СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДОВ ДОКОРРЕКЦИИ ОСТАТОЧНЫХ АНОМАЛИЙ РЕФРАКЦИИ ПОСЛЕ РОГОВИЧНОЙ ЛЕНТИКУЛЯРНОЙ ХИРУРГИИ

Муртазалиева П.К.[1], Уянаева А.А.* [2], Костенев С.В.[2]
[1] *ФГБОУ ВО «Дагестанский государственный медицинский университет», Махачкала*
[2] *ФГАУ НМИЦ «МНТК «Микрохирургия глаза» им. академика С.Н. Федорова», Москва*

DOI: 10.25881/20728255_2026_21_4_63

Резюме. Актуальность: роговичная лентикулярная экстракция (РЛХ) является одной из наиболее современных и перспективных рефракционных методик, получившей широкое распространение в клинической практике за последнее десятилетие. Основными факторами риска развития остаточной рефракционной ошибки после РЛХ являются: возраст пациента старше 35 лет, высокая предоперационная сферическая ошибка более – 6,0 дптр, астигматизм более –3,0 дптр, а также потеря вакуума во время операции. Существует три основных метода докоррекции после РЛХ: поверхностная абляция фоторефракционной кератэктомией (ФРК), конверсия кэпа в лоскут с использованием технологии CIRCLE (Zeiss, Германия) и Femto- LASIK с созданием тонкого лоскута.

Цель исследования: провести сравнительный анализ эффективности и безопасности трёх методов докоррекции остаточных аномалий рефракции у пациентов после роговичной лентикулярной хирургии: фоторефракционной кератэктомии, фемтосекундного LASIK (Femto-LASIK) с созданием тонкого лоскута и конверсии кэпа в лоскут с использованием программного обеспечения CIRCLE.

Материал и методы: в проспективном сравнительном исследовании приняли участие 90 пациентов (180 глаз) с остаточными аномалиями рефракции после РЛХ. Пациенты были разделены на три группы: группа ФРК (n = 30), группа Femto-LASIK (n = 30) и группа CIRCLE (n = 30). Оценка включала определение некорригированной (НКОЗ) и корригированной (КОЗ) остроты зрения, рефрактометрию, кератометрию, а также биомеханические параметры роговицы с использованием Corvis ST.

Результаты: через 12 месяцев после докоррекции наилучшие показатели НКОЗ зарегистрированы в группе CIRCLE (0,99±0,02) и Femto-LASIK (0,98±0,1), статистически значимо превышая показатели группы ФРК (0,92±0,07) (p<0,05). Показатели биомеханических параметров роговицы (корнеальный гистерезис и корнеальный резистентный фактор) оказались наиболее сохранёнными в группе Femto-LASIK (CH: 8,02±1,49 мм рт. ст.; CRF: 8,01±1,16 мм рт. ст.).

Заключение: все три метода докоррекции обеспечивают высокую эффективность и безопасность. Выбор метода должен определяться индивидуальными особенностями пациента, толщиной кэпа и предпочтениями хирурга. CIRCLE и Femto-LASIK обеспечивают более быстрое восстановление зрения, тогда как ФРК остаётся предпочтительной при тонких кэпа и желании пациента сохранить бесклапанный подход.

Ключевые слова: докоррекция, SMILE, ФРК, Femto-LASIK, CIRCLE.

COMPARATIVE ANALYSIS OF METHODS OF FINAL CORRECTION OF RESIDUAL REFRACTIVE ANOMALIES AFTER CORNEAL LENTICULAR SURGERY

Murtazalieva P.K.[1], Uyanaeva A.A.* [2], Kostenev S.V.[2]
[1] *Dagestan State Medical University Federal State Institution, Dagestan*
[2] *The S. Fyodorov Eye Microsurgery Federal State Institution, Moscow*

Abstract. Background: Corneal lenticular extraction (CLE) is one of the most modern and promising refractive techniques, widely used in clinical practice over the past decade. The main risk factors for residual refractive error after CLE are: patient age over 35 years, high preoperative spherical error greater than -6.0 D, astigmatism greater than -3.0 D, and loss of vacuum during surgery. There are three main methods of post-CLE correction: surface ablation (PRK), cap-to-flap conversion using CIRCLE technology (Zeiss, Germany), and thin-flap femtosecond LASIK.

