УДК: 617.7-089.843

АНАТОМО-ОПТИЧЕСКИЕ ИЗМЕНЕНИЯ РОГОВИЦЫ ПОСЛЕ КЕРАТОРЕФРАКЦИОННЫХ ВМЕШАТЕЛЬСТВ: КРИВИЗНА, АСФЕРИЧНОСТЬ И ЗАДНЯЯ ПОВЕРХНОСТЬ

Мякушкина Руслана Рашидовна – соискатель, офтальмохирург
Юсупов Азамат Фархадович – д.м.н., академик
Гельманова Татяна Ивановна – офтальмохирург
Республиканский специализированный научно-практический медицинский центр микрохирургии глаза (Ташкент, Узбекистан)

Аннотация. *Кераторефракционная хирургия является одним из наиболее распространённых методов коррекции аномалий рефракции и сопровождается выраженными анатомо-оптическими изменениями роговицы. После вмешательств происходит уплощение центральной зоны, трансформация асферичности с переходом от пролатной к облатной форме и изменение геометрии задней поверхности, что формирует новую оптическую модель глаза. Эти изменения влияют на суммарную рефракционную силу глаза и имеют важное значение при планировании хирургии катаракты и расчёте оптической силы интраокулярных линз. Аналитический обзор публикаций из баз PubMed, Scopus и Web of Science показал, что после LASIK и ФРК увеличиваются аберрации высших порядков, прежде всего сферическая аберрация и кома, что может ухудшать качество зрения даже при высокой остроте зрения. Учет данных анатомо-оптических изменений роговицы является необходимым условием повышения точности расчёта ИОЛ и оптимизации результатов лечения пациентов с пострефракционной роговицей.*

Ключевые слова: *кераторефракционная хирургия, роговица, асферичность роговицы, задняя поверхность роговицы, аберрации высших порядков, LASIK, фоторефракционная кератэктомия, интраокулярная линза*

ANATOMICAL AND OPTICAL CHANGES OF THE CORNEA AFTER KERATOREFRACTIVE PROCEDURES: CURVATURE, ASPHERICITY AND POSTERIOR SURFACE

Myakushkina Ruslana Rashidovna – independent researcher, ophthalmic surgeon
Yusupov Azamat Farkhadovich – D.M.Sc., academician
Gelmanova Tatyana Ivanovna – ophthalmic surgeon
Republican Specialized Scientific and Practical Medical Center of Eye Microsurgery (Tashkent, Uzbekistan)

Abstract. *Keratorefractive surgery is one of the most widely used methods for the correction of refractive errors and is accompanied by pronounced anatomical and optical changes of the cornea. After surgical intervention, central corneal flattening, transformation of corneal asphericity from a prolate to an oblate shape, and changes in the geometry of the posterior corneal surface occur, forming a new optical model of the eye. These changes affect the total refractive power of the eye and are of great clinical importance for cataract surgery planning and intraocular lens (IOL) power calculation. An analytical review of publications from PubMed, Scopus, and Web of Science showed that after LASIK and PRK, higher-order aberrations increase, particularly spherical aberration and coma, which may reduce visual quality despite good visual acuity. Consideration of these anatomical and optical corneal changes is essential for improving the accuracy of IOL power calculation and optimizing surgical outcomes in patients with post-refractive corneas.*

Keywords: *keratorefractive surgery, cornea, corneal asphericity, posterior corneal surface, higher-order aberrations, LASIK, photorefractive keratectomy, intraocular lens.*

КЕРАТОРЕФРАКТИВ АРАЛАШУВЛАРДАН КЕЙИН ШОХ ПАРДАНИНГ АНАТОМО-ОПТИК ЎЗГАРИШЛАРИ: ЭГРИЛИК, АСФЕРИКЛИК ВА ОРҚА ЮЗАСИ

Мякушкина Руслана Рашидовна – мустақил изланувчи, офтальмохирург
Юсупов Азамат Фархадович – т.ф.д., академик
Гельманова Татьяна Ивановна – офтальмохирург
Республика ихтисослаштирилган кўз микрохирургияси илмий-амалий тиббиёт маркази (Тошкент, Ўзбекистон)

