

## РЕФРАКЦИОННАЯ ХИРУРГИЯ REFRACTIVE SURGERY

Научная статья  
УДК 617.713-007.64  
doi: 10.25276/0235-4160-2023-2-28-35

### Клинико-функциональные результаты модифицированной фемтолазерной рефракционной аутокератопластики у пациентов с кератоконусом

А.В. Терещенко, М.А. Тимофеев, И.Г. Трифаненкова, С.К. Демьянченко

НМИЦ «МНТК «Микрохирургия глаза» им. акад. С.Н. Федорова», Калужский филиал, Калуга

#### РЕФЕРАТ

**Цель.** Проанализировать клинико-функциональные результаты модифицированной фемтолазерной рефракционной аутокератопластики (ФРАК) и оценить ее эффективность у пациентов с кератоконусом в сроки наблюдения 36 месяцев. **Материал и методы.** В исследование вошли 24 пациента (13 мужчин и 11 женщин) с диагнозом кератоконус 2-й стадии по классификации Amsler (1998). Возраст пациентов составил от 25 до 37 лет (в среднем  $31 \pm 6$  лет). Учитывая исходные показатели сферического и цилиндрического компонентов, а также показатели биометрии, которые указывали на заведомую неэффективность интрастромальной кератопластики у данной группы, всем пациентам была проведена ФРАК по модифицированной методике на фемтолазерной установке Femto LDV Z8 (Ziemer, Швейцария). **Результаты.** Анализ клинико-функциональных резуль-

татов модифицированной методики ФРАК при топографически центрально расположенном кератоконусе показал, что данная технология обеспечивает стабильный рефракционный эффект у пациентов со 2-й стадией кератоконуса в течение периода наблюдения 36 месяцев. Проведение персонализированной ФРАК по показаниям обеспечивает повышение скорректированной остроты зрения уже в раннем послеоперационном периоде с тенденцией к дальнейшему повышению в среднем до  $0,46 \pm 0,08$  к 36 месяцам после операции, а также стабильное состояние эктатического процесса на всем сроке наблюдения. **Заключение.** Модифицированная технология ФРАК эффективна и может успешно применяться на ранних стадиях кератоконуса в случаях с исходной низкой остротой зрения и осевой миопией.

**Ключевые слова:** кератоконус, фемтолазерная рефракционная аутокератопластика ■

**Для цитирования:** Терещенко А.В., Тимофеев М.А., Трифаненкова И.Г., Демьянченко С.К. Клинико-функциональные результаты модифицированной фемтолазерной рефракционной аутокератопластики у пациентов с кератоконусом. Офтальмохирургия. 2023;2: 28–35. doi: 10.25276/0235-4160-2023-2-28-35

**Автор, ответственный за переписку:** Ирина Георгиевна Трифаненкова, nauka@mntk.kaluga.ru

#### ABSTRACT

Original article

### Clinical and functional results of modified femtolasers refractive autokeratoplasty in patients with keratoconus

A.V. Tereshchenko, M.A. Timofeev, I.G. Trifanenkova, S.K. Demyanchenko

S. Fyodorov Eye Microsurgery Federal State Institution, the Kaluga branch, Kaluga, Russian Federation

**Purpose.** To analyze the clinical and functional results of modified femtolasers refractive autokeratoplasty and evaluate its effectiveness in patients with keratoconus during a follow-up period of 36 months. **Material and methods.** The study included 24 patients (13 men and 11 women) diagnosed with stage 2 keratoconus according to the Amsler, 1998 classification. The age of the patients ranged from 25 to 37 years (mean  $31 \pm 6$  years). Taking into account the initial parameters of the spherical and cylindrical components, as well as biometric parameters, which indicated the deliberate ineffectiveness of intrastromal

keratoplasty (ISKP) in this group, all patients were performed femtolasers refractive autokeratoplasty (FRAK) according to a modified technique using a Femto LDV Z8 femtolasers unit (Ziemer, Switzerland). **Results.** An analysis of the clinical and functional results of the modified FRAK technique for topographically centrally located keratoconus showed that this technology provides a stable refractive effect in patients with stage 2 keratoconus during a follow-up period of 36 months. Performing personalized FRAK according to indications provides an increase in corrected visual acuity already in the early postoperative period with a

tendency to further increase an average up to  $0,46 \pm 0,08$  by 36 months after surgery, as well as stable state of the ecstatic process throughout the entire follow-up. **Conclusion.** The modified FRAK technology is effective

and can be successfully used in the early stages of keratoconus in cases with initial low visual acuity and axial myopia.

**Key words:** *keratoconus, femtolasar refractive autokeratoplasty* ■

**For citation:** Tereshchenko A.V., Timofeev M.A., Trifanenkova I.G., Demyanchenko S.K. Clinical and functional results of modified femtolasar refractive autokeratoplasty in patients with keratoconus. *Fyodorov Journal of Ophthalmic Surgery*. 2023;2: 28-35.  
doi: 10.25276/0235-4160-2023-2-28-35

**Corresponding author:** Irina G. Trifanenkova, nauka@mntk.kaluga.ru

## АКТУАЛЬНОСТЬ

В настоящее время в арсенале офтальмологов имеется целый ряд методов и их комбинаций, которые показывают себя эффективными в лечении кератоконуса [1]. Тем не менее каждый из них имеет как преимущества, так и недостатки и ограничения, которые препятствуют достижению желаемых результатов в ряде случаев [2].

