

ПРИМЕНЕНИЕ ЦИФРОВОГО РАЗМЕТОЧНОГО УСТРОЙСТВА ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ФЕМТОЛАЗЕРНОЙ ИНТРАСТРОМАЛЬНОЙ КЕРАТОПЛАСТИКИ С ИМПЛАНТАЦИЕЙ ИНТРАСТРОМАЛЬНЫХ СЕГМЕНТОВ

Александр Владимирович ТЕРЕЩЕНКО, Сергей Константинович ДЕМЬЯНЧЕНКО, Екатерина Николаевна ВИШНЯКОВА

МНТК «Микрохирургия глаза» им. академика С.Н. Федорова Минздрава России, Калужский филиал 248007, г. Калуга, ул. Святослава Федорова, 5

Цель исследования – оценить практическую значимость применения цифрового разметочного устройства «VERION™ Image Guided System» в технологии интрастромальной кератопластики с использованием фемтосекундного лазера. **Материал и методы.** По разработанной методике прооперировано 35 глаз 27 пациентов с диагнозом «кератоконус 2-й степени». Средний возраст составил 26 лет. Формирование интрастромальных тоннелей осуществляли на фемтосекундном лазере «Femto LDV Z8» («Ziemer», Швейцария), лазер центрировался в четком соответствии с разметкой, полученной при помощи цифрового разметочного устройства «VERION™ Image Guided System» («Alcon», США). Во время имплантации сегмента для его четкого позиционирования в тоннеле также использовалось данное разметочное устройство. Установив проекцию требующейся оси, хирург интраоперационно визуализировал метку, соответствующую точному положению конца сегмента в интрастромальном тоннеле, и проводил прецизионное позиционирование интрастромальных сегментов. **Результаты.** При проведении операций по указанному методу установлено, что глаз пациента на этапе аппланации фемтосекундного лазера имеет тенденцию к ротации и децентрации. Незначительные децентрации относительно центра зрачка корректировались смещением шаблона интрастромального тоннеля в рабочей программе лазера по оси x на $0,1 \pm 0,05$ мм, по оси y – на $0,1 \pm 0,04$ мм. У пациентов в послеоперационном периоде отмечалось повышение показателей некорригированной и корригированной остроты зрения. К 3-му месяцу после операции функциональные показатели и кератометрические данные стабилизировались: острота зрения без коррекции и с максимальной коррекцией повысились до $0,50 \pm 0,16$ и $0,70 \pm 0,12$ соответственно, кератометрия слабого и сильного меридиана снизились до $44,3 \pm 1,4$ и $50,8 \pm 3,2$ диоптрий соответственно. **Заключение.** Установлено, что аппланация апертуры фемтосекундного лазера на поверхность конической роговицы приводит к ротации глаза в среднем на 9° . Использование фемтосекундного лазера для формирования интрастромальных тоннелей при проведении интрастромальной кератопластики требует обязательной маркировки меридиана роговицы, соответствующего оси вреза, для центрации лазера. Методика Verion-ассистированной фемтолазерной интрастромальной кератопластики позволяет позиционировать сегменты с прецизионной точностью в соответствии с предоперационным расчетом, что обеспечивает высокие клинико-функциональные результаты.

Ключевые слова: лечение кератоконуса, фемтолазерная интрастромальная кератопластика, имплантация интрастромальных сегментов, цифровое разметочное устройство.

Интрастромальная кератопластика как метод лечения кератоконуса применяется с 1996 г. За время существования методики апробированы различные модели интрастромальных сегментов («Keraring», «Intacs» и т.д.), отличающихся по дизайну и используемым полимерам («ПММА», «РНЕМА»). При этом алгоритм их расчета, правила имплантации и позиционирования в интрастромальном тоннеле имеют общие принципы и

обладают сопоставимой клинической эффективностью [1, 3].

