

# РЕФРАКЦИОННАЯ ХИРУРГИЯ ГЛАЗА: СОВРЕМЕННЫЕ ДОСТИЖЕНИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ

## REFRACTIVE EYE SURGERY: MODERN ACHIEVEMENTS AND PERSPECTIVES

**E. Smotrich  
A. Kuznetsova**

*Summary.* Refractive surgery encompasses a range of medical procedures designed to correct refractive errors, which are anomalies in the optical system of the eye that affect its refractive power. In recent years, the field has expanded significantly beyond traditional laser correction techniques, exemplified by laser in situ keratomileusis (LASIK).

Emerging high-technology methodologies, such as small incision lenticule extraction (SMILE), have revolutionized the field by eliminating the need for corneal flap creation and utilizing a single laser system. Concurrently, there has been a resurgence in the application of surface ablation techniques, driven by technological advancements that have enhanced their efficacy and safety profiles.

The spectrum of refractive surgical interventions for presbyopia has also broadened considerably. In addition to novel ablation profiles and intracorneal implants, phakic intraocular lenses have gained prominence. Furthermore, improvements in the safety and effectiveness of lens replacement procedures have expanded the potential for refractive error correction in select patient populations.

Refractive surgical techniques continue to evolve, with several promising avenues of research emerging. These include the application of machine learning and artificial intelligence algorithms for preoperative assessment of patients' refractive status, the implantation of intrastromal lenticules, and the ongoing refinement of intraocular lenses designed to achieve a more physiologically accurate correction of refractive errors.

*Keywords:* refractive surgery, presbyopia, myopia, hyperopia, astigmatism.

**Смотрич Евгения Александровна**

Кандидат медицинских наук,  
Глазная клиника «Точка зрения»  
doctor.smotrich@yandex.ru

**Кузнецова Алина Сергеевна**

Глазная клиника «Точка зрения»  
dockuznetsova@mail.ru

*Аннотация.* Рефракционная хирургия представляет собой совокупность медицинских вмешательств, направленных на коррекцию аномалий рефракции — преломляющей способности оптической системы глаза.

В настоящее время рефракционная хирургия вышла далеко за пределы традиционной лазерной коррекции, воплощением которой является лазерный кератомилез in situ (метод LASIK). Появились новые высокотехнологичные методики, такие как фемтосекундная лазерная экстракция лентикулы (метод SMILE), позволяющие избежать формирования роговичного лоскута и использующие единый лазерный комплекс. Одновременно произошло возрождение популярности методик поверхностной абляции роговицы благодаря технологическим усовершенствованиям.

Спектр методов рефракционной хирургии при пресбиопии также значительно расширился. Наряду с новыми профилями абляции и внутрироговичными сегментами применяются факичные интраокулярные линзы. Повышение безопасности и эффективности замены хрусталика открыли новые возможности коррекции аномалий рефракции у отдельно взятых пациентов.

Методы рефракционной хирургии продолжают развиваться и совершенствоваться. Перспективными направлениями являются использование машинного обучения и искусственного интеллекта для предоперационной оценки рефракционного статуса пациентов, имплантация интрастромальных лентикул, а также совершенствование интраокулярных линз, призванных приблизить к «физиологической коррекции» нарушений рефракции.

*Ключевые слова:* рефракционная хирургия, пресбиопия, близорукость, дальнозоркость, астигматизм.

### Введение

Рефракционная хирургия (РХ) представляет собой совокупность медицинских вмешательств, направленных на исправление аномалий рефракции — преломляющей способности оптической системы глаза, являющихся одной из главных обратимых причин нарушений зрения в мире [1]. Признано, что РХ оказывает существенное позитивное влияние на качество жизни и повседневную активность пациентов, выходящее за рамки простой независимости от очков [2]. Лазерная РХ зарекомендовала себя как чрезвычайно эффективная и безопасная процедура для коррекции аномалий рефракции низкой и средней степени тяжести. Согласно данным, более 99,5 % пациентов достигают полной независимости от очков после таких вмешательств [3].

Результаты исследования, проведенного Управлением по контролю качества пищевых продуктов и лекарственных средств США (FDA), свидетельствуют о том, что в среднем 95 % пациентов удовлетворены проведенным им лечением с использованием методов РХ [4].