Так, хорошо зарекомендовавшая себя и широко применяемая технология интрастромальной кератопластики (ИСКП) демонстрирует низкую эффективность у пациентов с топографически центральным расположением кератэктазии с сопутствующей осевой миопией, не позволяя достичь выраженной компенсации сферозэквивалента при максимальной высоте сечения используемого сегмента [3].

В 2015 г. была разработана методика фемтолазерной рефракционной аутокератопластики (ФРАК), которая основана на ремоделировании собственной роговицы пациента без имплантации интрастромальных сегментов или колец [4]. Авторы описали опыт проведения ФРАК пациентам с 3–4-й стадиями кератоконуса.

Среди преимуществ ФРАК следует выделить отсутствие необходимости в донорских роговицах, непроникающий характер операции и отсутствие риска развития иммунного конфликта. Однако авторы методики не уточняли, как определяются расчетные значения параметров фемторезекции, кроме того, не учитывали индивидуальные показатели эктазированной роговицы пациента.

С 2017 г. ведутся исследования по модификации и персонализации метода ФРАК, что позволило начать выполнение данной операции на ранних стадиях кератоконуса. Полученные результаты в сроки 12 месяцев указывают на эффективность ФРАК при 2-й стадии заболевания и целесообразность проведения дальнейших изысканий [5, 6].

## ЦЕЛЬ

Проанализировать клинико-функциональные результаты модифицированной ФРАК и оценить ее эффектив-

ность у пациентов с кератоконусом в сроки наблюдения 36 месяцев.

## МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

В исследование вошли 24 пациента (13 мужчин и 11 женщин) с диагнозом кератоконус 2-й степени по классификации Amsler в модификации Krumeich [7]. Возраст пациентов составил от 25 до 37 лет (в среднем  $29,6 \pm 2,4$  года).

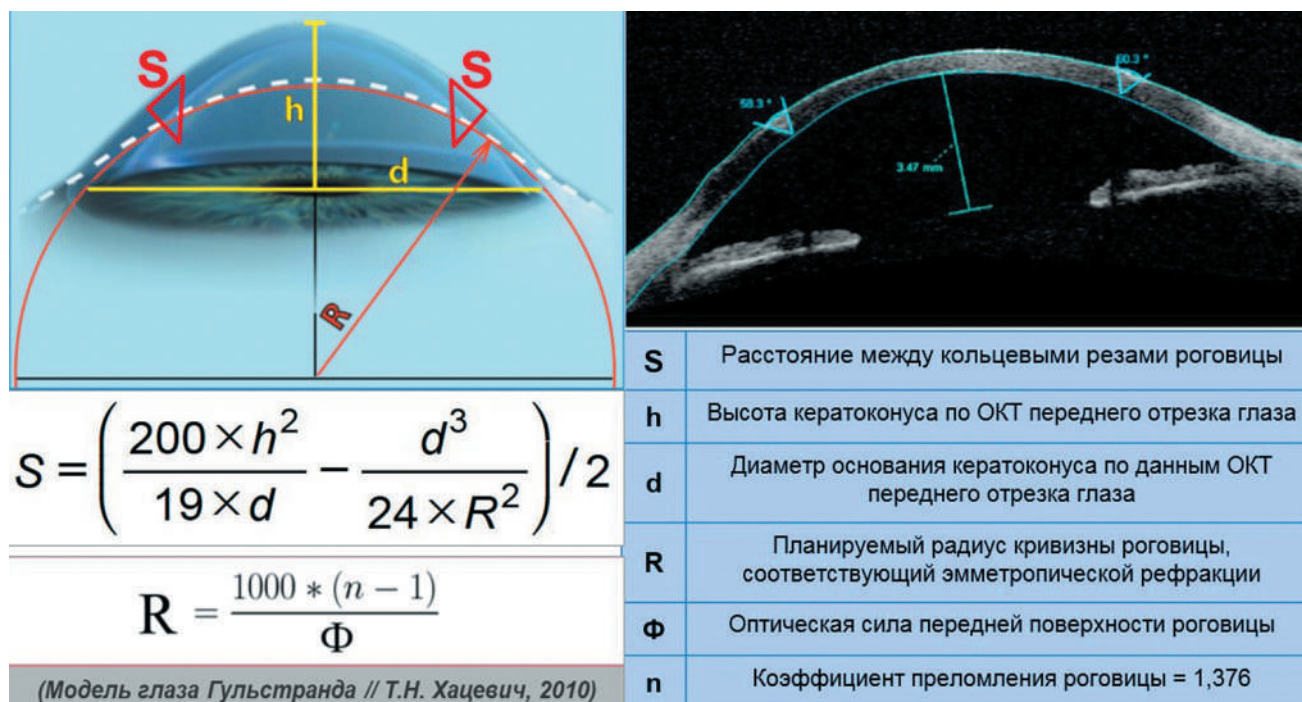
Критериями включения являлись: центральное расположение верхушки конуса, отсутствие прогрессии в течение 2 лет, пахиметрия не меньше 400 мкм в тончайшей зоне, отсутствие стромальных помутнений, переносимость очковой и контактной коррекции.