Purpose: To conduct a comparative analysis of the efficacy and safety of three methods for additional correction of residual refractive errors in patients after corneal lenticular surgery: photorefractive keratectomy (PRK), thin-flap femtosecond LASIK (Femto-LASIK), and cap-to-flap conversion using CIRCLE software.

Material and methods: A total of 90 patients (180 eyes) with residual refractive errors after CLS participated in a prospective comparative study. Patients were divided into three groups: PRK group (n = 30), Femto-LASIK group (n = 30), and CIRCLE group (n = 30). The evaluation included determination of uncorrected (UCVA) and corrected (BCVA) visual acuity, refractometry, keratometry, and biomechanical parameters of the cornea using Corvis ST.

Results: Twelve months after additional correction, the best UCVA values were recorded in the CIRCLE (0.99±0.02) and Femto-LASIK (0.98±0.1) groups, statistically significantly exceeding the values of the PRK group (0.92±0.07) (p<0.05). The indicators of corneal biomechanical parameters (corneal hysteresis and corneal resistance factor) were best preserved in the Femto-LASIK group (CH: 8.02±1.49 mmHg; CRF: 8.01±1.16 mmHg).

Conclusion: All three additional correction methods provide high efficiency and safety. The choice of method should be determined by the individual characteristics of the patient, the thickness of the tray and the preferences of the surgeon. CIRCLE and Femto-LASIK provide faster vision recovery, while PRK remains preferred for thin aligners and the patient's desire to maintain a valveless approach.

Keywords: follow-up correction, SMILE, PRK, Femto-LASIK, CIRCLE.

Актуальность

Роговичная лентикулярная экстракция (РЛХ) является одной из наиболее современных и перспективных рефракционных методик, получившей широкое распространение в клинической практике за последнее десятилетие. Согласно данным литературы, частота необходимости повторного лечения после операции РЛХ составляет от 2,3% до 4,4% в первый год наблюдения, что обусловливает актуальность разработки оптимальных алгоритмов докоррекции остаточных аномалий рефракции [1; 2].

Основными факторами риска развития остаточной рефракционной ошибки после РЛХ являются: возраст пациента старше 35 лет (отношение шансов 5,6), высокая предоперационная сферическая ошибка более – 6,0 дптр (отношение шансов 4,8), астигматизм более – 3,0 дптр (отношение шансов 3,1), а также потеря вакуума во время операции (отношение шансов 2,1) [3]. По данным систематического обзора Liu и соавт. (2017), около 71% всех повторных вмешательств выполняются в первые 12 месяцев после первичной операции, причём 79% из них связаны с гипокоррекцией и 21% – с гиперкоррекцией [3].

* e-mail: aj.laaa@mail.ru

Существует три основных метода докоррекции после РЛХ: поверхностная абляция фоторефракционной кератэктомией (ФРК), конверсия кэпа в лоскут с использованием технологии CIRCLE (Zeiss, Германия) и Femto-LASIK с созданием тонкого лоскута [4; 5]. Каждый из этих методов имеет свои преимущества и ограничения, что определяет необходимость проведения сравнительных исследований для оптимизации выбора тактики ведения таких пациентов.

Фоторефракционная кератэктомия является наиболее изученным методом и позволяет сохранить бесклапанный характер хирургии, однако сопряжена с более длительным периодом восстановления, выраженным болевым синдромом в раннем послеоперационном периоде и риском развития помутнения роговицы (до 2,5% случаев) [6]. Femto-LASIK с созданием тонкого лоскута обеспечивает быстрое восстановление зрения и высокую предсказуемость результатов, однако требует создания дополнительного интерфейса и сопряжён с риском развития интерфейсных осложнений (до 9% в период освоения методики) [7].

Технология CIRCLE, разработанная компанией Carl Zeiss Meditec, позволяет преобразовать кэп, сформированный при первичной операции SMILE, в лоскут LASIK с помощью фемтосекундного лазера VisuMax [8; 9]. Биомеханические свойства роговицы играют ключевую роль в определении долгосрочной стабильности рефракционного результата и риска развития послеоперационных осложнений. Оценка биомеханических параметров с помощью анализатора Corvis ST позволяет количественно охарактеризовать изменения, происходящие в роговице после различных рефракционных вмешательств [10; 11].

Цель исследования

Целью настоящего исследования является сравнительная оценка функциональных и биомеханических исходов трёх методов докоррекции остаточных аномалий рефракции у пациентов после РЛХ: фоторефракционной кератэктомии, Femto-LASIKa с созданием тонкого лоскута и конверсии кэпа в лоскут по методике CIRCLE.

