

ФЕМТОЛАЗЕРНАЯ РЕФРАКЦИОННАЯ АУТОКЕРАТОПЛАСТИКА — ПЕРСОНАЛИЗИРОВАННЫЙ ПОДХОД

А. В. Терещенко, И. Г. Трифаненкова, С. К. Демьянченко, Е. В. Ерохина,
М. А. Тимофеев, Н. А. Головач, Е. Н. Вишнякова

Калужский филиал ФГАУ «НМИЦ «МНТК «Микрохирургия глаза» имени акад. С. Н. Федорова» Минздрава РФ, г. Калуга, Россия

FEMTOSECOND LASER REFRACTIVE AUTOKERATOPLASTY — A PERSONALIZED APPROACH

A. V. Tereshchenko, I. G. Trifanenkova, S. K. Dem'yanenko, E. V. Erokhina,
M. A. Timofeev, N. A. Golovach, E. N. Vishnyakova

Kaluga branch of the Academician S. Fyodorov Eye Microsurgery Federal State Institution, Kaluga, Russia

Резюме

Цель: разработать алгоритм расчета параметров фемто-резекции роговицы при выполнении фемтолазерной рефракционной аутокератопластики с использованием персонализированной математической модели.

Материалы и методы. Прооперированы 15 пациентов мужского пола с диагнозом кератоконус 3-й степени. Средний возраст — 34 ± 6 лет. Пациенты не отмечали снижения зрения на протяжении 5–6 лет. Математическая модель расчета параметров фемтолазерной рефракционной аутокератопластики была разработана нами совместно с Калужским филиалом Московского государственного технического университета имени Н. Э. Баумана. Для проведения фемтоэтапа операции на фемто-секундном лазере «Femto LDV Z8» совместно с инженерной службой компании *Ziemer Ophthalmic Systems* (Швейцария) было создано специализированное программное обеспечение, позволяющее выполнить два последовательных циркулярных реза роговицы с заданными параметрами в рамках одной процедуры.

Результаты. Во всех случаях резекция роговицы проводилась по индивидуальным параметрам согласно расчетам. Показатели кератометрии через 1 нед после операции фиксировались на уровне 32 ± 4 дптр. Глубина передней камеры глаза на данном сроке уменьшилась с $3,59 \pm 0,2$ до $2,45 \pm 0,31$ мм. В срок 1 мес после операции средние показатели кератометрии несколько повысились — до 35 ± 6 дптр. Глубина передней камеры глаза имела тенденцию к восстановлению до $2,8 \pm 0,25$ мм. В срок 6 мес средняя кератометрия была на уровне 41 ± 3 дптр. Глубина передней камеры составила $3,4 \pm 0,1$ мм. Показатели астигматизма в срок 6 мес достигали $3,5 \pm 1,5$ дптр. при исходных значениях 7 ± 2 дптр.

Заключение. Необходимы дальнейшие исследования и накопление большего клинического опыта для получения объективных данных по эффективности и стабильности результатов фемтолазерной рефракционной аутокератопластики (библ.: 7 ист.).

Ключевые слова: кератоконус, математическая модель, фемтолазерная рефракционная аутокератопластика.

Статья поступила в редакцию 03.07.2018 г.

Вопросы диагностики и лечения кератоконуса на протяжении многих лет не теряют своей актуальности [1, 2].

Прогрессирующее истончение роговицы приводит к неравномерности роговичной поверхности

Summary

Objective: is to develop an algorithm for calculating the parameters of femtoresection of the cornea when performing femtosecond laser refractive autokeratoplasty using personalized mathematical models.

Materials and methods. 15 male patients with the diagnosis of keratoconus of the 3rd degree were operated. The average age was 34 ± 6 years. Patients did not notice a decrease in vision for 5–6 years. Mathematical model for calculating the parameters of femtosecond laser refractive autokeratoplasty was developed by us together with the Kaluga branch of the Bauman MSTU. Together with the engineering service of *Ziemer Ophthalmic Systems* (Switzerland) a specialized software was created that allows to perform two consecutive circular corneal cuts with the specified parameters within the framework of one procedure using femtosecond laser «Femto LDV Z8».