До и после хирургического лечения всем пациентам проводились как стандартные: визометрия, кераторефрактометрия, биометрия, тонометрия, биомикроскопия, так и специальные методы исследования: кератотопография, пахиметрия (Pentacam, Oculus, Германия), оптическая когерентная томография (ОКТ) переднего отрезка глаза (Optovue, США), эндотелиальная микроскопия роговицы (Topcon, Япония), исследование на диагностическом модуле Verion (Alcon, США).

До операции средние значения некорригированной остроты зрения (НКОЗ) составили  $0,09 \pm 0,02$ , максимальной корригированной остроты зрения (МКОЗ) –  $0,22 \pm 0,03$ , сферического компонента рефракции –  $-8,75 \pm 1,15$ , цилиндрического компонента рефракции –  $-4,87 \pm 0,40$ , толщины роговицы –  $434,37 \pm 7,80$  мкм, кератометрии: K1 –  $50,44 \pm 0,74$  дптр, K2 –  $55,27 \pm 0,65$  дптр, длины глаза –  $25,31 \pm 0,27$  мм.

Учитывая исходные показатели сферического и цилиндрического компонентов, а также показатели биометрии, которые указывали на заведомую неэффективность ИСКП в данной группе, всем пациентам была проведена ФРАК по модифицированной методике (патент РФ на изобретение №2688955, патент РФ на изобретение №2689758) на фемтолазерной установке Femto LDV Z8 (Ziemer, Швейцария).

В ходе ФРАК за один докинг фемтолазера с помощью специально созданного совместно с компанией Ziemer для данной операции программного обеспечения одновременно выполняли два циркулярных реза роговицы,



**Рис. 1.** Математическая формула, разработанная совместно с КФ МГТУ им. Баумана, для расчета параметров фемторезекции с учетом индивидуальных показателей эктазированной роговицы

**Fig. 1.** Mathematical formula developed with The Kaluga branch Bauman University, to calculate the parameters of femtosecond laser cut, taking into account individual parameters of the ectatized cornea

резецируя из нее кольцевидный лоскут с клиновидным профилем.

При этом ширину резецируемого в ходе ФРАК лоскута роговицы рассчитывали по формуле, разработанной совместно с кафедрой высшей математики КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, которая учитывает высоту и диаметр основания кератоконуса по данным ОКТ переднего отрезка глаза (рис. 1).

Исходя из расчетов, внутренний диаметр реза во всех случаях составлял 7,7 мм, наружный диаметр варьировал от 7,8 до 8,3 мм. Перед проведением фемтоэтапа для более точного позиционирования предстоящего фемтолазерного реза выполнялась разметка центра роговицы и взаимоперпендикулярных меридианов с помощью интраоперационной системы Verion (Alcon, США) (рис. 2). Глубина фемторезекции роговицы составляла от 400 до 560 мкм, что соответствовало 90% толщины роговицы в зоне резекции.

После удаления кольцевидного лоскута (рис. 3) для более равномерного натяжения роговичной ткани края клиновидного реза роговицы сшивали, используя комбинированную шовную фиксацию: 16 узловых и один тур непрерывного обвивного шва (рис. 4). Через 12 месяцев после ФРАК швы снимали.

Сроки наблюдения: на 3-и сутки, через 1, 6, 12, 24, 36 месяцев после операции.

Статистический анализ динамики клинично-функциональных показателей выполняли, используя Т-критерий Вилкоксона, различия считали достоверными при  $p < 0,05$ .

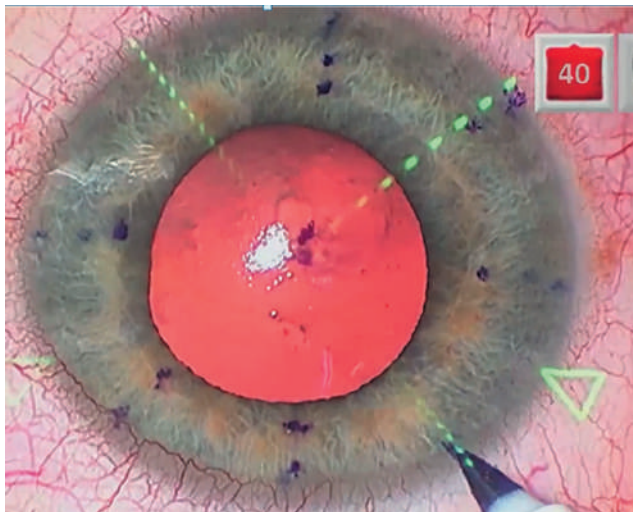
## РЕЗУЛЬТАТЫ

Интраоперационно во всех случаях удалось за один докинг фемтолазера выполнить два циркулярных реза с параметрами, соответствующими расчетным, выделить и удалить кольцевой сегмент роговицы с клиновидным профилем, выполнить комбинированную шовную фиксацию.

