соответственно $9,1 \pm 0,4$ мм рт. ст. и $9,9 \pm 0,5$ мм рт. ст.). Средний показатель плотности эндоцелиальных клеток через год после Fs-СКП составил 2196 ± 205 кл./мм², после традиционной СКП — 1960 ± 257 кл./мм² [49]. Н.П. Паштаев и А.Н. Паштаев продемонстрировали результаты Fs-СКП с комбинированным профилем у 115 пациентов и традиционной СКП у 112 пациентов с кератоконусом [50]. Авторы отметили, что у пациентов после Fs-СКП происходит более быстрое восстановление зрительных функций в реабилитационном периоде, меньше индуцированный астигматизм и высокий процент пациентов с КОЗ 0,5 и выше.

Впервые в отечественной практике в 2013 г. филиал был клинически апробирован и внедрен метод циркулярного тоннельного фемтокросслинкинга, позволяющий применять данный вид операции для стабилизации начальных стадий прогрессирующего кератоконуса с периферическим расположением верхушки эктазии [51]. Н.П. Паштаев, Н.А. Поздеева и В.В. Зотов выявили, что разработанная технология циркулярного тоннельного кросслинкинга с фемтолазерным формированием интрастромальных карманов для введения фотосенсибилизатора учитывает топографическое расположение зоны эктазии, позволяет, наравне со стандартной методикой КРК, добиться стабилизации кератоконуса (при наблюдении в сроки до 3 лет) на фоне уменьшения выраженности роговичного синдрома, минимизации инфекционных осложнений и сокращения сроков послеоперационной реабилитации. По данным авторов, выполнение циркулярного тоннельного УФ-кросслинкинга на основе использования фемтосекундного лазера для формирования интрастромального тоннеля показано при прогрессирующем кератоконусе I-II стадии по классификации Amsler-Krumeich при максимальной кератометрии до 57 дптр и пахиметрии в зоне эктазии не ниже 400 мкм, а также периферическом расположении зоны эктазии в проекции формируемого кольцевидного тоннеля внутренним диаметром 4,0 и внешним 9,0 мм от центра роговицы; при более центральном расположении наиболее эктазированного участка роговицы необходимо применение стандартной методики УФ-кросслинкинга [52-53].

ФСЛ последнего поколения позволяют работать на роговице с большей, чем ранее, скоростью, снизить степень воспалительной реакции и обеспечить

пациенту комфортное состояние. С 2015 г. в филиале с помощью первой отечественной фемтосекундной лазерной системы ФемтоВизум (Оптоисистемы, Троицк) выполняются ФемтолАЗИК для коррекции аметропий, различные виды пересадки роговицы, имплантация кольца MyoRing для коррекции миопии высокой степени у пациентов с тонкой роговицей и у пациентов с кератоконусом. В тесном сотрудничестве с Центром физического приборостроения адаптировано рабочее место офтальмохирурга и процесс аппланации роговицы, определены оптимальные технические параметры формируемого клапана и интрастромального кармана на основе пахиметрической и топографической карты роговицы.

ФемтоВизум является волоконным фемтосекундным лазером: длина волны 1030-1040 нм, длительность лазерного импульса 300-400 фс, частота повторения лазерных импульсов 1 МГц, уровень выходной энергии импульса 300-900 нДж, глубина воздействия 0-1100 мкм (шаг 1 мкм), размер пятна фокусировки — менее 2 мкм, расстояние между лазерными импульсами менее 3 мкм, паттерн сканирования — растрочный, максимальный диаметр обрабатываемой зоны -10,50 мм, вакуум удержания глаза 400-600 мБар. Для увеличения скорости операции в установке применена технология двойного сканирования. Форма краевого реза при кератопластике — цилиндрическая, коническая, грибовидная, шляповидная, зигзагообразная. Форма и размер интрастромальных туннелей изменяются программно.