Понятие РХ сегодня значительно расширилось, выходя за рамки традиционной «лазерной коррекции зрения». Развитие технологии фемтосекундных лазеров привело к усовершенствованию классического лазерного кератомилеза in situ (LASIK) и появлению процедуры рефракционной экстракции лентикулы через небольшой разрез (SMILE) [5]. Кроме того, арсенал рефракционных вмешательств пополнился новыми типами имплантатов — от внутрироговичных до внутриглазных.

В целом РХ является достаточно безопасным методом медицинского вмешательства. Тем не менее, существуют противопоказания, которые можно разделить на две категории: абсолютные и относительные [6]. К абсолютным противопоказаниям относятся: возраст менее 18 лет, отсутствие рефракционной стабильности, наличие ряда глазных патологий, таких как некоторые дистрофии роговицы, кератоконус, плохо контролируемый синдром «сухого глаза», а также системные заболевания, включая активные аутоиммунные процессы или плохо контролируемый сахарный диабет. К относительным противопоказаниям можно отнести использование некоторых лекарственных препаратов, например амиодарона или изотретиноина, экстремальные значения кератометрии и пахиметрии роговицы, анамнез предшествующих увеитов или глаукомы, беременность и период лактации.

### Методы предоперационной оценки в РХ

В настоящее время существуют и активно совершенствуются различные технологии предоперационной оценки и визуализации с целью более тщательного отбора пациентов для оперативного вмешательства.

Методы РХ подразделяют на две основные категории: кераторефракционную и основанную на имплантации интраокулярных линз (ИОЛ). Эти методы могут применяться в комбинации для устранения сложных рефракционных нарушений. Кераторефракционная хирургия заключается в изменении формы роговичной поверхности, в то время как при ИОЛ в оптическую систему глаза имплантируется искусственная линза. В зависимости от планируемого метода РХ применяются разные способы предоперационного анализа.

Для оценки состояния оптики глаза используются такие методики, как топография роговицы и измерение волнового фронта. Эти диагностические исследования традиционно проводятся на предоперационном этапе при планировании рефракционных вмешательств. Системы компьютерной кератотопографии кривизны, основанные на принципе колец Пласидо являются ценными инструментами для оценки изгиба роговицы и рефракционного статуса, но не обеспечивают получения непосредственного изображения ее реальной формы. Томография роговицы по Шаймпфлюгу, напротив, представляет собой метод трехмерной визуализации, который позволяет охарактеризовать передние и задние поверхности роговицы, а также распределение ее толщины [7]. К другим современным методам оценки топографии роговицы можно отнести высокоразрешающую оптическую когерентную томографию [8].

Аберрометрия и анализ волнового фронта — методы диагностики, которые позволяют определить имеющиеся в зрительной системе человека оптические искаже-

ния (абберации), как низших (близорукость, дальнозоркость и астигматизм), так и высших порядков. Данные аберрометрии могут использоваться для создания индивидуальных профилей абляции, которые направлены на коррекцию рефракции и аббераций более высокого порядка [9].

Для оценки морфометрических показателей роговицы, а также оптической плотности хрусталика активно применяются объективные и надежные методы денситометрии, такие как визуализация с использованием Шеймпфлюг-камеры [10].

В последние годы в медицину активно проникают технологии искусственного интеллекта и машинного обучения. Многослойные нейронные сети, особенно свёрточного типа, достигли впечатляющих результатов в классификации изображений во многих медицинских областях. Аналогичные технологии уже много лет исследуются в РХ, например, в диагностике кератоконуса [11]. Другой задачей РХ, которую можно решать с помощью методов машинного обучения является расчет оптической силы интраокулярной линзы, взамен использования стандартных формул [12].

В целом предоперационная оценка имеет важное значение для исключения любых противопоказаний, связанных с состоянием роговицы. Особенно критичным является выявление признаков субклинического кератоконуса, поскольку это позволяет предотвратить развитие ятрогенной послеоперационной кератэктазии [13].

### Методы кераторефракционной хирургии глаза

Кераторефракционная хирургия, по своей сути, включает в себя лечение нарушений рефракции путем изменения формы роговицы — традиционно с помощью эксимерного лазера, но теперь возможно с использованием только фемтосекундного лазера посредством рефракционной экстракции лентикул. Наиболее распространенной операцией такого типа является лазерный кератомилез *in situ* (метод LASIK) [3]. За последние годы классический метод LASIK был значительно усовершенствован в Femto-LASIK, при котором лоскут (flap) на поверхности роговицы готовится с помощью фемтосекундного лазера [14].