Материалы и методы

В проспективном сравнительном исследовании приняли участие 90 пациентов (180 глаз) с остаточными аномалиями рефракции после успешно выполненной РЛХ. Все пациенты были оперированы в период с 2022 по 2024 гг. Критериями включения являлись: наличие остаточной миопической рефракционной ошибки от −0,5 до −2,0 дптр и/или астигматизма до −1,0 дптр через 6 и более месяцев после первичной РЛХ; стабильность рефракции (изменение не более 0,5 дптр за последние 3 месяца); толщина роговицы в центре не менее 480 мкм; отсутствие признаков кератэктазии по данным кератотопографии.

Пациенты были распределены в три группы по 30 человек (60 глаз) в каждой:

- Группа 1 (ФРК): пациенты, которым выполнена фоторефракционная кератэктомия;
- Группа 2 (Femto-LASIK): пациенты, которым выполнен фемтосекундный LASIK с тонким лоскутом (100 мкм);
- Группа 3 (CIRCLE): пациенты, которым выполнена конверсия кэпа в лоскут с использованием программного обеспечения CIRCLE (Zeiss) в режиме «Junction up and down».

Методы обследования: определение остроты зрения, рефрактометрия, кератометрия, биомикроскопия, пахиметрия и кератотопография на Pentacam HR, оценка биомеханических параметров роговицы на анализаторе Corvis ST (Oculus).

Операции ФРК выполнялись на эксимерном лазере MEL-90 (Carl Zeiss Meditec). Femto-LASIK – на фемтосекундном лазере VisuMax 500 и эксимерном лазере MEL-90. Конверсия кэпа в лоскут — на VisuMax 500 с использованием CIRCLE.

Послеоперационное наблюдение: 1 день, 7 дней, 1 месяц, 6 месяцев и 12 месяцев. Статистический анализ: IBM SPSS Statistics 26.0, IBM, США) и Microsoft Office Excel 2013 (Microsoft, США). Характер распределения данных определялся при помощи критерия Колмогорова-Смирнова (К). Результаты представлены в виде M±SD, где M (Mean) – среднее арифметическое значение, SD (standard deviation) – стандартное отклонение, для данных, имеющих нормальное распределение.

Результаты

Динамика остроты зрения. В раннем послеоперационном периоде (7 дней) наилучшие показатели НКОЗ зарегистрированы в группе Femto-LASIK (0,50±0,11), что статистически значимо превышало показатели групп ФРК (0,17±0,08) и CIRCLE (0,18±0,10) ($p<0,001$). Через 12 месяцев наилучшие показатели НКОЗ зарегистрированы в группе CIRCLE (0,99±0,02) и Femto-LASIK (0,98±0,1), достоверно превышая показатели группы ФРК (0,92±0,07) ($p<0,05$) (Рис. 1).

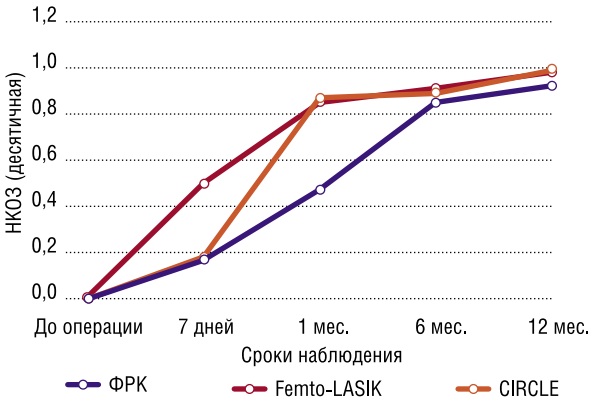


Рис. 1. Динамика некорригированной остроты зрения после докоррекции.

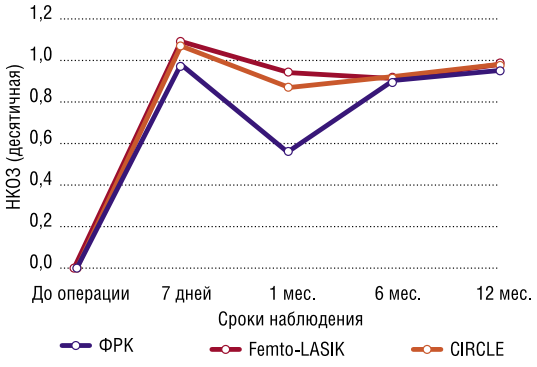


Рис. 2. Динамика корригированной остроты зрения после докоррекции.