Первые результаты ФемтолАЗИК и имплантации MyoRing для коррекции миопии высокой степени с помощью установки ФемтоВизум показали высокую прогнозируемость и эффективность [54, 55]. Скорость формирования клапана, по сравнению с предыдущим опытом, была вдвое выше. По данным исследований, помимо получения высоких рефракционных и функциональных показателей, имплантация кольца MyoRing в сформированный карман на 350 мкм обеспечивает сохранение биомеханических свойств роговицы за счет создания каркаса и придания дополнительной жесткости роговице.

Задние послойные кератопластики с применением российского фемтосекундного лазера ФемтоВизум в Чебоксарском филиале выполняются с 2015 года. На сегодняшний день при помощи данной фемтолазерной установки выполнено 35 задних послойных кератопластик, из них 32 кератопластики с технологией изготовления трансплантата с эндоцелиальной поверхностью роговицы, 3 кератопластики — изготовление трансплантата с передней поверхностью роговицы с выполнением фемтосреза и последующей эксимерлазерной абляцией под контролем ультразвуковой пахиметрии. Обе используемые методики позволяют получать ультратонкий трансплантат, толщиной в центральной зоне 120-130 мкм в момент заготовки, и 70-90 мкм после дегидратации в глазу реципиента. Восстановление прозрачности роговицы наступило у 32 пациентов, у 3 пациентов отек роговицы в послеоперационном периоде сохраняется, что требует повторного выполнения операции [56-58]. В случае изготовления трансплантата с эндоцелиальной поверхностью роговицы максимальное снижение плотности эндоцелиальных клеток (ПЭК) трансплантата наблюдалось в течение первых 3 месяцев после операции и составило $24 \pm 5\%$. На сроке 1 год наблюдалось среднее снижение ПЭК на $42 \pm 4\%$. Средняя ПЭК

через 1 год составила 1320 ± 158 кл/мм². КОЗ после восстановления прозрачности роговицы у прооперированных пациентов варьировала от 0,02 до 0,7. Острота зрения ниже 0,5 во всех случаях была связана с сопутствующей патологией сетчатки или зрительного нерва. Н.П. Паштаев с соавт. отмечали, что преимущество ФемтоВизум перед другими фемтолазерными офтальмологическими установками заключается в более низких значениях используемой энергии импульса (параметры работы данного лазера: излучение инфракрасного лазера с длиной волны 1030-1050 нм, частотой следования импульсов 1 МГц, продолжительностью импульса 400 фс, энергией в импульсе 0,89 мкДж для вертикального и 0,52 мкДж для ламеллярного разреза). Низкая энергия импульса позволяет снизить риск формирования «хейза» в интерфейсе трансплантат-роговица в послеоперационном периоде.

Одним из последних достижений является использование ФСЛ в хирургии катаракты. ФСЛ может создавать точные разрезы и разделять ткани внутри капсулы хрусталика и в самом хрусталике [59]. Первая операция по удалению катаракты с использованием ФСЛ была выполнена профессором Nagy Z. в 2008 г. в офтальмологическом отделении университета Semmelweis (Будапешт, Венгрия). FDA утвердила основные направления применения ФСЛ в хирургии катаракты для LenSx (Alcon, США) 510 кГц, такие как капсулорексис, факофрагментация, разрезы роговицы, в том числе дуговые. Вслед за LenSx другие компании разработали иные фемтолазерные установки для хирургии катаракты, которые также получили разрешение FDA: Abbott Medical Optics Inc., (CATALYS®, Abbott Medical Optics Inc., Santa Ana, CA, США), LensAR (LENSAR Inc., Orlando, FL, США), и Victus® (TECHNOLAS Perfect Vision GmbH, Мюнхен, Германия; Bausch&Lomb Incorporated, Rochester, NY, США) [60]. Основное отличие между упомянутыми фемтолазерными установками заключается в типе интерфейса пациента, который представляет собой аппланационный конус для контакта с роговицей.