Применение фемтосекундных (ФС) лазеров позволило формировать интрастромальный тоннель с четко заданными параметрами на необходимой глубине, что значительно обезопасило методику, практически исключив риск перфорации десцеметовой мембраны в ходе операции. Ось вреза в интрастромальный тоннель, по мнению

Терещенко А.В. – д.м.н., директор, e-mail: nauka@mntk.kaluga.ru

Демьянченко С.К. – к.м.н., зав. отделением оптико-реконструктивной и рефракционной хирургии, e-mail: nauka@mntk.kaluga.ru

Вишнякова Е.Н. – врач-офтальмолог, e-mail: nauka@mntk.kaluga.ru

авторов, всегда должна совпадать с осью крутого меридиана. При этом отсутствуют данные о предоперационной разметке роговицы по данному меридиану или разметке местоположения интрастромального сегмента относительно окружности роговицы. Параметры интрастромального тоннеля (глубина, ширина) и ось вреза программируются в программе ФС-лазера [2].

Однако авторами не учитывается тот факт, что в момент апланации ФС-лазера глаз пациента может ротироваться, и фактическое местоположение «входа» в интрастромальный тоннель будет располагаться вне запланированного меридиана. Использование зоны «входа» в интрастромальный тоннель как ориентира при позиционировании сегментов в данном случае приведет к ошибочному топографическому положению сегментов в толще роговицы.

Известно, что в ряде случаев имплантация интрастромальных сегментов не дает рефракционного эффекта и даже может привести к ухудшению зрения пациента после операции [4, 5], причиной чего может являться несоответствие местоположения сегментов относительно предоперационного расчета. На сегодняшний день в хирургии катаракты активно используются цифровые разметочные устройства для прецизионного позиционирования астигматических (торических) интраокулярных линз по заданной оси, одним из которых является «VERION™ Image Guided System» («Alcon», США). Предоперационное обследование пациента позволяет системе ориентироваться на анатомические структуры глаза и исключает негативное влияние неправильного положения головы больного на операционном столе и циклоторсии глаза. Накопленный опыт показал высокую эффективность и точность данной системы, а также ее преимущество в сравнении с мануальными методиками разметки роговицы [7].

Цель данного исследования – оценить практическую значимость применения цифрового разметочного устройства «VERION™ Image Guided System» в технологии интрастромальной кератопластики с использованием фемтосекундного лазера.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

По разработанной методике прооперировано 35 глаз 27 пациентов с диагнозом «кератоконус 2-й степени». Средний возраст больных составил 26 лет (от 19 до 35 лет). Перед операцией всем пациентам проводился стандартный набор исследований: визометрия, авторефрактометрия, кератотопография, измерение внутриглазного давления,

а также исследование на диагностической системе «VERION™ Image Guided System» («Alcon», США). В 10 случаях имплантирован один сегмент 160°, в девяти случаях – один сегмент 210°, в восьми случаях – два симметричных сегмента 160° и в семи случаях – два асимметричных сегмента 160° и 90°. Высота сегментов варьировала от 150 до 300 мкм.

Методика заключалась в следующем. Используя кератотопографическую карту, определяли вид эктазии по отношению к сильной оси роговицы (симметричная, асимметричная и располагающаяся полностью по одну сторону от сильной оси). С учетом индивидуальных параметров рефракции пациента, по номограмме Ketting, соответствующей виду эктазии, определяли количество и местоположение сегментов в роговице относительно сильной оси, а также высоту и длину дуги сегмента или сегментов. На кератотопографической карте определяли расчетное местоположение сегмента или сегментов с фиксацией меридиана, соответствующего проекции проксимального (относительно «входа» в интрастромальный тоннель) конца интрастромального сегмента. В случаях имплантации двух симметричных сегментов (160°) «вход» в интрастромальный тоннель планировался по сильной оси, асимметричных сегментов (90°, 160°) – на равноудаленном расстоянии от проксимальных краев сегментов, одного сегмента (160° или 210°) – на расстоянии 30° от проксимального края сегмента. Интрастромальные тоннели формировали на ФС-лазере «Femto LDV Z8» («Ziemer», Швейцария), их глубина составляла 80 % минимальной толщины роговицы в месте расположения тоннелей.