Аннотация. *Кераторефракцион жарроҳлик рефракция аномалияларини тузатишнинг энг кенг қўлланиладиган усулларидан бири бўлиб, шох парданинг анатомик-оптик параметрларида сезиларли ўзгаришлар келтириб чиқаради. Жарроҳликдан сўнг шох парданинг марказий қисми текисланади, асфериклиги пролат шаклдан облат шаклга ўзгаради ва орқа юзаси геометрияси трансформацияга учрайди, натижада кўзнинг янги оптик модели шаклланади. Бу ўзгаришлар кўзнинг умумий рефракцион кучи шаклланишига таъсир кўрсатиб, катаракта жарроҳлигини режалаштириш ва интраокуляр линза (ИОЛ) қувватини ҳисоблашда муҳим клиник аҳамиятга эга. PubMed, Scopus ва Web of Science базаларидаги адабиётлар таҳлили LASIK ва PRK дан кейин юқори тартибли аберрациялар, айниқса сферик аберрация ва кома ошишини кўрсатди, бу эса кўриш ўткирлиги юқори бўлса ҳам, кўриш сифати пасайишига олиб келиши мумкин. Шунинг учун кераторефракцион жарроҳликдан кейинги шох парданинг анатомик-оптик ўзгаришларини ҳисобга олиш ИОЛ қувватини аниқ ҳисоблаш ва пострефракцион шох пардаси бўлган беморларда жарроҳлик натижаларини оптималлаштиришда муҳим аҳамиятга эга.*

Калит сўзлар: *кераторефрактив жарроҳлик, шох парда, шох парда асфериклиги, шох парданинг орқа юзаси, юқори тартибли аберрациялар, LASIK, фоторефрактив кератэктомия, интраокуляр линза.*

Значимость кераторефракционной хирургии

Кераторефракционная хирургия в последние десятилетия заняла ведущее место в коррекции аномалий рефракции, став одним из наиболее распространённых и социально значимых направлений современной офтальмологии. Методы фотокератэктомии (ФРК), LASIK и радиальной кератотомии позволили миллионам пациентов достичь высокой некорригированной остроты зрения и значительно повысить качество жизни. Высокая предсказуемость рефракционных результатов и относительная безопасность процедур способствовали широкому распространению этих технологий во всём мире [1,6].

Развитие диагностических технологий (Scheimpflug-томография, оптическая когерентная томография, аберрометрия) углубило понимание оптических и биомеханических изменений роговицы после хирургических вмешательств и позволило рассматривать роговицу как сложную многокомпонентную оптическую систему, а не как простую сферическую поверхность [4,6].

Рост числа пациентов с пострефракционной роговицей

Вследствие массового внедрения кераторефракционной хирургии формируется новая клиническая категория пациентов — лица с пострефракционной роговицей, которые со временем достигают возрастных периодов, ассоциированных с развитием катаракты и других дегенеративных заболеваний хрусталика. Таким образом, число пациентов, ранее перенёсших рефракционные вмешательства и нуждающихся в факоэмульсификации с имплантацией интраокулярной линзы (ИОЛ), неуклонно возрастает [6,7].

Эта группа пациентов принципиально отличается от лиц с интактной роговицей, поскольку кераторефракционные вмешательства приводят к стойким изменениям кривизны, асферичности, толщины и оптической силы роговицы, нарушая её физиологическую анатомо-оптическую модель [1,5,6]. Эти изменения формируют новую оптическую конфигурацию глаза, которая не соответствует стандартным биометрическим моделям, используемым в клинической практике [6,7].

Проблема расчёта интраокулярных линз

Расчёт оптической силы ИОЛ у пациентов с пострефракционной роговицей остаётся одной из наиболее сложных задач современной катарактальной хирургии. Стандартные биометрические формулы и кератометрические методы базируются на упрощённых предположениях о геометрии роговицы, включая использование усреднённого кератометрического индекса и измерение только передней поверхности [5,6].