В Чебоксарском филиале с 2014 года выполняется факоэмультсионная хирургия с фемтолазерным сопровождением (femtolaser-assisted cataract surgery, FLACS, ФЛЭК). Н.П. Паштаев и И.В. Куликов показали, что сравнительный анализ результатов стандартной факоэмультсионной хирургии (ФЭК) и ФЛЭК с применением фемтолазерной системы LenSx (Alcon, США) выявил сопоставимые результаты по рефракционным данным и НКОЗ в раннем послеоперационном периоде, однако применение ФСЛ обеспечивает меньшее индуцирование аберраций высшего порядка и более высокие показатели МКОЗ [61, 62]. При выполнении ФЛЭК имеется статистически значимая корреляция между НОА и рефракционными данными, а так же между НОА и остротой зрения в раннем послеоперационном периоде. Авторами показано, что применение НПВС в комбинации с мидриатиками в предоперационной подготовке дает стойкий мидриаз и уменьшает риск возникновения миоза после фемтолазерного этапа ФЛЭК [63].

Все шире становится круг заболеваний, сопровождающихся сублюксацией хрусталика различной степени. Удаление катаракты, осложненной патологией связочного аппарата хрусталика, является одной из актуальных проблем микрохирургии глаза [64]. По данным наших предварительных исследований ФЛЭК, выполненная у 30 пациентов с подвывихом хрусталика 1-2 степени и сопутствующей

патологией глаза, является безопасной и эффективной операцией [65]. У всех пациентов капсулорексис был прорезан полностью и имплантирована заднекамерная ИОЛ.

Заключение

С момента внедрения в клиническую практику ФСЛ IntraLase™ (AMO) в 2001 году в США и в 2007 г. в России, в Чебоксарском филиале ФГБУ «МНТК «Микрохирургия глаза» имени акад. С.Н. Федорова, данная технология быстро развилась и получила широкое распространение, как за рубежом, так и в других филиалах и клиниках России. Увеличилось не только число установок, но также и спектр их клинического применения. Появилась первая отечественная фемтосекундная лазерная установка ФемтоВизум (Оптосистемы, Троицк). Офтальмологи получили мощное оружие для лечения различных заболеваний глаза. Функции фемтосекундных лазеров — многогранные, а их применение — это залог безопасности и быстрой реабилитации пациента. Еще недавно — это было перспективное направление, сейчас — ФСЛ является незаменимым инструментом в рефракционной хирургии и хирургии роговицы. Активно развивается применение ФСЛ в хирургии катаракты. Не за горами — использование ФСЛ в витреоретинальной хирургии и лечении заболеваний сетчатки. Несомненно, что время механических технологий — ушло.

Чебоксарский филиал — частичка огромной команды МНТК «Микрохирургия глаза» с большим потенциалом ученых. У нас действует безоговорочное положение, если в нашей головной организации или в каком-либо из филиалов появилось что-то новое в лечении пациентов, то этой информацией надо поделиться с другими и помочь внедрить в практику. Таким образом, действует коллективный разум, а это значит, перспективы дальнейшего развития клиники огромны. И, несомненно, работает девиз основателя команды МНТК «Микрохирургия глаза» академика Святослава Николаевича Федорова «Прекрасные глаза — каждому».