Results of the study. In all cases, corneal resection was performed using individual parameters according to the calculations. The keratometry parameters were recorded at the level of 32 ± 4 diopters 1 week after surgery. The depth of the anterior chamber of the eye at this period decreased from 3.59 ± 0.2 to 2.45 ± 0.31 mm. 1 month after the surgery an average keratometry increased to 35 ± 6 diopters. The depth of the anterior chamber had a tendency to restore up to 2.8 ± 0.25 mm. 6 months after the operation the average keratometry was at 41 ± 3 diopters. The depth of the anterior chamber was 3.4 ± 0.1 mm. Indicators of astigmatism 6 months after the surgery was 3.5 ± 1.5 d as compared with initial values of 7 ± 2 diopters.

Conclusion. Further studies and larger clinical experience are needed to obtain objective data about the efficacy and stability of refractive results of femtosecond laser autokeratoplasty (bibliography: 7 refs).

Key words: femtosecond laser refractive autokeratoplasty, keratoconus, mathematical model.

Article received 03.07.2018.

и как следствие — к грубым нарушениям зрительных функций.

На сегодняшний день применяются различные методики для лечения заболевания на начальных и далеко зашедших стадиях, среди которых рогович-

ный кросслинкинг, технологии керапластики, в том числе с фемтосекундным лазерным сопровождением, и т. д. [1, 3, 4].

Альтернативной методикой лечения кератоконуса является фемтолазерная рефракционная аутокератопластика (ФРАК). Данный метод основан на моделировании собственной роговицы с восстановлением более физиологичного профиля и ее оптических свойств. Объективными преимуществами предлагаемой методики являются отсутствие необходимости в донорских роговицах, непроницающий характер операции, сохранение собственного эндотелия, а также отсутствие риска развития иммунного конфликта [5–7].

Однако в оригинальной методике ФРАК мы не обнаружили алгоритма расчета фемторезекции роговицы в зависимости от индивидуальных параметров глаза пациента.

ЦЕЛЬ

Разработать алгоритм расчета параметров фемторезекции роговицы при выполнении ФРАК с использованием персонализированной математической модели.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Математическая модель расчета параметров фемторезекции была разработана нами совместно с Калужским филиалом Московского государственного технического университета имени Н. Э. Баумана (заявки на изобретение № 2018114488 и 2018114489, приоритет от 19.04.2018 г.).

Для проведения фемтоэтапа ФРАК на фемтосекундном лазере «Femto LDV Z8» совместно с инженерной службой компании *Ziemer Ophthalmic Systems* (Швейцария) было создано специализированное программное обеспечение, позволяющее выполнить два последовательных циркулярных реза роговицы с заданными параметрами в рамках одной процедуры.

Прооперированы 15 пациентов мужского пола с диагнозом кератоконус 3-й степени. Средний возраст — 34 ± 6 лет. Пациенты не отмечали снижения зрения на протяжении 5–6 лет.

Пациентам выполняли стандартные офтальмологические обследования, а также проводили комплекс специальных исследований — спектральную оптическую когерентную томографию (СОКТ) переднего отрезка глаза («RTVue XR Avanti», *Optovue*, США; «OCT Visante», *Carl Zeiss*, Германия), компьютерную кератотопографию и кератопахиметрию («Pentacam», *Carl Zeiss Meditec*, Германия). Острота зрения с коррекцией составила 0,09–0,1, пахиметрия — 382–390 мкм на вершине конуса, кератометрия: $K_{\min} = 51\text{--}54$, $K_{\max} = 58\text{--}61$.

При проведении математического моделирования использовались данные биометрии, компьютерной кератотопографии и СОКТ переднего отрезка глаза. Результаты, полученные путем математического моделирования, определяли выбор конкретных настроек программы ФРАК на фемтосекундном лазере «Femto LDV Z8» (*Ziemer*, Швейцария).

Расчет параметров резекции осуществлялся по формуле

$$S = \left(\frac{200 \times h^2}{19 \times d} - \frac{d^3}{24 \times R^2} \right) / 2,$$

где S — расстояние между кольцевыми разрезами роговицы; h и d — высота и диаметр основания кератоконуса соответственно по данным СОКТ переднего отрезка глаза, R — планируемый радиус кривизны роговицы.