Однако многочисленные исследования показали, что задняя поверхность роговицы, её асферичность и толщина оказывают существенное влияние на реальную оптическую силу, а их игнорирование приводит к систематическим рефракционным ошибкам после имплантации ИОЛ [2,5,6]. Это особенно выражено у пациентов после кераторефракционной хирургии, у которых нарушено физиологическое соотношение между передней и задней поверхностями, а также изменено отношение радиусов кривизны (P/A-ratio) [1,6].

Недостаточность стандартных моделей роговицы

Традиционные модели роговицы рассматривают её как однородную сферическую поверхность с фиксированным показателем преломления, что не отражает её реальной анатомо-оптической структуры [5]. Современные данные свидетельствуют о том, что роговица представляет собой сложную двухповерхностную асферическую систему с индивидуальной геометрией, неоднородным распределением толщины и изменяемой асферичностью [1,4,6].

Игнорирование этих параметров приводит к некорректному расчёту общей оптической силы роговицы, снижению точности биометрии и ошибкам при выборе ИОЛ, особенно у пациентов с модифицированной роговицей после рефракционных вмешательств [6,7]. В связи с этим возникает необходимость перехода от стандартных усреднённых моделей к персонализированным анатомо-оптическим моделям роговицы, ос-

нованным на индивидуальных параметрах кривизны, асферичности, толщины и оптической силы обеих поверхностей [5,6].

Таким образом, формирование научно обоснованной анатомо-оптической модели роговицы, учитывающей изменения её параметров после кераторефракционных вмешательств, является необходимым условием для повышения точности расчёта ИОЛ и разработки персонализированных алгоритмов выбора оптической коррекции у пациентов с пострефракционной роговицей [6,7]

Цель исследования. Провести анализ современных литературных данных, посвящённых изменениям кривизны, асферичности и параметров задней поверхности роговицы после кераторефракционных вмешательств и их влиянию на формирование оптической системы глаза.

1. **Анатомо-оптическая модель роговицы.** Роговица является ключевым элементом оптической системы глаза и обеспечивает до 70–75 % общей преломляющей силы глазного яблока. Её уникальная анатомическая организация, прозрачность и сложная геометрия формируют высокую оптическую эффективность и минимизацию светорассеяния. Современная модель роговицы рассматривает её не как единую преломляющую поверхность, а как сложную многопараметрическую оптическую систему, включающую переднюю и заднюю поверхности, толщину, показатель преломления, асферичность и их вклад в общую оптическую силу [1,5,6].

1.1 Передняя и задняя поверхности роговицы. Оптическая система роговицы формируется двумя анатомически и функционально различными поверхностями — передней (воздух/роговица) и задней (роговица/водянистая влага). Передняя поверхность является основным источником преломления света за счёт высокого градиента показателей преломления между воздухом (n≈1,0) и тканью роговицы (n≈1,376) [5]. Средний радиус кривизны передней поверхности в центральной зоне составляет около 7,7–7,9 мм, тогда как радиус кривизны задней поверхности — около 6,3–6,6 мм [1]. Несмотря на меньший вклад в общую оптическую силу, задняя поверхность оказывает значимое влияние на формирование суммарной рефракции и астигматизма роговицы [2,3]. Показано, что астигматизм задней поверхности в среднем составляет около 0,3 диоптрии и имеет компенсаторный характер по отношению к астигматизму передней поверхности, что делает невозможным точное моделирование оптики роговицы без её учёта [3]. Современные методы томографии (Scheimpflug-системы, OCT-томография) подтверждают, что геометрия задней поверхности не является геометрически пропорциональной передней, а изменяется независимо от неё [4,6].