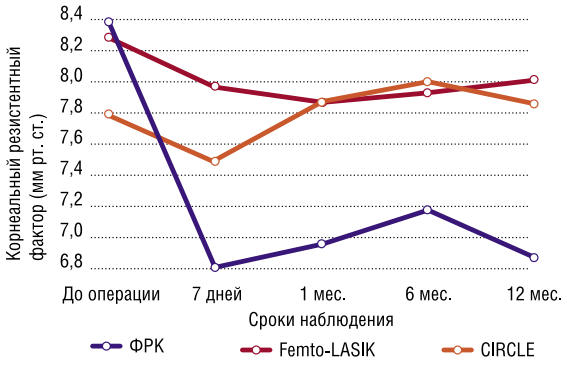


Рис. 5. Динамика корнеального резистентного фактора после докоррекции.

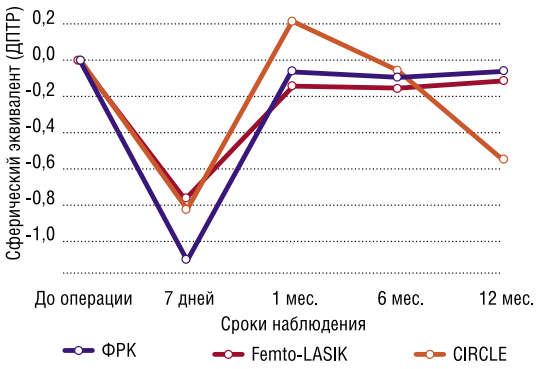


Рис. 3. Динамика сферической рефракции после докоррекции.

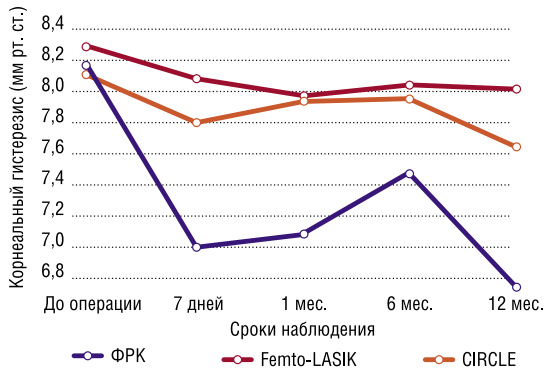


Рис. 6. Динамика корнеального гистерезиса после докоррекции.

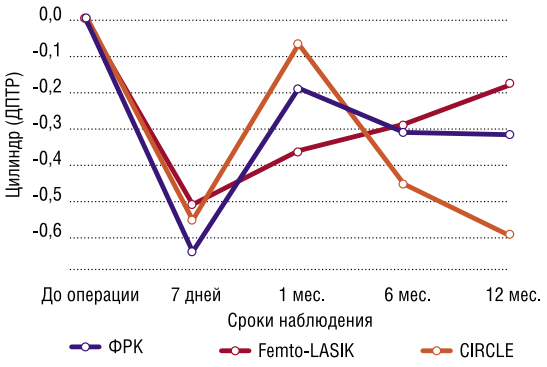


Рис. 4. Динамика астигматизма после докоррекции.

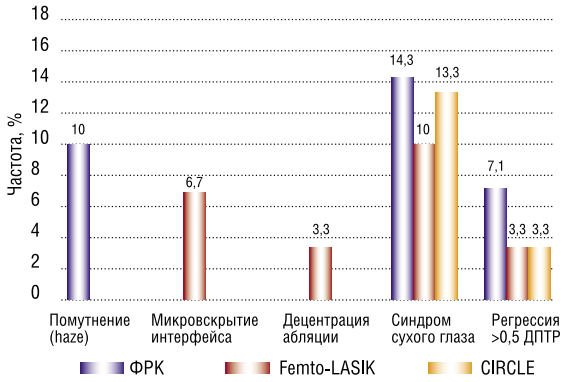


Рис. 7. Частота осложнений различных методов докоррекции.

Показатели КОЗ во всех группах оставались стабильно высокими (0,95–0,99). Снижения КОЗ на 2 и более строк не зарегистрировано ни в одном случае (Рис. 2).