ЛИТЕРАТУРА

1. Кононов В.И., Осико В.В., Щербаков И.А. Фундаментальные достижения оптики и лазерной физики для медицины // Вестник Российской академии наук. — 2004. — Т. 74, №2. — С. 99-124.
2. Краснов М.М. Лазеропунктура угла передней камеры при глаукоме // Вестник офтальмологии. — 1972. — №3. — С. 27.
3. Krasnov M.M. Laser-phakopuncture in the treatment of soft cataracts // Br. J. Ophthalmol. — 1975. — №2. — Р. 96-98.
4. Binder P. Flap dimensions created with the IntraLase FS laser // J. Cataract. Refract. Surg. — 2004. — Vol. 30. — P. 26-32.
5. Nagy Z.Z. Initial clinical evaluation of an intraocular femtosecond laser in cataract surgery // J. Refract. Surg. — 2009. — Vol. 25. — P. 1053-1060.
6. Kurtz R.M. Ultrafast lasers in ophthalmology. Ultrafast lasers: technology and applications // Marcel Dekker, inc. — 2001. — P. 129-135.
7. Ratkay-Traub I. First clinical results with the femtosecond neodymium-glass laser in refractive surgery // J. Refract. Surg. — 2003. — Vol. 19. — Р. 94-103.
8. Крюков П.Г. Лазеры ультракоротких импульсов // Квантовая электроника. — 2001. — Т. 31, №2. — С. 95-119.
9. Stonecipher K., Ignacio T.S., Stonecipher M. Advances in refractive surgery: microkeratome and femtosecond laser flap creation in relation to safety, efficacy, predictability, and biomechanical stability // Curr. Opin. Ophthalmol. — 2006. — Vol. 17. — P. 368-372.
10. Holzer M.P. Femtosecond laser-assisted corneal flap cuts: morphology, accuracy, and histopathology // Invest. Ophthalmol. Vis. Sci. — 2006. — Vol. 47. — P. 2828-2831.
11. Паштаев Н.П., Патеева Т.З. IntraLASIK: первые результаты лазерного кератомилеза с формированием роговичного клапана при помощи фемтосекундного лазера у пациентов с миопией // Современные технологии катарактальной и рефракционной хирургии — 2008: сб. науч. ст. / ФГУ МНТК «Микрохирургия глаза». — М., 2008. — С. 202-206.