1.2 Толщина роговицы. Толщина роговицы является важным компонентом её оптической модели. Центральная толщина (CCT) в норме составляет в среднем около 540–560 мкм, с постепенным увеличением к периферии [8]. Толщина роговицы влияет на распределение кривизны поверхностей, биомеханические свойства ткани и оптическую силу, особенно в моделях, учитывающих обе поверхности и реальный показатель преломления [5]. Изменение толщины роговицы, в том числе после хирургических вмешательств, приводит к перераспределению кривизны передней и задней поверхностей и нарушению их физиологического соотношения, что существенно влияет на оптическую систему глаза и точность расчётов рефракционных параметров [6].

1.3 Индекс преломления. Показатель преломления роговицы является фундаментальной физической характеристикой её оптических свойств и составляет в среднем n ≈ 1,376 [5]. Основная доля преломления происходит на передней поверхности за счёт резкого контраста показателей преломления между воздухом и тканью роговицы. Напротив, вклад задней поверхности значительно меньше из-за близости показателей преломления роговицы и водянистой влаги, однако он не является оптически незначимым [2,5]. Использование усреднённого кератометрического индекса без учёта задней поверхности и толщины приводит к систематическим погрешностям в расчёте общей оптической силы роговицы, особенно в глазах с изменённой анатомией после рефракционной хирургии [5,6].

1.4 Асферичность. Асферичность роговицы характеризует отклонение её формы от идеальной сферической геометрии и описывается параметром Q-фактора. В физиологических условиях роговица имеет проконическую (пролатную) форму (Q<0), при которой центральные зоны круче периферических, что способствует снижению сферических аберраций и повышению качества изображения [1]. Передняя и задняя поверхности обладают различной степенью асферичности, причём изменения асферичности задней поверхности могут происходить независимо от передней [1,4]. Асферичность напрямую связана с формированием аберраций высших порядков и является критически важным параметром при моделировании оптической системы глаза и прогнозировании качества зрения [3,6].

1.5 Оптическая сила роговицы

Суммарная оптическая сила роговицы в среднем составляет 43–44 диоптрии, формируя основную часть общей рефракционной силы глаза [5]. Передняя поверхность обеспечивает основную положительную преломляющую силу, тогда как задняя поверхность формирует отрицательный вклад, что приводит к частичной компенсации общей оптической мощности [2,5]. Современные исследования показывают, что ре-

альная оптическая сила роговицы должна рассчитываться с учётом:

- кривизны передней поверхности
- кривизны задней поверхности
- толщины роговицы
- показателя преломления тканей
- асферичности обеих поверхностей [5,6,7]

Игнорирование этих параметров приводит к систематическим ошибкам в биометрии и расчёте интраокулярных линз, особенно у пациентов после кераторефракционной хирургии [6,7].

2. Изменения кривизны, асферичности и задней поверхности роговицы после кераторефракционных вмешательств

2.1 Общие закономерности пострефракционных изменений. Кераторефракционные вмешательства приводят к глубокой трансформации анатомо-оптической модели роговицы, затрагивая её кривизну, асферичность, биомеханику и взаимное соотношение передней и задней поверхностей. В отличие от физиологической роговицы, где сохраняется стабильное соотношение между радиусами кривизны поверхностей и проконическая форма, после рефракционной хирургии формируется новая оптическая конфигурация, не соответствующая стандартным биометрическим моделям [9,10]. Показано, что любые методы лазерной коррекции вызывают плоскостную трансформацию центральной зоны роговицы, сопровождающуюся перераспределением кривизны в парацентральных и периферических отделах, что приводит к изменению пространственного профиля оптической силы [11].

2.2 Изменения кривизны передней поверхности. Основным эффектом кераторефракционной хирургии является уплощение центральной зоны передней поверхности роговицы, величина которого прямо пропорциональна степени коррекции миопии. При этом формируется неравномерное распределение кривизны, характеризующееся относительным уплощением центра и увеличением кривизны в переходной зоне [10,11]. После LASIK и ФРК отмечается формирование облатной геометрии роговицы (Q>0), в отличие от физиологической проконической формы (Q<0), что приводит к росту сферических аберраций и снижению качества изображения [12]. После SMILE изменения кривизны выражены менее резко, однако также сопровождаются изменением профиля передней поверхности и нарушением естественной асферичности [13].