Также вариантом кераторефракционной хирургии является лазерная коррекция пресбиопии — лазерное смешанное зрение (LBV), суть которого заключается в увеличении глубины фокуса для каждого глаза за счет использования оригинального, нелинейного и асферического профиля лазерной абляции. Метод позволяет получить положительные результаты в 95 % случаев [15].

### Экстракция роговичной линтикулы через малый разрез с помощью процедуры SMILE

После внедрения в офтальмологическую практику фемтосекундного лазера была разработана полностью основанная на нем процедура, называемая SMILE. Это минимально инвазивная и популярная в мире методика, которая позволяет корректировать различные нарушения зрения, такие как близорукость и астигматизм. Процедура SMILE выполняется с использованием фемтосекундного лазера, который позволяет изменять форму роговицы. Данный лазер генерирует сверхкороткие импульсы в ближнем инфракрасном диапазоне, аналогично тому, как это происходит при формировании лоскута при проведении LASIK. Высокая пиковая интенсивность лазерного излучения в течение крайне короткого импульса (на уровне фемтосекунд) дает возможность создавать микроскопические одиночные полости (пузырьки), которые в совокупности образуют разрез или плоскость в роговичной ткани, не затрагивая окружающие структуры. Для создания небольшого линзовидного фрагмента роговичной ткани (так называемой линтикулы) внутри роговицы требуется менее 30 секунд работы лазера. После этого хирург извлекает линтикулу через небольшой разрез на внешней части глаза. Таким образом изменяется форма роговицы, позволяя скорректировать имеющуюся рефракционную аномалию. Фемтосекундный лазер создает тонкий разрез непосредственно под поверхностью роговицы, а также небольшое отверстие для извлечения линтикулы. Это практически бесшумная процедура, при которой у пациента не возникает постороннего запаха, а он может оставаться в одной позиции на протяжении всего хирургического вмешательства. SMILE имеет два основных преимущества по сравнению с LASIK: более быстрое восстановление симптомов сухого глаза и лучший контроль сферической аберрации [16].

### Имплантация факичных интраокулярных линз

Факичные интраокулярные линзы (ФИОЛ) — единственный метод терапии для пациентов с высокими степенями близорукости (до  $-25$ – $-30$  диоптрий), дальнозоркости (до  $+15$ – $+20$  диоптрий) или астигматизма (до  $6$ – $8$  диоптрий), а также для тех, кому из-за противопоказаний невозможно проведение лазерной коррекции зрения. ФИОЛ бывают двух видов: переднекамерные и заднекамерные. Имплантация факичных линз по своей сути аналогична коррекции с помощью контактных линз, но с тем отличием, что последние надеваются на роговицу, а факичные линзы имплантируются внутрь глаза — в заднюю или переднюю камеру с сохранением естественного хрусталика. Установка положительной или отрицательной линзы позволяет сфокусировать изображение непосредственно на сетчатке, в отличие от близорукости, когда фокус формируется перед сетчаткой, или дальнозоркости, когда он располагается позади нее [18].

На сегодняшний день наиболее часто применяются заднекамерные модели факичных линз. Эти линзы устанавливаются непосредственно за радужкой, перед хрусталиком, что обеспечивает оптимальные оптические результаты. При необходимости факичные линзы могут быть извлечены из глаза без нарушения его структуры и анатомии, поэтому данное вмешательство считается одним из немногих обратимых методов РХ.

Имплантация факичных линз выполняется через самогерметизирующийся микродоступ размером около  $2$  мм, не требующий наложения швов. Вся процедура занимает  $10$ – $15$  минут без госпитализации пациента. Используется капельная анестезия, которая легко переносится людьми разных возрастов. После операции пациент достаточно быстро возвращается к привычному образу жизни, при этом ограничения минимальны и в основном касаются гигиенических процедур в первое время [17].