Интраоперационно под микроскопом «LuxOR® LX3» («Alcon») проводили разметку меридиана роговицы маркером, используя как ориентир цифровую проекционную метку, соответствующую предоперационному расчету местоположения «входа» в интрастромальный тоннель (рис. 1). Одной из опций ФС-лазера является возможность смещения шаблона планируемых интрастромальных тоннелей и зоны «входа» как по осям x и y , так и вращением по и против часовой стрелки. Центрацию ФС-лазера осуществляли по центру зрачка, смещая шаблон интрастромальных тоннелей в программе лазера по осям x , y и ротируя шаблон тоннелей по часовой или против часовой стрелки таким образом, чтобы метка на роговице совпала с осью вреза шаблона интрастромальных тоннелей. После проведения апланации лазера к поверхности роговицы совмещали ось планируемого «входа» в интрастромальный тоннель с меткой, соответствующей реальному расположению оси, определенной при

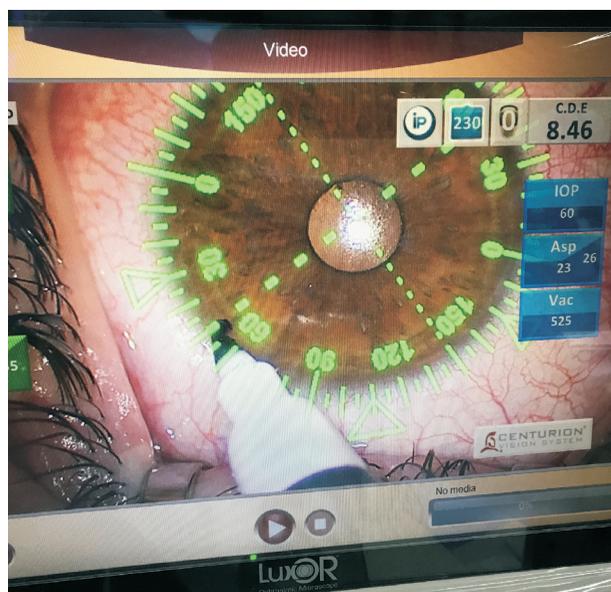


Рис. 1. Маркировка роговицы по проекционной метке по оси 50° (ось вреза)

помощи устройства «VERION™ Image Guided System», по которой должен быть выполнен «вход» в интрастромальный тоннель. Таким образом, ФС-лазер центрируется по центру зрачка и по требуемой оси в четком соответствии с разметкой, полученной при помощи цифрового разметочного устройства «VERION™ Image Guided System» (рис. 2).

После проведения фемто-этапа формирования интрастромального тоннеля выполнялась непосредственно имплантация сегмента, для четкого позиционирования которого также ис-

пользовалось цифровое разметочное устройство «VERION™ Image Guided System». Установив проекцию требуемой оси интраоперационно, хирург через окуляры операционного микроскопа «LuxOR® LX3» визуализировал метку, соответствующую точному положению конца сегмента в интрастромальном тоннеле, и проводил прецизионное позиционирование интрастромальных сегментов (рис. 3).

Статистическую обработку результатов исследования проводили, вычисляя среднее арифметическое значение (M), среднеквадратическое отклонение (SD), и представляли в виде $M \pm SD$. Различия между группами оценивали с помощью критерия Стьюдента, достоверными считались результаты при $p < 0,05$.

РЕЗУЛЬТАТЫ

При проведении операций по указанному методу обнаружено, что глаз пациента на этапе апланации ФС-лазера имеет тенденцию к ротации и децентрации. Незначительные децентрации относительно центра зрачка корректировались смещением шаблона интрастромального тоннеля в рабочей программе ФС-лазера по оси x на $0,1 \pm 0,05$ мм, по оси y на $0,1 \pm 0,04$ мм. Ротационный компонент потребовал вращения шаблона интрастромального тоннеля в среднем на 9° (от 1° до 27°). В послеоперационном периоде отмечалось повышение показателей некорригированной и корригированной остроты зрения (таблица). Максимальный срок наблюдения – 1 год. За период наблюдения интрастромальные