Для определения будущей рефракции роговицы и соответствующего радиуса кривизны передней поверхности роговицы R исходили из следующих расчетов. Согласно схематической модели глаза Гульстранда, фокусировка изображения на сетчатке глаза осуществляется при следующих параметрах: оптическая сила роговицы равна 43,05 дптр., при этом оптическая сила передней поверхности составляет 48,83 дптр., длина глаза (биометрия) — 23,4 мм. Используя значения фактической биометрии пациента, определяли требуемый радиус передней поверхности роговицы, соответствующий эмметропической рефракции. Расчет проводился по формуле

$$R = 1000(n - 1)/\Phi,$$

где Φ — оптическая сила передней поверхности роговицы, n — коэффициент преломления роговицы, равный 1,376, а R — радиус кривизны передней поверхности роговицы.

РЕЗУЛЬТАТЫ

В результате персонализированного расчета резекция роговицы проводилась по индивидуальным параметрам. Внутренний циркулярный рез под углом 90° диаметром 7,8 мм выполнялся всем пациентам, диаметр наружного реза варьировал от 8,0 до 8,2 мм в зависимости от индивидуальных параметров роговицы и биометрии глаза согласно расчетам. Таким образом, проводилась резекция «избытка» роговичной ткани, что обеспечило суммарный «дефицит» ткани на передней поверхности роговицы от 0,2 до 0,4 мм. После шовного сопоставления краев роговичной раны профиль роговицы значительно уплощался, приводя к временному сдвигу рефракции в сторону гиперметропии.

Послеоперационный период во всех случаях протекал спокойно, специфических и неспецифических осложнений отмечено не было. Умеренно выраженный корнеальный синдром купировался в

течение 4–5 сут на фоне инстилляций стероидных противовоспалительных препаратов. Пациенты с первых суток после операции отмечали улучшение зрения. Острота зрения без коррекции через 1 нед после операции составила $0,2 \pm 0,1$, острота зрения с максимальной коррекцией — $0,3 \pm 0,1$. В сроки 1 и 6 мес после операции отмечалось повышение как корригированной остроты зрения (КОЗ), так и некорригированной остроты зрения (НКОЗ). НКОЗ в срок 1 мес составила $0,2 \pm 0,05$, в срок 6 мес — $0,3 \pm 0,08$. КОЗ в срок 1 мес после операции достигала $0,5 \pm 0,1$, в срок 6 мес — $0,6 \pm 0,15$.

Показатели кератометрии через 1 нед после операции фиксировались на уровне 32 ± 4 дптр. Глубина передней камеры глаза на данном сроке уменьшилась с $3,59 \pm 0,2$ до $2,45 \pm 0,31$ мм. В срок 1 мес после операции средние показатели кератометрии несколько повысились — до 35 ± 6 дптр. Глубина передней камеры глаза имела тенденцию к восстановлению до $2,8 \pm 0,25$ мм. В срок 6 мес средняя кератометрия была на уровне 41 ± 3 дптр. Глубина передней камеры состави-