Рефракционные результаты. Конечная рефракция через 12 месяцев: ФРК – –0,06±0,12 дптр, Femto-LASIK – –0,11±0,65 дптр, CIRCLE – –0,33±0,4 дптр. В пределах ±0,5 дптр: 80% (ФРК), 74% (Femto-LASIK), 90,9% (CIRCLE) (Рис. 3, 4).

Биомеханические параметры роговицы. Через 12 месяцев показатели CH и CRF составили: ФРК – 6,73±0,28 и 6,87±0,25 мм рт. ст.; Femto-LASIK – 8,02±1,49 и 8,01±1,16 мм рт. ст.; CIRCLE – 7,65±1,12 и 7,87±1,09 мм рт. ст. Наиболее сохранённые свойства – в группе Femto-LASIK (Рис. 5, 6).

Осложнения

Первая группа (ФРК) – единственная, где зафиксирован «haze» 1–2 степени (10%), что является характерным осложнением поверхностной абляции; в группе Femto-LASIK: «микровскрытие» интерфейса (6,7%) и децентрация абляции (3,3%), связанные с техническими аспектами формирования капа. В третьей группе (CIRCLE) – наименьшее число специфических осложнений. Синдром сухого глаза встречается во всех группах с частотой 10–14,3% без значимых различий. Регрессия >0,5 дптр наиболее часто наблюдается в группе ФРК (7,1%), что коррелирует с ее более низкой стабильностью рефракции (Рис. 7).

Обсуждение

Полученные результаты свидетельствуют о высокой эффективности и безопасности всех трёх методов докоррекции, что согласуется с данными литературы [3; 4; 6; 7]. Показатели НКОЗ через 12 месяцев (0,92–0,99) соответствуют данным систематического обзора Prakash G. и соавт. (2019), согласно которым индекс эффективности составляет от 0,90 до 1,03 [3].

Согласно данным Guo H. и соавт. (2018) SMILE обеспечивает лучшую сохранность биомеханических свойств роговицы по сравнению с LASIK за счёт отсутствия создания лоскута [12]. Наши данные показывают, что ФРК сопряжена с наибольшим снижением биомеханических параметров (ΔCH = −17,4%, ΔCRF = −18,1%), что обусловлено удалением передних слоёв стромы, вносящих наибольший вклад в биомеханическую стабильность роговицы [13].

Femto-LASIK с созданием тонкого лоскута обеспечивает наименьшее дополнительное ослабление (ΔCH = −3,1%, ΔCRF = −3,3%). Результаты в группе CIRCLE занимают промежуточное положение (ΔCH = −5,4%, ΔCRF = +0,9%), что объясняется особенностями формирования CIRCLE-лоскута [9; 10].

Выбор оптимального метода должен основываться на комплексной оценке клинической ситуации. При тонких кэпах (100–120 мкм) предпочтительна ФРК или CIRCLE, тогда как при толстых кэпах (≥130 мкм) оптимальным является Femto-LASIK с тонким лоскутом [3; 14; 15]. CIRCLE обеспечивает быстрое восстановление и высокую точность, однако требует наличия соответствующего оборудования [9; 10]. Femto-LASIK с созданием тонкого лоскута представляет собой компромиссный вариант с оптимальным соотношением эффективности, безопасности и биомеханической сохранности [7].

Заключение

Все три метода докоррекции (ФРК, Femto-LASIK и CIRCLE) обеспечивают высокую эффективность и безопасность у пациентов с остаточными аномалиями рефракции после РЛХ. Наилучшие показатели некорригированной остроты зрения через 12 месяцев достигнуты при использовании методов CIRCLE (0,99±0,01) и Femto-LASIK (0,98±0,02), достоверно превышая показатели ФРК (0,92±0,05) ($p<0,05$). Наиболее сохранённые биомеханические свойства роговицы зафиксированы в группе Femto-LASIK: CH = 8,02±0,15 мм рт. ст., CRF = 8,01±0,18 мм рт. ст. ФРК сопряжена с наибольшим снижением биомеханических параметров роговицы (ΔCH = −17,4%, ΔCRF = −18,1%), что необходимо учитывать при выборе метода докоррекции. Выбор оптимального метода докоррекции должен определяться индивидуальными особенностями пациента, толщиной кэпа, предпочтениями хирурга и техническими возможностями:

- При тонких кэпах (100–120 мкм): рекомендуется ФРК или CIRCLE;
- При толстых кэпах (≥130 мкм): оптимален Femto-LASIK с созданием тонкого лоскута над интерфейсом SMILE;
- При приоритете быстрого восстановления: предпочтительны CIRCLE или Femto-LASIK;
- При желании пациента сохранить бесклапанный подход: показана ФРК.