Функциональные результаты до и после ФРАК у пациентов с кератоконусом, полученные в различные сроки наблюдения, представлены в таблице 1.

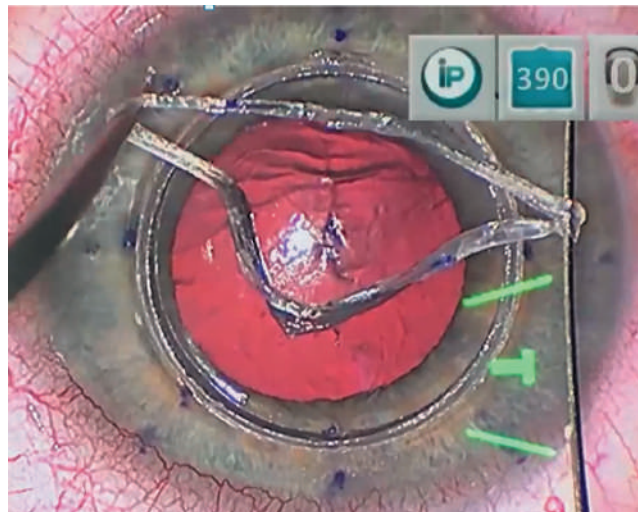
НКОЗ в сроки наблюдения до 3 месяцев незначительно превышала дооперационные показатели ( $p > 0,05$ ). Начиная с 6 месяцев и до конца срока наблюдения отмечали статистически достоверное увеличение показателей НКОЗ ( $p < 0,05$ ) по сравнению со значениями до операции. В срок 36 месяцев НКОЗ составила  $0,19 \pm 0,06$  по сравнению с  $0,09 \pm 0,02$  до проведения ФРАК ( $p = 0,046$ ). Следует отметить, что после снятия швов в срок 12 месяцев НКОЗ незначительно снизилась, в срок 24 месяца составляла  $0,20 \pm 0,02$  и оставалась стабильной до конца периода наблюдения.





**Рис. 2.** Проведение разметки роговицы с помощью системы Verion (Alcon, США)

**Fig. 2.** Performing cornea marking using the Verion system (Alcon, USA)



**Рис. 3.** Этап ФРАК: удаление резецированного кольцевидного сегмента роговичной ткани с клиновидным профилем

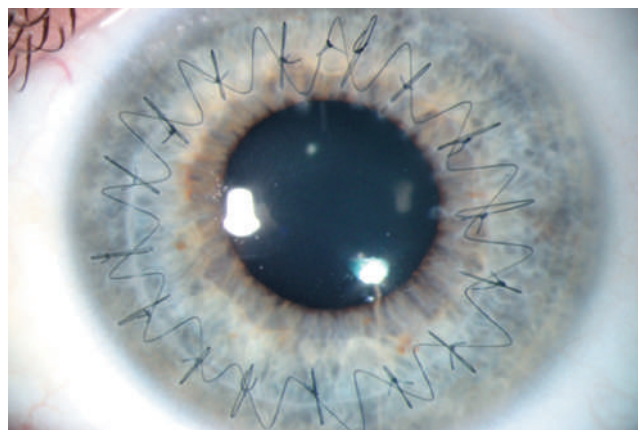
**Fig. 3.** FRAC stage: removal of the resected annular segment of corneal tissue with a wedge-shaped profile

Динамика МКОЗ, начиная со срока 6 месяцев, имела тенденцию к достоверному повышению по сравнению с дооперационными данными ( $p < 0,05$ ). К 36 месяцам среднее значение МКОЗ в исследуемой группе пациентов составило  $0,46 \pm 0,08$  ( $p = 0,012$ ). После снятия шовной фиксации все пациенты комфортно переносили очковую и контактную коррекцию.

Рефракционные изменения после проведения ФРАК в раннем послеоперационном периоде характеризовались резким гиперметропическим сдвигом, что было связано с выраженным уплощением профиля роговицы. К 12 месяцам после операции (после снятия шовной фиксации) наблюдался миопический сдвиг в пределах 2 дптр. К сроку наблюдения 36 месяцев средние значения сферического компонента рефракции составляли  $-1,41 \pm 0,47$  по сравнению с дооперационными  $-8,75 \pm 1,15$  ( $p = 0,002$ ). При этом до- и послеоперационные показатели имели статистически достоверные различия на всех сроках наблюдения ( $p < 0,05$ ).

Оценивая средние показатели цилиндрического компонента, следует отметить их постепенное уменьшение на всем сроке наблюдения, и к 3 годам они составляли  $-2,10 \pm 0,75$  по сравнению с  $-4,87 \pm 0,40$  до операции. До снятия швов в срок 12 месяцев значимой разницы в показателях цилиндрического компонента не наблюдалось ( $p > 0,05$ ), однако после снятия швов было отмечено статистически достоверное снижение цилиндрического компонента в сравнении с дооперационными значениями ( $p < 0,05$ ).

Кератометрические характеристики и показатели пахиметрии пациентов с кератоконусом до и в различные сроки после ФРАК представлены в *таблице 2*.