ла $3,4 \pm 0,1$ мм. Показатели астигматизма в срок 6 мес составили $3,5 \pm 1,5$ дптр. при исходных значениях 7 ± 2 дптр.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Возможности фемтосекундного лазера «Femto LDV Z8» (Ziemer, Швейцария) в хирургии роговицы являются уникальными и позволяют проводить ФРАК на глазах с кератоконусом в рамках одной процедуры. Ремоделирование профиля собственной роговицы при кератоконусе обеспечивает повышение остроты зрения (НКОЗ, КОЗ) в раннем послеоперационном периоде. Персонализированный математический расчет параметров фемторезекции позволяет достичь запланированного рефракционного эффекта операции. Необходимы дальнейшие исследования и накопление большего клинического опыта для получения объективных данных по эффективности и стабильности результатов ФРАК.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Bikbov M. M., Bikbova G. M. Corneal ectasia (pathogenesis, pathomorphology, clinic, diagnosis, treatment). Moscow: Oftal'mologiya; 2011. (Бикбов М. М., Бикбова Г. М. Эктазия роговицы (патогенез, патоморфология, клиника, диагностика, лечение). М.: Офтальмология; 2011).
2. Rabinowitz Y. S. Keratoconus. Surv. Ophthalmol. 1998; 42 (4): 297–319.
3. Zolotarevskiy A. V., Zolotarevskiy K. A., Abdullaev E. E. Experience in the treatment of patients with keratoconus and keratectasia. Klinicheskaya meditsina. 2013; 5 (1): 40–4. (Золоторевский А. В., Золоторевский К. А., Абдуллаев Э. Э. Опыт лечения больных с кератоконусом и кератэктазиями. Клиническая медицина. 2013; 5 (1): 40–4).
4. Kymionis G. D., Grentzelos M. A., Liakopoulos D. A., Paraskevopoulos T. A., Klados N. E., Tsoulnaras K. I., Kankariya V. P., Pallikaris I. G. Long-term follow-up of corneal collagen cross-linking for keratoconus — the Cretan study. Cornea. 2014; 33 (10): 1071–9. DOI: 10.1097/ICO.0000000000000248
5. Sitnik G. V., Slonimskiy A. Yu., Slonimskiy Y. B., Imsheneckaya T. A. Femtolaser refractive autokeratoplasty: a new method of treatment of keratoconus. Medicinskiy zhurnal. 2015; 4: 113–7. (Ситник Г. В., Слонимский А. Ю., Слонимский Ю. Б., Имшенецкая Т. А. Фемтолазерная рефракционная аутокератопластика: новый способ лечения кератоконуса. Медицинский журнал. 2015; 4: 113–7).
6. Sitnik G. V., Slonimskiy A. Yu., Slonimskiy Y. B. Femtosecond laser refractive autokeratoplasty: first results and prospects. Oftal'mologiya. 2015; 12 (3): 22–29. (Ситник Г. В., Слонимский А. Ю., Слонимский Ю. Б. Фемтолазерная рефракционная аутокератопластика: первые результаты и перспективы. Офтальмология. 2015; 12 (3): 22–9).
7. Slonimskiy A. Yu., Sitnik G. V., Slonimskiy Yu. B., Imsheneckaya T. A. Femtolaser refractive autokeratoplasty — a new method of surgical treatment of keratoconus. Tochka zreniya. Vostok-Zapad. 2016; 1: 42–5. (Слонимский А. Ю., Ситник Г. В., Слонимский Ю. Б., Имшенецкая Т. А. Фемтолазерная рефракционная аутокератопластика — новый способ хирургического лечения кератоконуса. Точка зрения. Восток-Запад. 2016; 1: 42–5).

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Терещенко Александр Владимирович — докт. мед. наук, директор филиала, Калужский филиал ФГАУ «НМИЦ «МНТК «Микрохирургия глаза» имени акад. С. Н. Федорова» Минздрава РФ, 248007, Россия, г. Калуга, ул. Святослава Федорова, д. 5, конт. тел.: +7(4842)505767, e-mail: nauka@mntk.kaluga.ru

Трифаненкова Ирина Георгиевна — канд. мед. наук, заместитель директора по научной работе, Калужский филиал ФГАУ «НМИЦ «МНТК «Микрохирургия глаза» имени акад. С. Н. Федорова» Минздрава РФ, 248007, Россия, г. Калуга, ул. Святослава Федорова, д. 5, конт. тел.: +7(4842)505767, e-mail: nauka@mntk.kaluga.ru

INFORMATION ABOUT AUTHORS

Tereshchenko Alexander V. — M. D., D. Sc. (Medicine), the Branch Director, Kaluga branch of the Academician S. Fyodorov Eye Microsurgery Federal State Institution, 5, Svyatoslava Fedorova str., Kaluga, Russia, 248007, cont. phone: +7(4842)505767, e-mail: nauka@mntk.kaluga.ru

Trifanenkova Irina G. — M. D., Ph. D. (Medicine), the Deputy Director for scientific work, Kaluga branch of the Academician S. Fyodorov Eye Microsurgery Federal State Institution, 5, Svyatoslava Fedorova str., Kaluga, Russia, 248007, cont. phone: +7(4842)505767, e-mail: nauka@mntk.kaluga.ru