### Рефракционная замена хрусталика

Рефракционная замена хрусталика или экстракция прозрачного хрусталика — удаление прозрачного хрусталика и установка ИОЛ, которая заменяет или улучшает рефракционную способность глаза [19]. Операция может быть выполнена у отдельных пациентов, у которых лазерная хирургия роговицы невозможна или не позволяет достичь желаемого результата. Рефракционная замена хрусталика остается спорным вопросом в некоторых клинических практиках, поскольку эндофтальмит может быть более разрушительным по сравнению с риском инфекции роговицы, которая сопутствует кераторефракционной хирургии. Более того, рефракционная замена хрусталика может иметь более высокий риск осложнений, таких как отслоение сетчатки, по сравнению с обычной операцией по удалению катаракты, у пациентов молодого возраста и с выраженной миопией.

Главным преимуществом рефракционной замены хрусталика является то, что любые формы рефракционных нарушений могут быть скорректированы за счет конструкции ИОЛ. В настоящее время широко применяются асферические ИОЛ, поскольку они соответствуют оптическим характеристикам естественного хрусталика и компенсируют положительную сферическую аберрацию роговицы, обеспечивая более четкое зрение при больших размерах зрачка или в условиях слабого освещения.

Данный метод РХ, сочетающий коррекцию рефракционной ошибки с удалением катаракты, идеально подходит для пациентов с высокими степенями близорукости или дальнозоркости, у которых уже началось помутнение хрусталика. В этих случаях рано или поздно встает вопрос об устранении катаракты. Поэтому вполне логич-

но провести оба эти вмешательства за одну операцию, позволяя пациенту восстановить хорошее зрение без необходимости использования очков или линз.

Астигматизм также может быть скорректирован с помощью торических ИОЛ, имеющих различную преломляющую силу в разных меридианах. Однако для оптимальной коррекции астигматизма хирургу необходимо тщательно выставить правильную ориентацию ИОЛ внутри глаза, поскольку каждое смещение на 3 градуса приводит к потере 10 % астигматической коррекции [1].

### Заключение

Область РХ стремительно развивается, и ее невозможно всесторонне описать в данном обзоре, поскольку существует широкий спектр вариантов коррекции рефракционных ошибок. Технологические достижения и инновации в последние года значительно расширили возможности РХ для пациентов. Улучшенная предоперационная диагностика позволяет проводить индивидуальные лазерные абляции для достижения наилучшего качества зрения. Разработки в области предоперационной и интраоперационной оптической когерентной томографии улучшают хирургическое планирование

и точность выполнения разрезов или размещения имплантатов.

Кераторефракционная хирургия в настоящее время признана безопасным и эффективным методом лечения нарушений рефракции глаз, обеспечивающим отличные визуальные результаты, повышение качества жизни и высокую удовлетворенность пациентов. Метод SMILE является минимально инвазивной бесшовной процедурой, которая продолжает совершенствоваться и достигает сопоставимых результатов с традиционным LASIK.