**Рис. 4.** Фото глаза пациента на сроке наблюдения 12 месяцев (до снятия швов)

**Fig. 4.** Photo of the patient's eye at the follow-up period of 12 months (before suture removal)

Показатели кератометрии в раннем послеоперационном периоде достоверно снижаются за счет выраженного уплощения роговицы, затем планомерно увеличиваются к сроку 12 месяцев и сохраняются стабильными после снятия шовной фиксации со статистически значимыми различиями относительно предоперационных значений на всех сроках наблюдения ( $p < 0,05$ ) (*рис. 5*).

Показатели радиуса кривизны передней и задней поверхностей роговицы на ранних сроках после ФРАК увеличивались за счет сильного уплощения роговицы с

Таблица 1

Функциональные показатели у пациентов с кератоконусом  
до и в различные сроки наблюдения после ФРАК

Table 1

Functional parameters in patients with keratoconus  
before and at various follow-up periods after FRAK

| Параметр<br>Parameter | До<br>Before | После<br>After   |                   |                    |                    |                      |                      |                      |
|-----------------------|--------------|------------------|-------------------|--------------------|--------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
|                       |              | 3 сут.<br>3 days | 1 мес.<br>1 month | 3 мес.<br>3 months | 6 мес.<br>6 months | 12 мес.<br>12 months | 24 мес.<br>24 months | 36 мес.<br>36 months |
| НКОЗ<br>VA            | 0,09±0,02    | 0,1±0,01         | 0,09±0,01         | 0,13±0,02          | 0,17±0,02          | 0,23±0,03            | 0,20±0,02            | 0,19 ±0,06           |
| МКОЗ<br>BCVA          | 0,22±0,03    | 0,25±0,04        | 0,28±0,03         | 0,29±0,04          | 0,35±0,04          | 0,37±0,04            | 0,41±0,04            | 0,46±0,08            |
| Sph<br>Sph            | -8,75±1,15   | 4,66±1,39        | 4,15±1,48         | 3,35±1,38          | 2,93±1,7           | 1,37±1,16            | -1,40±0,24           | -1,41±0,47           |
| Cyl<br>Cyl            | -4,87±0,40   | -4,42±0,66       | -3,95±0,56        | -3,54±0,59         | -3,25±0,83         | -3,16±0,43           | -2,28±0,59           | -2,10±0,75           |

Таблица 2

Кератометрические характеристики и показатели пахиметрии роговицы пациентов с кератоконусом  
до и в различные сроки наблюдения после ФРАК

Table 2

Keratometric characteristics and parameters of corneal pachymetry in patients with keratoconus  
before and at various follow-up periods after FRAK

| Параметр<br>Parameter                                        | До<br>Before | После<br>After   |                   |                    |                    |                      |                      |                      |
|--------------------------------------------------------------|--------------|------------------|-------------------|--------------------|--------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
|                                                              |              | 3 сут.<br>3 days | 1 мес.<br>1 month | 3 мес.<br>3 months | 6 мес.<br>6 months | 12 мес.<br>12 months | 24 мес.<br>24 months | 36 мес.<br>36 months |
| K1                                                           | 50,44±0,75   | 35,02±1,73       | 36,61±2,26        | 38,80±1,64         | 41,16±1,33         | 44,29±1,02           | 46,56±0,83           | 46,86±0,83           |
| K2                                                           | 55,27±0,65   | 40,48±1,62       | 42,35±1,89        | 44,16±1,72         | 46,88±1,43         | 48,33±1,05           | 50,33±0,79           | 50,79±1,00           |
| R <sub>сред. перед. пов.</sub><br>R <sub>mean ant surf</sub> | 6,42±0,08    | 9,07±0,39        | 9,46±0,73         | 8,61±0,42          | 7,90±0,25          | 7,31±0,16            | 7,0±0,14             | 6,82±0,28            |
| R <sub>сред. задн. пов.</sub><br>R <sub>mean post surf</sub> | 5,05±0,12    | 6,34±0,22        | 6,41±0,25         | 6,40±0,34          | 6,15±0,32          | 5,61±0,14            | 5,45±0,13            | 5,18±0,17            |
| T <sub>рогов. мин.</sub><br>T <sub>mean</sub>                | 434,37±7,81  | 495,58±22,58     | 438,69±9,06       | 439,43±9,75        | 437,09±8,52        | 439,27±9,21          | 438,89±29,59         | 436,71±17,99         |

постепенным уменьшением в дальнейшем. Показатель радиуса кривизны передней поверхности роговицы ( $R_{\text{сред. перед. пов.}}$ ) к 36 месяцам наблюдения составлял  $6,82 \pm 0,28$  мм, задней ( $R_{\text{сред. задн. пов.}}$ ) –  $5,18 \pm 0,17$  мм.