2.3 Изменения асферичности. Асферичность роговицы после кераторефракционных вмешательств претерпевает системные изменения. Формируется переход от проконической к облатной форме, сопровождающийся увеличением положительной сферической аберрации и ростом аберраций высших порядков [12,14]. Показано, что степень изменения Q-фактора коррелирует с объёмом абляции ткани и глубиной вмешательства, что особенно выражено при высокой степени коррекции миопии [11,12]. Эти изменения имеют не только оптическое, но и клиническое значение, проявляясь снижением контрастной чувствительности, появлением гало-эффектов и ухудшением качества сумеречного зрения [14].

2.4 Изменения задней поверхности роговицы. Современные томографические исследования доказали, что кераторефракционная хирургия влияет не только на переднюю, но и на заднюю поверхность роговицы, что ранее недооценивалось в клинических моделях [9,15].

После LASIK, ФРК выявляются:

- изменения радиуса кривизны задней поверхности
- перераспределение её асферичности
- нарушение физиологического соотношения между передней и задней поверхностями (P/A-ratio) [9,15]

Показано, что задняя поверхность демонстрирует независимую геометрическую трансформацию, не пропорциональную изменениям передней поверхности, что делает невозможным её корректное прогнозирование по данным стандартной кератометрии [9,15].

Эти изменения приводят к систематическим ошибкам в расчёте общей оптической силы роговицы при использовании традиционных моделей и стандартного кератометрического индекса [10,15].

2.5 Формирование новой оптической модели роговицы

Таким образом, после кераторефракционной хирургии формируется качественно новая анатомо-оптическая модель роговицы, характеризующаяся:

- нарушением физиологического соотношения кривизны поверхностей
- изменением асферичности
- трансформацией профиля оптической силы
- изменением вклада задней поверхности в общую рефракцию
- ростом аберраций высших порядков [9–15]

Эта модель принципиально отличается от физиологической и не может быть адекватно описана стандартными биометрическими подходами, что формирует фундаментальную основу для ошибок расчёта ИОЛ у пациентов с пострефракционной роговицей [10,15].

Основные изменения анатомо-оптических параметров роговицы после кераторефракционных вмешательств представлены в таблице 1.

Таблица 1.

Основные изменения анатомо-оптических параметров роговицы после кераторефракционных вмешательств (LASIK, ФРК)

Параметр	Физиологическая роговица	После LASIK / ФРК	Клиническое значение
Кривизна передней поверхности	Радиус ~7,7–7,9 мм	Уплощение центральной зоны, увеличение кривизны в парацентральной области	Изменение распределения оптической силы роговицы
Асферичность (Q-фактор)	Отрицательный (Q<0), пролатная форма	Положительный (Q>0), формирование облатной геометрии	Рост сферической аберрации
Профиль оптической силы	Равномерное распределение	Центр уплощается, периферия относительно круче	Нарушение фокусировки лучей
Задняя поверхность роговицы	Стабильная геометрия	Независимые изменения радиуса кривизны и асферичности	Ошибки стандартной кератометрии
Соотношение передней и задней поверхности (P/A ratio)	Стабильное	Нарушается после абляции	Снижение точности расчёта ИОЛ
Аберрации высших порядков (HOA)	Низкий уровень	Увеличение HOA, особенно сферической аберрации и комы	Снижение качества изображения
Сферическая аберрация	Близка к нулю	Увеличение положительной сферической аберрации	Гало, блики, ухудшение сумеречного зрения

Источник: составлено по данным [9–15,17,22].