Все методы докоррекции характеризуются низкой частотой осложнений и могут быть рекомендованы для клинического применения при условии тщательного предоперационного обследования.

Источник финансирования. Исследование финансируется из бюджета ФГАУ «МНТК «Микрохирургия глаза» имени академика С.Н. Федорова» Минздрава России.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов (The authors declare no conflict of interest).

ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

1. Blum M, Täubig K, Gruhn C, et al. Ten-year results of photorefractive keratectomy for myopia. J Cataract Refract Surg. 2020; 46(2): 298-305. doi: 10.1016/j.jcrs.2019.10.024.
2. Zhang Y, Shen Q, Jia Y, et al. Clinical outcomes of SMILE and FS-LASIK for myopia: a meta-analysis. BMC Ophthalmol. 2021; 21(1): 45. doi: 10.1186/s12886-021-02023-4.
3. Liu YC, Rosman M, Mehta JS. Enhancement Options After Myopic Small-Incision Lenticule Extraction: A Systematic Review. Asia Pac J Ophthalmol (Phila). 2019; 8(6): 486-496. doi: 10.1097/APO.0000000000000264.
4. Siedlecki J, Luft N, Priglinger SG, et al. CIRCLE Enhancement After Myopic SMILE. J Refract Surg. 2018; 34(5): 304-309. doi: 10.3928/1081597X-20180308-02.
5. Asif MI, Gode V, Mehta A. Complications of small incision lenticule extraction. Indian J Ophthalmol. 2020; 68(12): 2775-2788. doi: 10.4103/ijo.IJO_2999_19.
6. Chen S, Feng Y, Stojanovic A, et al. Clinical outcomes after photorefractive keratectomy enhancement after SMILE. J Refract Surg. 2019; 35(6): 365-371. doi: 10.3928/1081597X-20190430-01.
7. Reinstein DZ, Pradhan KR, Carp GI, et al. LASIK Enhancement After SMILE: Biomechanical Properties of the Cornea. J Refract Surg. 2018; 34(5): 303-310. doi: 10.3928/1081597X-20180308-02.
8. Татанова О.Ю., Сорокин Е.Л., Дутчин И.В. Сравнительный анализ ближайших функциональных результатов при хирургической коррекции миопии различных степеней методиками SMILE и FemtoLASIK // Современные технологии в офтальмологии. – 2019. – №5. – С.236-240. [Tatanova OYu, Sorokin EL, Dutchin IV. Comparative analysis of the immediate functional results in surgical correction of myopia of various degrees using SMILE and FemtoLASIK techniques. Modern technologies in ophthalmology. 2019; 5: 236-240. (In Russ.)] doi: 10.25276/2312-4911- 2019-5-236-240.
9. Frey A, Kohnen T. Cap-to-Flap as a SMILE Enhancement Technique. Cataract Refract Surg Today. 2023.
10. Riau AK, Htoon HM, Alió Del Barrio JL, et al. Comparison of label-free methods for differentiating human donor corneal stromal beds after SMILE and LASIK. PLoS One. 2017; 12(10): e0186735. doi: 10.1371/journal.pone.0186735.
11. Wang D, Liu M, Chen Y, et al. Changes in corneal biomechanics after refractive surgery using Corvis ST. Pak Armed Forces Med J. 2020; 70(2): 466-472.
12. Guo H, Huseynli S, Fraunfelder FW, et al. Comparison of corneal biomechanics after SMILE and LASIK. Expert Rev Ophthalmol. 2018; 13(6): 331-338.
13. Sinha Roy A, Dupps WJ. Patient-specific finite element analysis of corneal biomechanical impact of laser in situ keratomileusis. J Cataract Refract Surg. 2019; 45(8): 1105-1114.
14. Kohnen T. Enhancing ReLEx SMILE. Cataract Refract Surg Today Europe. 2015; Jan: 22-25.
15. Wang K, Sun Y, Li Y, et al. Enhancement using CIRCLE software combined with Topo-LASIK after myopic SMILE. Int J Ophthalmol. 2024; 17(1): 206-209. doi: 10.18240/ijo.2024.01.26.