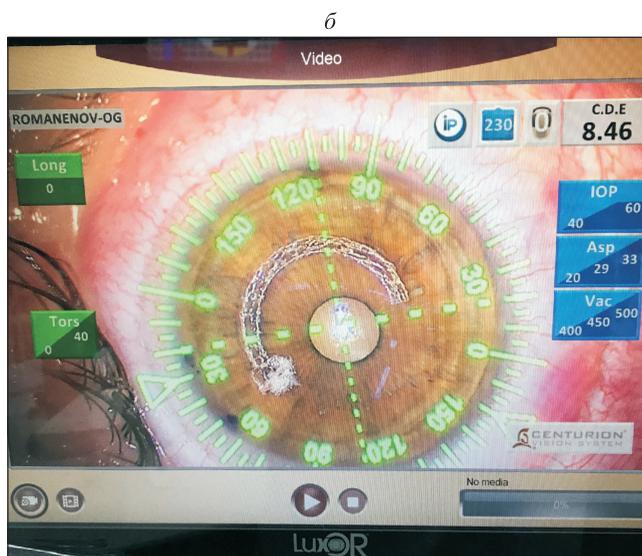
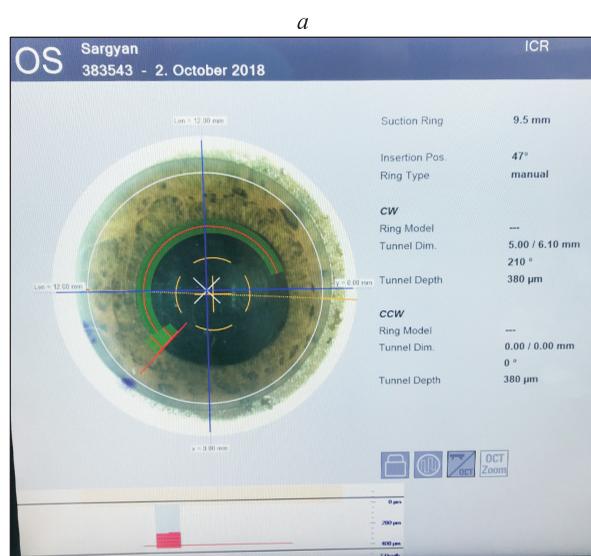


Рис. 2. Центрация шаблона интрастромальных тоннелей фемтосекундного лазера по центру зрачка и ротация шаблона по часовой стрелке на 3° согласно предварительной разметке (а), зона вреза четко совпадает с запланированной осью 50° (б)

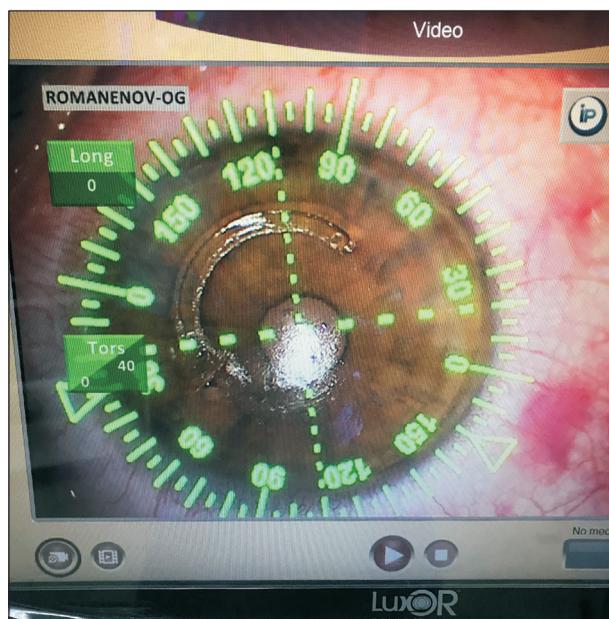


Рис. 3. *Позиционирование сегмента (длина дуги 160°) под визуальным контролем по проекционной метке, соответствующей 30°*

сегменты в 33 случаях находились в стабильном положении. В двух случаях имплантации одного сегмента 160° отмечалась его миграция по направлению к зоне входа в тоннель на 5°, при этом в обоих случаях сегменты находились на безопасном расстоянии от места входа в тоннель (25°). Ни одного случая интра- и постоперационных осложнений не выявлено.