3 Изменения асферичности (Q-фактор)

3.1 Переход от пролатной к облатной форме

В физиологических условиях роговица человека имеет преимущественно пролатную форму, характеризующуюся отрицательным значением Q-фактора (Q<0), при которой центральные зоны более крутые по сравнению с периферическими. Такая геометрия обеспечивает оптимальное распределение преломляющей силы и минимизацию сферических аберраций [1,12]. После кераторефракционных вмешательств происходит системная трансформация геометрии роговицы с формированием облатного профиля (Q>0), обусловленного центральным уплощением и относительным увеличением кривизны в парацентральных и периферических зонах [12,14,16]. Степень перехода от пролатной к облатной форме прямо коррелирует с объёмом абляции ткани, глубиной вмешательства и величиной коррекции миопии [11,12]. После LASIK и ФРК этот переход выражен более значительно, чем после SMILE, что связано с различиями в биомеханическом воздействии на передние слои роговицы и характере ремоделирования стромы [13,16]. Однако даже при минимально инвазивных технологиях сохраняется тенденция к нарушению физиологической асферичности и формированию новой оптической геометрии роговицы [13].

3.2 Влияние на сферические аберрации. Изменение асферичности роговицы сопровождается ростом положительной сферической аберрации, что является одним из ключевых оптических последствий кераторефракционной хирургии [12,14,17]. Переход к облатной форме приводит к усилению периферического преломления по сравнению с центральными зонами, что нарушает фокусировку световых лучей и снижает качество изображения на сетчатке [14,17]. Экспериментальные и клинические исследования показали прямую корреляцию между изменением Q-фактора и увеличением аберраций высших порядков, включая сферическую аберрацию и кому [12,17]. Эти изменения носят стойкий характер и сохраняются в отдалённые сроки после хирургического вмешательства [16,17].

Рост сферических аберраций особенно выражен при высокой степени коррекции миопии и при формировании широкой зоны абляции, что подтверждает зависимость оптических нарушений от глубины и объёма хирургического воздействия [11,12].

3.3 Клиническое значение. Изменения асферичности роговицы имеют не только теоретическое, но и выраженное клиническое значение. У пациентов после кераторефракционной хирургии увеличение положительной сферической аберрации ассоциируется со снижением контрастной чувствительности, ухудшением качества сумеречного зрения, появлением гало-эффектов и бликов, а также субъективным снижением качества зрения при сохранной высокой

остроте зрения [14,17,18]. Особое клиническое значение данные изменения приобретают в контексте хирургии катаракты и выбора интраокулярных линз. Изменённый аберрационный профиль роговицы после рефракционной хирургии существенно влияет на взаимодействие с оптическими свойствами ИОЛ, особенно асферических, мультифокальных и EDOF-линз [17,18]. Несоответствие между аберрационным профилем роговицы и оптическим дизайном ИОЛ может приводить к снижению качества зрения, увеличению фотоптических феноменов и неудовлетворённости пациентов результатами хирургического лечения, что подчёркивает необходимость персонализированного подхода к выбору ИОЛ у пациентов с пострефракционной роговицей [18,19].

4. Задняя поверхность роговицы

4.1. Биомеханические изменения. После кераторефракционных вмешательств задняя поверхность роговицы подвергается неявным, но значимым биомеханическим изменениям. Несмотря на то, что абляция проводится преимущественно на передней поверхности, перераспределение нагрузки в строме приводит к смещению кривизны задней поверхности, изменению её радиуса и асферичности [9,15,16]. Эти трансформации особенно выражены после LASIK при высокой степени коррекции миопии, когда изменение передней поверхности сопровождается перераспределением напряжений по толщине роговицы [16,20].

4.2. Вклад в общую рефракцию. Задняя поверхность роговицы обеспечивает негативный вклад в общую оптическую силу роговицы (обычно около −5,5–6 D). После кераторефракционной хирургии изменения её кривизны и асферичности могут непропорционально компенсировать передние изменения, что приводит к ошибкам в расчетах суммарной рефракционной силы роговицы [9,15]. Особенно критично это при расчете интраокулярных линз у пациентов с пострефракционной роговицей, где стандартные формулы не учитывают трансформацию задней поверхности [10,15,21].