В первые дни после хирургии определялось умеренное повышение пахиметрических показателей за счет послеоперационного отека роговицы с постепенным их уменьшением к сроку 1 месяц ( $p=0,043$ ), после которого

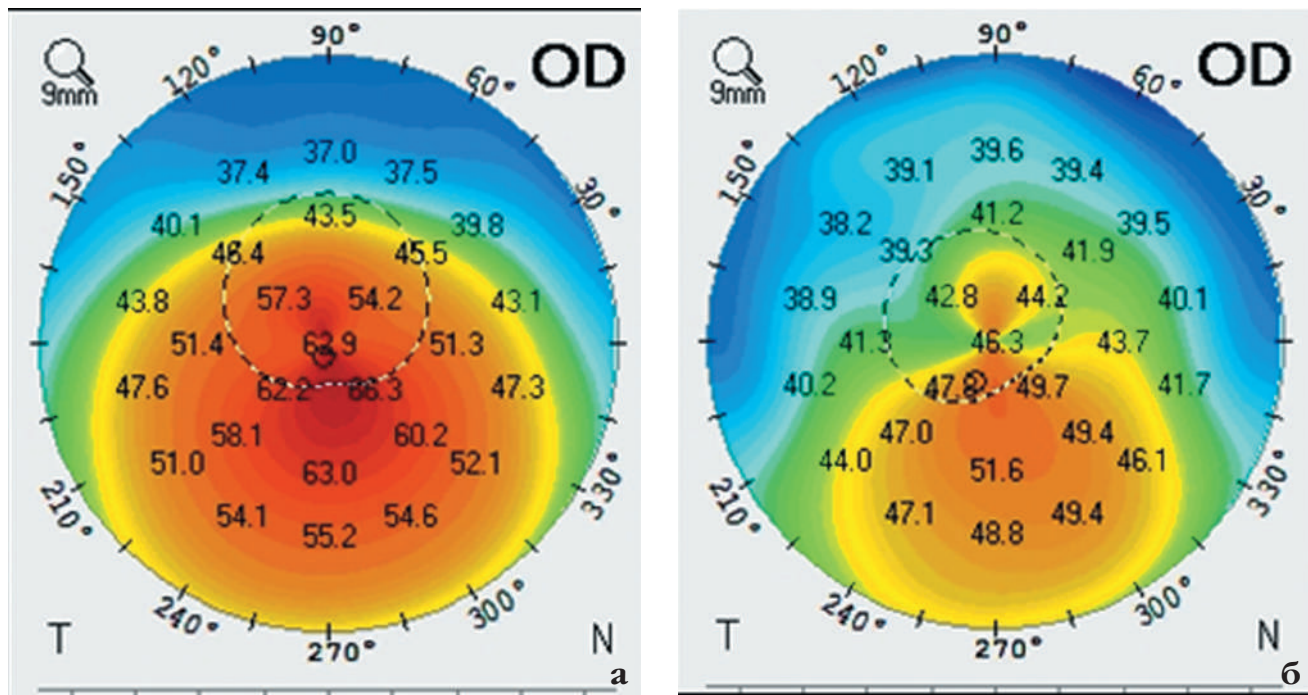


Рис. 5. Кератотопограмма пациента с кератоконусом до хирургического лечения (а) и через 3 года после ФРАК (б)

Fig. 5. Keratotopogram of a patient with keratoconus before surgery (a) and 3 years after FRAK (б)

достовверные различия между до- и послеоперационными данными отсутствовали ( $p > 0,05$ ).

Из послеоперационных осложнений лишь в 1-м случае (4,1%) на сроке 4 месяца наблюдался кератит с локальным истончением в зоне рубца, что временно привело к снижению скорректированной остроты зрения на 2 строчки. На фоне консервативного лечения отмечалась положительная динамика с полным восстановлением функций.

В течение периода наблюдения 36 месяцев у всех пациентов кератэктатический процесс оставался стабилизированным.

## ОБСУЖДЕНИЕ

Широкое распространение фемтоассистированной хирургии в последнее десятилетие привело группу специалистов к разработке метода ремоделирования собственной роговицы пациентов с далеко зашедшим кератоконусом, который получил название ФРАК – фемтолазерная рефракционная аутокератопластика [4]. Изначально ФРАК показала положительные результаты при 3-й и 4-й стадиях заболевания.

Данная технология привлекла внимание исследователей Калужского филиала МНТК, которые модифицировали и персонифицировали ее, сделав применимой

и при начальных стадиях кератоконуса с учетом индивидуальных параметров кератэктатированной роговицы [8, 9], и определили подходящую (релевантную) для проведения ФРАК группу пациентов.

Результаты модифицированной методики ФРАК в сроки наблюдения до 12 месяцев, до снятия швов, показали повышение МКОЗ и НКОЗ, изменение показателей роговицы (кератометрии, радиуса кривизны передней и задней поверхностей) в связи с ремоделированием роговицы, изменением ее профиля. После снятия швовой фиксации отмечались умеренный миопический сдвиг рефракции в пределах 2 дптр, увеличение кератометрических показателей в среднем на 2 дптр. В последующем данные показатели оставались стабильными на всем сроке наблюдения, в том числе и показатели пахиметрии, что свидетельствовало о стабильном состоянии роговицы [10].

В данной работе нами был проведен анализ клинико-функциональных результатов модифицированной методики ФРАК у пациентов с 2-й стадией кератоконуса в сроки наблюдения 36 месяцев.