ОБСУЖДЕНИЕ

Сущность предлагаемой методики заключается в использовании системы «VERION™ Image Guided System» для интраоперационного проецирования метки по заданной оси и градуированной разметки окружности роговицы, что позволяет с прецизионной точностью позиционировать интрастромальный сегмент согласно предоперационному расчету. Применение методики показало, что апланация апертуры ФС-лазера на поверхность конической роговицы приводит к значи-

тельной ротации глаза и несовпадению оси вреза, заданной в программе ФС-лазера, с фактической осью роговицы пациента в среднем на 9°. Интраоперационная разметка роговицы позволяет провести центрацию ФС-лазера и добиться точного расположения оси вresa в соответствии с предоперационным расчетом. Использование проекционных меток цифрового разметочного устройства «VERION™ Image Guided System» дает возможность объективного контроля при позиционировании интрастромальных сегментов по заданной оси и обеспечивает максимально точное воспроизведение технологии интрастромальной кератопластики с имплантацией интрастромальных сегментов.

Анализ послеоперационных результатов показал, что во всех случаях имплантации интрастромальных сегментов по предложенной методике удалось добиться повышения остроты зрения без коррекции и с максимальной коррекцией. Случаев отсутствия рефракционного эффекта операции и случаев ухудшения зрения после операции не отмечено. Использование данной системы позволяет расположить вход в тоннель в произвольной зоне, при имплантации одного сегмента или двух асимметричных сегментов на удалении 25–30° от проксимального конца интрастромального сегмента и не использовать место вresa как ориентир при позиционировании сегмента в интрастромальном тоннеле. Расположение входа в интрастромальный тоннель вне сильной оси при имплантации одного или двух сегментов разной длины дуги на равном удалении от краев имплантата позволяет избежать риска протрузии при миграции сегмента внутри тоннеля [6]. Способ прост в использовании и позволяет реализовать теоретическую концепцию технологии интрастромальной кератопластики в реальной клинической практике с максимальным приближением.

ВЫВОДЫ

1. Апланация апертуры фемтосекундного лазера на поверхность конической роговицы приводит к ротации глаза в среднем на 9°.

Таблица

Функциональные показатели и кератометрические данные

Показатель	До операции	Через 3 мес. после операции
Острота зрения без коррекции	0,20 ± 0,09	0,50 ± 0,16*
Острота зрения с коррекцией	0,45 ± 0,17	0,70 ± 0,12*
Кератометрия слабого меридиана, диоптрий	47,5 ± 3,2	44,3 ± 1,4*
Кератометрия сильного меридиана, диоптрий	56,8 ± 4,4	50,8 ± 3,2*

Примечание. * – отличие от величины соответствующего показателя до операции статистически значимо при $p < 0,05$.

2. Использование фемтосекундного лазера для формирования интрастромальных тоннелей при проведении интрастромальной кератопластики требует обязательной маркировки меридиана роговицы, соответствующего оси вреза, для центрации лазера.

3. Методика Verion-ассистированной фемтолазерной интрастромальной кератопластики позволяет позиционировать сегменты с прецизионной точностью в соответствии с предоперационным расчетом.

4. Применение цифрового разметочного устройства «VERION™ Image Guided System» при проведении интрастромальной кератопластики с использованием фемтосекундного лазера показало высокий уровень практической значимости и обеспечивает высокие клинично-функциональные результаты.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Конфликт интересов отсутствует.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бикбов М.М., Бикбова Г.М., Исхакова А.Х. Результаты имплантации интрастромальных роговичных сегментов (Keraring) при кератоконусе // Офтальмохирургия. 2013. (2). 55–58.

2. Маслова Н.А. Фемтолазерная интрастромальная кератопластика с имплантацией роговичных сегментов в лечении пациентов с кератоконусом: автореф. дис. ... канд. мед. наук. М., 2012.

3. Мороз З.И., Калинин Ю.Ю., Леонтьева Г.Д., Новиков С.В., Гурбанов Р.С. Рефракционные результаты имплантации интрастромальных роговичных сегментов на основе гидрогеля у пациентов с кератоконусом // Офтальмохирургия. 2009. (1). 14–17.