12. Куликова И.Л., Паштаев Н.П. Первые результаты коррекции аметропий с использованием фемтосекундного кератома // Клиническая офтальмология. — 2008. — №3. — С. 87-90.
13. Паштаев Н.П., Маслова Н.А. Использование фемтосекундного лазера INTRALASE для формирования интрастромальных роговицных тоннелей при имплантации роговицных сегментов у пациентов с кератоконусом // Высокие технологии в офтальмологии: сб. науч. тр. — Краснодар: Альтаир, 2008. — С. 204-207.
14. Паштаев А.Н., Паштаев Н.П. Фемтолазерная глубокая передняя послойная пересадка роговицы // Актуальные проблемы офтальмологии: V Всерос. науч. конф. молодых ученых: сб. науч. работ. — М.: Офтальмология, 2010. — С. 148-149.
15. Лебедь Л.В. Фемтосекундная сквозная кератопластика // Медико-фармацевтический вестник. — 2011. — №15. — С. 38.
16. Паштаев Н.П., Поздеева Н.А., Синицын М.В., Шленская О.В. Коррекция миопии высокой степени в сочетании с тонкой роговицей методом фемтолазерной интрастромальной имплантации кольца MyoRing // Катарактальная и рефракционная хирургия. — 2013. — Т. 13, №4. — С. 25-28.
17. Куликова И.Л., Поляков Ю.В., Чабан И.А. Роговичная крышка, резецированная фемтосекундным лазером IntraLase 60 кГц: особенности стромального заживления // Офтальмохирургия. — 2009. — №4. — С. 41-44.
18. Куликова И.Л. Кераторефракционная лазерная хирургия в реабилитации детей и подростков с гиперметропической рефракцией: автореф. дис. ... д-ра мед. наук. — М., 2009. — 29 с.
19. Бауэр С.М., Венатовская Л.А., Франус Д.В., Федотова Л.А. Оценка изменения напряженно-деформированного состояния глаза и показателей внутриглазного давления после рефракционной коррекции гиперметропии // Российский журнал биомеханики. — 2015. — Т. 19. №2. — С. 136-143.
20. Паштаев Н.П., Патеева Т.З. IntraLASIK: первые результаты лазерного кератомилеза с формированием роговичного клапана при помощи фемтосекундного лазера у пациентов с миопией // Современные технологии катарактальной и рефракционной хирургии — 2008: сб. науч. ст. / ФГУ МНТК «Микрохирургия глаза». — М., 2008. — С. 202-206.
21. Патеева Т.З. Фемтолазерная коррекция миопии: автореф. дис. ... канд. мед. наук. — М., 2012. — 24 с.
22. Бодрова С.Г. Морфофункциональные изменения роговицы после длительного ношения мягких контактных линз, влияющих на результаты кераторефракционных операций: автореф. дис. ... канд. мед. наук. — М., 2009. — 22 с.
23. Куликова И.Л. IntraLASIK и LASIK в коррекции гиперметропии высокой степени и гиперметропического астигматизма (сравнительный анализ) // Офтальмохирургия. — 2009. — №3. — С. 4-8.
24. Патент РФ на изобретение №2369369/ 23.04.2008. Бюл. №28. Паштаев Н.П., Куликова И.Л. Способ хирургического лечения гиперметропической анизометропии у детей. Доступно по: http://www1.fips.ru/fips_servl/fips_servlet
25. Куликова И.Л., Паштаев Н.П. Анализ изменений передне-задней оси глаза у детей с гиперметропической анизометропией после фемтосекундного лазерного *in situ* кератомилеза: 1 год наблюдений // Бюллетень СО РАМН. — 2014. — Т. 34, №3. — С. 87-91.
26. Куликова И.Л., Паштаев Н.П. Фемтосекундный лазерный *in situ* кератомилез в лечении рефракционной амблиопии у детей // Съезд офтальмологов России, 10-й: сб. науч. материалов. — М.: Офтальмология, 2015. — С. 258.
27. Kulikova I., Pashtaev N. Femtosecond laser *in situ* keratomileusis in children with hyperopia and anisometropic amblyopia // Book of Abstracts. European Paediatric Ophthalmological Society EPOS: 41-st Annual Meeting. — St. Petersburg, 2015. — P. 65.
28. Паштаев Н.П., Куликова И.Л., Шленская О.В. Сравнительный анализ гистоморфологии роговицы взрослых и детей с гиперметропией после фемтосекундного лазерного интрастромального кератомилеза // Офтальмохирургия. — 2016. — №2. — С. 48-53.
29. Паштаев Н.П., Куликова И.Л., Шленская О.В. Особенности функционального слезного комплекса в разных возрастных группах у детей после кераторефракционных операций // Российская детская офтальмология. — 2016. — №4. — С. 5-8.
30. Куликова И.Л., Паштаев Н.П., Косороткина Т.И., Чапурин Н.В. Лазерный *in situ* кератомилез с фемтолазерным сопровождением у детей с гиперметропической анизометропией и амблиопией высокой степени // Российская детская офтальмология. — 2017. — №1. — С. 5-10.
31. Паштаев Н.П., Куликова И.Л., Маслова Н.А., и др. Анализ кератопографических индексов по данным прибора Pentacam после гиперметропического ФемтолАСИК у детей: 5 лет наблюдений // Современные технологии в офтальмологии. — 2016. — №5. — С. 169-172.
32. Куликова И.Л. Пространственная контрастная чувствительность и роговицкие aberrации высших порядков после рефракционных операций у детей с гиперметропической анизометропией // Вестн. офтальмол. — 2009. — №4. — С. 11-14.