Демьянченко Сергей Константинович — канд. мед. наук, заведующий отделением оптико-реконструктивной и рефракционной хирургии роговицы, Калужский филиал ФГАУ «НМИЦ «МНТК «Микрохирургия глаза» имени акад. С. Н. Федорова» Минздрава РФ, 248007, Россия, г. Калуга, ул. Святослава Федорова, д. 5, конт. тел.: +7(4842)505767, e-mail: nauka@mntk.kaluga.ru

Ерохина Елена Владимировна — заведующая 2-м диагностическим отделением, Калужский филиал ФГАУ «НМИЦ «МНТК «Микрохирургия глаза» имени акад. С. Н. Федорова» Минздрава РФ, 248007, Россия, г. Калуга, ул. Святослава Федорова, д. 5, конт. тел.: +7(4842)505767, e-mail: nauka@mntk.kaluga.ru

Тимофеев Максим Александрович — врач-офтальмолог 1-го офтальмологического отделения, Калужский филиал ФГАУ «НМИЦ «МНТК «Микрохирургия глаза» имени акад. С. Н. Федорова» Минздрава РФ, 248007, Россия, г. Калуга, ул. Святослава Федорова, д. 5, конт. тел.: +7(4842)505767, e-mail: nauka@mntk.kaluga.ru

Головач Наталья Александровна — врач-офтальмолог отделения оптико-реконструктивной и рефракционной хирургии роговицы, Калужский филиал ФГАУ «НМИЦ «МНТК «Микрохирургия глаза» имени акад. С. Н. Федорова» Минздрава РФ, 248007, Россия, г. Калуга, ул. Святослава Федорова, д. 5, конт. тел.: +7(4842)505767, e-mail: nauka@mntk.kaluga.ru

Вишнякова Екатерина Николаевна — врач-офтальмолог отделения оптико-реконструктивной и рефракционной хирургии роговицы, Калужский филиал ФГАУ «НМИЦ «МНТК «Микрохирургия глаза» имени акад. С. Н. Федорова» Минздрава РФ, 248007, Россия, г. Калуга, ул. Святослава Федорова, д. 5, конт. тел.: +7(4842)505767, e-mail: nauka@mntk.kaluga.ru

Dem'yanchenko Sergey K. — M. D., Ph. D. (Medicine), the Head of the department of optical-reconstructive and refractive corneal surgery, Kaluga branch of the Academician S. Fyodorov Eye Microsurgery Federal State Institution, 5, Svyatoslava Fedorova str., Kaluga, Russia, 248007, cont. phone: +7(4842)505767, e-mail: nauka@mntk.kaluga.ru

Erokhina Elena V. — the Head of the 2nd Diagnostic Department, Kaluga branch of the Academician S. Fyodorov Eye Microsurgery Federal State Institution, 5, Svyatoslava Fedorova str., Kaluga, Russia, 248007, cont. phone: +7(4842)505767, e-mail: nauka@mntk.kaluga.ru

Timofeev Maxim A. — Ophthalmologist of the 1st Ophthalmology Department, Kaluga branch of the Academician S. Fyodorov Eye Microsurgery Federal State Institution, 5, Svyatoslava Fedorova str., Kaluga, Russia, 248007, cont. phone: +7(4842)505767, e-mail: nauka@mntk.kaluga.ru

Golovach Natalia A. — Ophthalmologist of the Optical-reconstructive and Refractive Corneal Surgery Department, Kaluga branch of the Academician S. Fyodorov Eye Microsurgery Federal State Institution, 5, Svyatoslava Fedorova str., Kaluga, Russia, 248007, cont. phone: +7(4842)505767, e-mail: nauka@mntk.kaluga.ru

Vishnyakova Ekaterina N. — Ophthalmologist of the Optical-reconstructive and Refractive Corneal Surgery Department, Kaluga branch of the Academician S. Fyodorov Eye Microsurgery Federal State Institution, 5, Svyatoslava Fedorova str., Kaluga, Russia, 248007, cont. phone: +7(4842)505767, e-mail: nauka@mntk.kaluga.ru