За аналогичный период наблюдения в 2019 г. Г.В. Ситник и соавт. были опубликованы полученные ими результаты ФРАК [11]. Авторы включили в исследование 40 пациентов с 4-й стадией и 5 пациентов с 3-й стадией кератоконуса. К концу 3-летнего срока наблюдения средние значения МКОЗ составили  $0,4 \pm 0,18$ , цилиндри-



ческого компонента рефракции –  $4,8 \pm 1,9$ ,  $K_{cr}$  –  $53,7 \pm 3,9$ . В 37 (82,2%) случаях авторы расценили полученный результат лечения как хороший или удовлетворительный (достигнутая НКОЗ удовлетворяла пациентов). В 8 (17,8%) случаях отдаленные результаты были неудовлетворительными: у 2 пациентов с 4-й стадией произошло прогрессирование, в связи с чем была рекомендована пересадка роговицы, и в 6 случаях полученная НКОЗ была оценена как неудовлетворительная.

В настоящей работе стадия заболевания у пациентов, вошедших в исследования, была 2-й, проведенная им хирургия была направлена на моделирование профиля роговицы, приближенного к физиологичному, с учетом индивидуальных параметров эктазированной роговицы. Полученные результаты характеризуются повышением остроты зрения, улучшением показателей рефракции и кератометрии. Так, к концу 3-летнего периода наблюдения МКОЗ составила  $0,46 \pm 0,08$ , цилиндрический компонент рефракции –  $-2,1 \pm 0,75$ ,  $K_{cr}$  –  $50,79 \pm 1,00$ . В группе из 24 пациентов все были удовлетворены достигнутой остротой зрения, прогрессирования кератоконуса не было отмечено ни в одном случае.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведение персонализированной ФРАК по показаниям обеспечивает повышение корригированной остроты зрения уже в раннем послеоперационном периоде с тенденцией к дальнейшему повышению в среднем до  $0,46 \pm 0,08$  к 36 месяцам после операции, а также стабильное состояние эктатического процесса на всем сроке наблюдения, что позволяет избежать пересадки роговицы.

Анализ клинко-функциональных результатов модифицированной методики ФРАК при топографически центрально расположенном кератоконусе показал, что данная технология обеспечивает стабильный рефракционный эффект у пациентов со 2-й стадией кератоконуса в течение периода наблюдения 36 месяцев.

Модифицированная технология ФРАК эффективна и может успешно применяться на ранних стадиях кератоконуса в случаях с исходной низкой остротой зрения и осевой миопией.

## ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

1. Santodomingo-Rubido J, Carracedo G, Suzaki A, Villa-Collar C, Vincent SJ, Wolffsohn JS. Keratoconus: An updated review. Cont Lens Anterior Eye. 2022;3: 101559. doi: 10.1016/j.clae.2021.101559
2. Hamon L, Schl tzer-Schrehardt U, Flockerzi FA, Seitz B, Daas L. Morphological characterization and clinical effects of stromal alterations after intracorneal ring segment implantation in keratoconus. Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol. 2022; 2. doi: 10.1007/s00417-022-05572-2
3. Drzyzga L, Wygledowska-Promienska D, Piotrowska-Gwozd A, Gosciniwicz P, Mrukwa-Kominek E. The use of intrastromal corneal ring segments in patients with myopia and keratoconus. Klin Oczna. 2016;118(1): 72–77.