4. Coskunseven E., Kymionis G.D., Tsiklis N.S., Atun S., Arslan E., Jankov M., Pallikaris I.G. One-year results of intrastromal corneal ring segment implantation (KeraRing) using femtosecond laser in patients with keratoconus // Am. J. Ophthalmol. 2008. 145. (5). 775–779.

5. Ferrara G., Torquetti L., Ferrara P., Merayo-Llodes J. Intrastromal corneal ring segments: visual outcomes from a large case series // Clin. Exp. Ophthalmol. 2012. 40. (5). 433–439.

6. Kugler L.J., Hill S., Sztipanovits D., Boerman H., Swartz T.S., Wang M.X. Corneal melt of incisions overlying corneal ring segments: case series and literature review // Cornea. 2011. 30. (9). 968–971.

7. Webers V.S., Bauer N.J., Visser N., Berendschot T.T., van den Biggelaar F.J., Nuijts R.M. Image-guided system versus manual marking for toric intraocular lens alignment in cataract surgery // J. Cataract. Refract. Surg. 2017. 43. (6). 781–788.

THE USE OF DIGITAL MARKING DEVICE WHEN PERFORMING FEMTOSECOND LASER INTRASTROMAL KERATOPLASTY WITH IMPLANTATION OF INTRASTROMAL SEGMENTS

Aleksandr Vladimirovich TERESHCHENKO, Sergey Konstantinovich DEM'YANCHENKO, Ekaterina Nikolaevna VISHNYAKOVA

*S. Fyodorov Eye Microsurgery Federal State Institution, Kaluga Branch
248007, Kaluga, Svyatoslav Fedorov str., 5*

The aim of the study is to assess the practical significance of the use of the digital marking device «VERION™ Image Guided System» in the technology of intrastromal keratoplasty using a femtosecond laser. **Material and methods.** According to the developed method, 35 eyes of 27 patients with a diagnosis of keratoconus of the 2nd degree were operated. The median age was 26 years. Formation of intrastromal tunnels was performed using «Femto LDV Z8» femtosecond laser («Ziemer», Switzerland), the laser was centered in strict accordance with the markings obtained by the digital marking device «VERION™ Image Guided System» («Alcon», USA). During the implantation of the segment, this device was also used for its precise positioning in the tunnel. Setting the projection of the required axis, the surgeon intraoperatively to visualize the label that corresponds to the exact position of the end of the segment in the intrastromal tunnel, and carried out precise positioning of the intrastromal segments. **Results.** When performing operations using the indicated method, it was revealed that the patient's eye at the aplanation stage of a femtosecond laser has a tendency to rotate and decentralize. Minor decentralizations relative to the pupil center were corrected by the displacement of the intrastromal tunnel pattern in the laser working program along the x-axis by 0.1 ± 0.05 mm, along the y-axis by 0.1 ± 0.04 mm. In patients in the postoperative period there was an increase in uncorrected and corrected visual acuity. By 3 months after the operation, functional parameters and keratometric data stabilized: visual acuity without correction and with maximum correction increased to 0.5 ± 0.16 and 0.7 ± 0.12 , respectively, keratometry of flat and steep axis declined to 44.3 ± 1.4 and 50.8 ± 3.2 diopters, respectively. **Conclusions.** It was found that the aplanation of the femtosecond laser aperture on the surface of the conical cornea leads to the rotation of the eye by an average of 9° . The use of femtosecond laser for forming the intrastromal tunnels in the conduct intrastromal keratoplasty requires mandatory marking of the cornea meridian the corresponding to the axis of the cutout for laser centration. Methodology of Verion-assisted femtosecond laser intrastromal keratoplasty allows to position the segments with high precision in accordance with a preoperative calculation that provides high clinical and functional results.

Key words: treatment of keratoconus, femtosecond laser intrastromal keratoplasty, implantation of intrastromal segments, digital marking device.

Tereshchenko A.V. – doctor of medical sciences, director, e-mail: nauka@mntk.kaluga.ru

Dem'yanchenko S.K. – candidate of medical sciences, head of the department of optical-reconstructive and refractive surgery, e-mail: nauka@mntk.kaluga.ru

Vishnyakova E.N. – ophthalmologist, e-mail: nauka@mntk.kaluga.ru