Учитывая новые тенденции, офтальмологам важно знать преимущества и недостатки каждого варианта РХ по сравнению с оптической коррекцией, уделяя особое внимание тщательному и правильному отбору пациентов. В недалеком будущем РХ может управляться искусственным интеллектом, где множественные диагностические инструменты, получая исчерпывающую информацию о глазе, будут помогать хирургу выбирать наилучший метод коррекции для каждого конкретного пациента. Кроме того, ожидается развитие фармакологических методов профилактики и лечения рефракционных нарушений, таких как предотвращение прогрессирования миопии и остановка старения хрусталика при пресбиопии.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Ang M, Gatineau D, Reinstein DZ, et al. Refractive surgery beyond 2020. *Eye*. 2021; 35(2): 362–382. doi:10.1038/s41433-020-1096-5.
2. Sugar A, Hood CT, Mian SI. Patient-Reported Outcomes Following LASIK: Quality of Life in the PROWL Studies. *JAMA*. 2017; 317(2): 204–205. doi:10.1001/jama.2016.19323.
3. Sandoval HP, Donnenfeld ED, Kohner T, et al. Modern laser in situ keratomileusis outcomes. *Journal of Cataract and Refractive Surgery*. 2016; 42(8): 1224–1234. doi:10.1016/j.jcrs.2016.07.012.
4. Eydeman M, Hilmantel G, Tarver ME, et al. Symptoms and satisfaction of patients in the patient-reported outcomes with laser in situ keratomileusis (PROWL) studies. *JAMA ophthalmology*. 2017; 135(1): 13–22. doi:10.1001/jamaophthalmol.2016.4587.
5. Ang M, Mehta JS, Chan C, et al. Refractive lenticule extraction: transition and comparison of 3 surgical techniques. *Journal of Cataract and Refractive Surgery*. 2014; 40(9): 1415–1424. doi:10.1016/j.jcrs.2013.12.026.
6. Ortega-Usobiaga J, Rocha-de-Lossada C, Llovet-Rausell A, Llovet-Osuna F. Update on contraindications in laser corneal refractive surgery. *Archivos De La Sociedad Espanola De Oftalmologia*. 2023; 98(2): 105–111. doi:10.1016/j.oftale.2022.07.003.
7. Mi H, Tan N, Ang M, et al. Comparison of anterior and posterior topographic analysis between 3 imaging systems. *Journal of Cataract and Refractive Surgery*. 2015; 41(11): 2533–2545. doi:10.1016/j.jcrs.2015.05.039.
8. Bouma BE, de Boer JF, Huang D, et al. Optical coherence tomography. *Nature Reviews. Methods Primers*. 2022; 2: 79. doi:10.1038/s43586-022-00162-2.
9. Amigó A, Martínez-Sorribes P, Recuerda M. Refractive Changes Induced by Spherical Aberration in Laser Correction Procedures: An Adaptive Optics Study. *Journal of Refractive Surgery (Thorofare, N.J.)*. 2017; 33(7): 470–474. doi:10.3928/1081597X-20170504-07.
10. Cabot F, Saad A, McAlinden C, et al. Objective assessment of crystalline lens opacity level by measuring ocular light scattering with a double-pass system. *American Journal of Ophthalmology*. 2013; 155(4): 629–635. doi:10.1016/j.ajo.2012.11.005.
11. Yousefi S, Yousefi E, Takahashi H, et al. Keratoconus severity identification using unsupervised machine learning. *PLoS One*. 2018; 13(11): e0205998. doi:10.1371/journal.pone.0205998.
12. Connell BJ, Kane JX. Comparison of the Kane formula with existing formulas for intraocular lens power selection. *BMJ open ophthalmology*. 2019; 4(1): e000251. doi:10.1136/bmjophth-2018-000251.
13. Lin Q, Zheng L, Lin X, Wang Q. Keratectasia after laser-assisted subepithelial keratectomy for myopia. *Medicine*. 2018; 97(12): e0094. doi:10.1097/MD.00000000000010094.
14. Vieira R, Marta A, Abreu AC, et al. Quality of Vision After LASIK, PRK and FemtoLASIK: An Analysis Using the Double Pass Imaging System HD Analyzer™. *Clinical Ophthalmology (Auckland, N.Z.)*. 2022; 16: 3351–3359. doi:10.2147/OPHTH.S373448.
15. Fu D, Aruma A, Xu Y, et al. Refractive outcomes and optical quality of PRESBYOND laser-blended vision for presbyopia correction. *International Journal of Ophthalmology*. 2022; 15(10): 1671–1675. doi:10.18240/ijo.2022.10.16.

16. Moshirfar M, McCaughey MV, Reinstein DZ, et al. Small-incision lenticule extraction. *Journal of Cataract and Refractive Surgery*. 2015; 41(3): 652–665. doi:10.1016/j.jcrs.2015.02.006.
17. Jonker SMR, Berendschot TTJM, Saelens IEY, et al. Phakic intraocular lenses: An overview. *Indian Journal of Ophthalmology*. 2020; 68(12): 2779–2796. doi:10.4103/ijoo.IJO\_2995\_20.
18. Moshirfar M, Webster CR, Ronquillo YC. Phakic intraocular lenses: an update and review for the treatment of myopia and myopic astigmatism in the United States. *Current Opinion in Ophthalmology*. 2022; 33(5): 453–463. doi:10.1097/ICU.0000000000000870.
19. Alio JL, Grzybowski A, El Aswad A, Romaniuk D. Refractive lens exchange. *Survey of Ophthalmology*. 2014; 59(6): 579–598. doi:10.1016/j.survophthal.2014.04.004.

---

© Смотрич Евгения Александровна (doctor.smotrich@yandex.ru); Кузнецова Алина Сергеевна (dockuznetsova@mail.ru)  
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»