33. Маслова Н.А. Формирование интрастромальных роговицных тоннелей для имплантации роговицных сегментов у пациентов с кератоконусом с помощью фемтосекундного лазера IntraLase // Бюл. СО РАМН. — 2009. — №4. — С. 75-79.
34. Маслова Н.А. Фемтолазерная интрастромальная кератопластика с имплантацией роговицных сегментов в лечении пациентов с кератоконусом: автореф. дис. ... канд. мед. наук. — М., 2012. — 24 с.
35. Паштаев Н.П., Маслова Н.А., Сусликов С.В. Трехлетний опыт применения фемтосекундного лазера для интрастромальной кератопластики у пациентов с кератоконусом // Современные технологии катарактальной и рефракционной хирургии — 2010: сб. науч. статей / ФГУ «МНТК «Микрохирургия глаза». — М., 2010. — С. 311-316.
36. Daxer A. Adjustable Intracorneal Ring in a Corneal Pocket for Keratoconus // J. Refract. Surg. — 2010. — №26. — Р. 217-221.
37. Паштаев Н.П., Поздеева Н.А., Синицын М.В., Шленская О.В. Коррекция миопии высокой степени в сочетании с тонкой роговицей методом фемтолазерной интрастромальной имплантации кольца MyoRing // Катарактальная и рефракционная хирургия. — 2013. — Т. 13, №4. — С. 25-28.
38. Унишкова Л.И., Паштаев Н.П., Поздеева Н.А., Синицын М.В. Двухлетний опыт применения миорингов в коррекции миопии высокой степени в сочетании с тонкой роговицей // Современные технологии в офтальмологии. Актуальные проблемы офтальмологии: X Всероссийская науч. конф. молодых ученых с междунар. участием. — 2015. — №3. — С. 165-169.
39. Маслова Н.А. Отдаленные клинико-функциональные результаты после интрастромальной кератопластики с применением фемтосекундного лазера INTRALASE FS у пациентов с кератоконусом / Н.А. Маслова, Н.П. Паштаев // Офтальмохирургия. — 2011. — №1. — С. 10-13.
40. Патент РФ на изобретение 2596729/ 06.08.2015. Бюл. №25. Паштаев Н.П., Поздеева Н.А., Синицын М.В. Определение дифференцированных показаний к выбору метода лечения кератоконуса II-III стадий. Доступно по: http://www1.fips.ru/fips_servl/fips_servlet
41. Паштаев Н.П., Синицын М.В., Поздеева Н.А. Сравнительный анализ клинико-функциональных результатов фемтолазерных имплантаций интрастромальных сегментов и колец MyoRing у пациентов с кератоконусом // Офтальмохирургия. — 2014. — №3. — С. 35-41.
42. Синицын М.В., Паштаев Н.П., Поздеева Н.А. Имплантация интрастромальных роговицовых колец MyoRing при кератоконусе // Вестник офтальмологии. — 2014. — №3. — С. 123-126.
43. Паштаев Н.П., Поздеева Н.А., Синицын М.В. Двухлетний анализ клинико-функциональных результатов фемтолазерных интрастромальных имплантаций колец MyoRing у пациентов с кератоконусом по данным аппарата Pentacam // Офтальмохирургия. — 2016. — №1. — С. 26-30.
44. Патент РФ 2584087/09.10.2014. Бюл. №14. Паштаев Н.П., Поздеева Н.А., Синицын М.В., Трушников В.М., Молодняков С.П., Трушников В.В. Способ лечения кератоконуса и миопии высокой степени с тонкой роговицей. Доступно по: http://www1.fips.ru/fips_servl/fips_servlet
45. Паштаев Н.П., Поздеева Н.А., Синицын М.В., Щеглова М.А. Сравнительный анализ отдаленных клинико-функциональных результатов имплантации интрастромальных колец MyoRing по стандартной и оптимизированной технологиям с применением фемтосекундного лазера у пациентов кератоконусом // Офтальмохирургия. — 2017. — №1. — С. 40-46.
46. Синицын М.В. Клинико-экспериментальная оценка эффективности интрастромальной имплантации колец MyoRing по оптимизированной технологии в реабилитации пациентов с кератоконусом: автореф. дис. ... канд. мед. наук. — М., 2017. — 24 с.
47. Паштаев Н.П., Лебедь Н.А., Поздеева Н.А. Первые результаты использования фемтосекундного лазера при сквозной кератопластике // Кубанский научный медицинский вестник. — 2011. — №1. — С. 104-110.
48. Лебедь Л.В., Паштаев Н.П. Фемтосекундная сквозная кератопластика при кератоконусе // Офтальмохирургия. — 2012. — №1. — С. 62-68.
49. Лебедь Л.В. Фемтосекундная сквозная кератопластика с комбинированным роговицким профилем при кератоконусе: автореф. дис. ... канд. мед. наук. — М., 2013. — 24 с.
50. Pashtaev N.P., Pashtaev A.N. Femtosecond Laser Assisted Keratoplasty for Keratoconus // 13th Black Sea Ophthalmological Congress. BSOS Ophthalmological Association of Moldova: Abstract Book. — 2015. — Р. 21-22.
51. Зотов В.В., Паштаев Н.П., Ларионов Е.В., и др. Сравнительное гистохимическое исследование структуры коллагена нормальной и кератоконусной роговицы в ходе моделирования процедуры кроссплинкинга с применением фемтолазера *in vitro* // Катарактальная и рефракционная хирургия. — 2013. — №2. — С. 32-36.
52. Паштаев Н.П., Зотов В.В. Сравнительный анализ отдаленных результатов стандартного и локального фемтокроссплинкинга у больных с прогрессирующими кератоконусом // Вестник ОГУ. — 2014. — №12. — С. 248-251.
53. Зотов В.В. Циркулярный тоннельный кроссплинкинг роговицкого коллагена с применением фемтосекундного лазера в ле-