4. Ситник Г.В., Слонимский А.Ю., Слонимский Ю.Б. Фемтолазерная рефракционная аутокератопластика: первые результаты и перспективы. Офтальмология. 2015;12(3): 22–29. [Sitnik HV, Slonimsky AYU, Slonimsky YUB. Femtolaser refractive autokeratoplasty: first results and prospects. Ophthalmology in Russia. 2015;12(3): 22–29. (In Russ.)]. doi: 10.18008/1816-5095-2015-3-22-29
5. Терещенко А.В., Трифаненкова И.Г., Демьянченко С.К., Ерохина Е.В., Тимофеев М.А., Головач Н.А., Вишнякова Е.Н. Фемтолазерная рефракционная аутокератопластика – персонализированный подход. Известия Российской Военно-медицинской академии. 2018;2(37): 77–80. [Tereshchenko AV, Trifanenkova IG, Dem'yanchenko SK, Yerokhina YeV, Timofeyev MA, Golovach NA, Vishnyakova YeN. Femtolaser refractive autokeratoplasty is a personalized approach. Proceedings of the Russian Military Academy. 2018;2(37): 77–80. (In Russ.)]
6. Терещенко А.В., Трифаненкова И.Г., Демьянченко С.К., Головач Н.А., Вишнякова Е.Н., Ерохина Е.В., Тимофеев М.А. Фемтолазерная рефракционная аутокератопластика «ФРАК» – опыт клинического применения. Практическая медицина. 2018;3(114): 182–186. [Tereshchenko AV, Trifanenkova IG, Dem'yanchenko SK, Golovach NA, Vishnyakova YeN, Yerokhina YeV, Timofeyev MA. Femtolaser refractive autokeratoplasty «FRAK» – clinical application experience. Practical Medicine. 2018;3(114): 182–186. (In Russ.)]
7. Amsler M. La notion du keratocone. Bull Soc Franc Ophthalmol. 1951;2(64): 272–275. (In Fr.)
8. Терещенко А.В., Трифаненкова И.Г., Демьянченко С.К., Головач Н.А., Вишнякова Е.Н., Ерохина Е.В., Тимофеев М.А. Фемтолазерная рефракционная аутокератопластика при кератоконусе – первый опыт. Современные технологии в офтальмологии. 2017;7(20): 95–97. [Tereshchenko AV, Trifanenkova IG, Dem'yanchenko SK, Golovach NA, Vishnyakova YeN, Yerokhina YeV, Timofeyev MA. Femtolaser refractive autokeratoplasty in keratoconus is the first experience. Modern technologies in ophthalmology. 2017;7(20): 95–97. (In Russ.)]
9. Тимофеев М.А., Терещенко А.В., Демьянченко С.К. Математическое моделирование в хирургическом лечении кератоконуса методом фемтолазерной рефракционной аутокератопластики. Современные технологии в офтальмологии. 2018;4(24): 239–241. [Timofeyev MA, Tereshchenko AV, Dem'yanchenko SK. Mathematical modeling in the surgical treatment of keratoconus by femtolaser refractive autokeratoplasty. Modern technologies in ophthalmology. 2018;4(24): 239–241. (In Russ.)]
10. Клинико-функциональные результаты фемтолазерной рефракционной аутокератопластики с использованием персонализированной математической модели в хирургическом лечении кератоконуса. Точка зрения: Восток – Запад. 2019;1: 20–22. [Clinical and functional results of femtolaser refractive autokeratoplasty using a personalized mathematical model in the surgical treatment of keratoconus. Point of View: East – West. 2019;1: 20–22. (In Russ.)]. doi: 10.25276/2410-1257-2019-1-20-22
11. Ситник Г.В., Слонимский А.Ю., Слонимский Ю.Б., Имшенецкая Т.А. Фемтолазерная рефракционная аутокератопластика в лечении далекозашедших стадий кератоконуса (трехлетние результаты). Вестник офтальмологии. 2019;135(1): 28–35. [Sitnik GV, Slonimskii AYU, Slonimskiy YUB, Imshenetskaya TA. Femtolaser-assisted refractive autokeratoplasty in the management of advanced keratoconus (three-years outcomes). The Russian Annals of Ophthalmology. 2019;135(1): 28–35. (In Russ.)]. doi: 10.17116/oftalma201913501128

### Информация об авторах

**Александр Владимирович Терещенко**, д.м.н., klg@eye-kaluga.com, <https://orcid.org/0000-0002-0840-2675>

**Максим Александрович Тимофеев**, врач-офтальмолог, tim.m.a@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2933-2618>

**Ирина Георгиевна Трифаненкова**, д.м.н., nauka@mntk.kaluga.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9202-5181>

**Сергей Константинович Демьянченко**, к.м.н., demyan.78@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0839-2876>

### Information about the authors

**Aleksandr N. Tereshchenko**, Doctor of Sciences in Medicine, klg@eye-kaluga.com, <https://orcid.org/0000-0002-0840-2675>

**Maksim A. Timofeev**, Ophthalmologist, tim.m.a@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2933-2618>

**Irina G. Trifanenkova**, Doctor of Sciences in Medicine, nauka@mntk.kaluga.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9202-5181>

**Sergei K. Demyanchenko**, PhD in Medicine, demyan.78@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0839-2876>

**Вклад авторов в работу:**

**А.Н. Терещенко:** существенный вклад в концепцию и дизайн работы, сбор, анализ и обработка материала, редактирование, окончательное утверждение версии, подлежащей публикации.

**М.А. Тимофеев:** сбор, анализ и обработка материала, статистическая обработка данных, написание текста.

**И.Г. Трифаненкова:** сбор, анализ и обработка материала, редактирование, окончательное утверждение версии, подлежащей публикации.

**С.К. Демьянченко:** существенный вклад в концепцию и дизайн работы, сбор, анализ и обработка материала, статистическая обработка данных, написание текста.

**Authors' contribution:**

**A.N. Tereshchenko:** significant contribution to the concept and design of the work, collection, analysis and processing of material, editing, final approval of the version to be published.

**M.A. Timofeev:** collection, analysis and processing of material, statistical data processing, writing.

**I.G. Trifanenkova:** collection, analysis and processing of material, editing, final approval of the version to be published.

**S.K. Demyanchenko:** significant contribution to the concept and design of the work, collection, analysis and processing of material, statistical data processing, writing.

**Финансирование:** Авторы не получали конкретный грант на это исследование от какого-либо финансирующего агентства в государственном, коммерческом и некоммерческом секторах.

**Согласие пациента на публикацию:** Письменного согласия на публикацию этого материала получено не было. Он не содержит никакой личной идентифицирующей информации.

**Конфликт интересов:** Отсутствует.

**Funding:** The authors have not declared a specific grant for this research from any funding agency in the public, commercial or not-for-profit sectors.

**Patient consent for publication:** No written consent was obtained for the publication of this material. It does not contain any personally identifying information.

**Conflict of interest:** There is no conflict of interest.

*Поступила: 10.02.2023*

*Переработана: 21.03.2023*

*Принята к печати: 15.05.2023*

*Originally received: 10.02.2023*

*Final revision: 21.03.2023*

*Accepted: 15.05.2023*