чении пациентов с прогрессирующим кератокуносом: автореф. дис. ... канд. мед. наук. — М., 2016. — 25 с.

54. Паштаев Н.П., Патеева Т.З., Куликова И.Л., Поздеева Н.А. Ранние результаты коррекции миопии с помощью отечественного фемтосекундного лазера ФемтоВизум // Современные технологии в офтальмологии. XVI науч. практ. конф. с междунар. участием: Современные технологии катарактальной и рефракционной хирургии. — 2015. — №4. — С. 185-188.

55. Паштаев Н.П., Унишкова Л.И., Куликова И.Л., и др. Первый опыт применения первого российского фемтосекундного лазера ФемтоВизум для имплантации MyoRing у пациентов с миопией (клинический случай) // Современные технологии в офтальмологии. XIII Всерос. практ. конф «Федоровские чтения — 2016». — 2016. — №3. — С. 18-21.

56. Паштаев А.Н., Малюгин Б.Э., Паштаев Н.П., и др. Первый опыт задней послойной кератопластики, выполненной с помощью российского фемтосекундного лазера «Визум» // Современные технологии в офтальмологии. — 2016. — №5 (13). — С. 167-169.

57. Шипунов А.А., Паштаев А.Н., Паштаев Н.П., Поздеева Н.А. Первый опыт и клинические результаты задней послойной кератопластики с формированием ультратонкого трансплантата методом последовательного применения фемтосекундного и эксимерного лазера // Современные технологии в офтальмологии. — 2017. — №4. — С. 196-199.

58. Патент РФ 2622200/11.08.2016. Бюл. №17. Паштаев А.Н., Паштаев Н.П., Поздеева Н.А., Шипунов А.А. Способ заготовки ультратонких донорских роговичных трансплантатов для задней

послойной кератопластики с эндотелиального доступа с помощью фемтосекундного лазера. Доступно по: http://www1.fips.ru/fips_servl/fips_servlet

59. Nagy Z.Z. Initial clinical evaluation of an intraocular femtosecond laser in cataract surgery // J. Refract. Surg. — 2009. — Vol. 25. — P. 1053-1060.

60. Nagy Z.Z., Takacs A.I., Filkorn T., et al. Complications of femtosecond laser-assisted cataract surgery // J. Cataract. Refract. Surg. — 2014. — Vol. 40, №1. — P. 20-28.

61. Паштаев Н.П., Куликов И.В. Фемтосекундный лазер в хирургии катаракты // Офтальмохирургия. — 2016. — №3. — С. 74-79.

62. Куликов И.В., Паштаев Н.П. Сравнительный анализ рефракционных данных, aberrаций высшего порядка и зрительных функций после стандартной факоэмульсификации и факоэмульсификации с фемтолазерным сопровождением // Современные технологии в офтальмологии. XI Всерос. науч. практ. конф. молодых ученых. — 2016. — №4. — С. 125-127.

63. Паштаев Н.П., Куликов И.В. Изменение размера зрачка при факоэмульсификации с фемтолазерным сопровождением // Современные технологии в офтальмологии. — 2016. — №5. — С. 70-71.

64. Паштаев Н.П. Хирургия подвывихнутого и вывихнутого в стекловидное тело хрусталика. — Чебоксары: ГОУ ИУВ, 2007. — С. 11-13.

65. Куликов И.В., Паштаев Н.П. Фемтолазер-ассистированная экстракция катаракты с подвывихом хрусталика // Новые технологии в офтальмологии. — 2017. — №4. — С. 129-131.