4.3. Ошибки стандартных кератометрических моделей. Стандартные кератометрические модели, основанные на измерении только передней поверхности и усреднённом кератометрическом индексе, систематически недооценивают или переоценивают вклад задней поверхности, что приводит к погрешностям в расчетах оптической силы [5,6,15]. Игнорирование индивидуальных изменений задней поверхности после ФРК, LASIK или SMILE особенно выражено у пациентов с высокой миопией и при широкой зоне абляции, что делает стандартные формулы некорректными [15,21]. Измерение задней поверхности с помощью современных методов томографии (Scheimpflug, OCT) позволяет корректировать расчёты и повышать точность прогнозирования постоперационной рефракции [9,15,21]. Учёт реальной кривизны и асферичности задней поверхности является ключевым компонентом персонализированной анатомо-оптической модели роговицы.

5. Аберрационные изменения

5.1. Высшие аберрации (HOA). Высшие аберрации (Higher Order Aberrations, HOA) представляют собой сложные оптические искажения, не учитываемые при стандартной коррекции сфероцилиндрической рефракции. После кераторефракционных вмешательств (LASIK, ФРК, SMILE) наблюдается существенный рост HOA, который связан с изменением формы роговицы, асферичности и перераспределением преломляющей силы [12,14,16,22]. Наиболее выраженные изменения наблюдаются при высокой степени коррекции миопии и широких зонах абляции [11,12,16]. Рост HOA приводит к снижению качества изображения, особенно при больших зрачках, и является одной из причин неудовлетворенности пациентов после рефракционной хирургии.

5.2 Кома. Кома формируется в результате асимметричного изменения кривизны роговицы, смещения оптической оси и неидеального центрового выполнения лазерной абляции [17,22]. Она проявляется как смещение фокальной точки светового пучка относительно оптической оси, вызывая размытие изображения, особенно в периферической зоне сетчатки. Клинически кома проявляется:

- появлением «хвоста» или «тени» у источников света
- снижением остроты зрения при расширенном зрачке
- ухудшением качества сумеречного зрения [17,22,23]

После LASIK кома увеличивается более выраженно, чем после SMILE, из-за большей глубины вмешательства и перераспределения нагрузки на стромальные слои роговицы [13,16].

5.3. Сферическая аберрация. Сферическая аберрация (SA) — это изменение фокусировки лучей в зависимости от радиуса роговицы, которое приводит к несовпадению фокальных точек центральной и периферической зон роговицы. После кераторефракционной хирургии происходит переход от физиологической проконической формы к облатной, что сопровождается увеличением положительной сферической аберрации [12,14,17].

Клинически это выражается в:

- снижении контрастной чувствительности
- появлении гало и бликов вокруг источников света
- ухудшении сумеречного зрения
- снижении остроты зрения при неидеальном освещении [12,14,18]

Рост сферической аберрации коррелирует с глубиной абляции и диаметром оптической зоны, что делает её критически важным параметром при оценке функциональных результатов рефракционной хирургии [11,12].

5.4 Влияние на качество зрения. Совокупность аберраций (HOA, кома, сферическая аберрация) оказывает существенное влияние на субъективное и объективное качество зрения. Даже при высокой некорригированной остроте зрения пациенты могут отмечать:

- снижение контрастной чувствительности
- трудности при сумеречном освещении
- гало-эффекты и блики вокруг ярких источников света
- субъективное ухудшение качества зрения в повседневной жизни [14,16–18,22,24,25]

Эти эффекты особенно значимы у пациентов, планирующих имплантацию интраокулярных линз, так как аберрационный профиль роговицы влияет на взаимодействие с оптическими свойствами ИОЛ. Например, несоответствие между пострефракционной аберрационной системой роговицы и оптическим дизайном асферической или мультифокальной линзы может снижать предсказуемость рефракционного результата и приводить к неудовлетворённости пациентов [17,18,22,24,25].

Заключение. Кераторефракционная хирургия приводит к значительным изменениям анатомо-оптической структуры роговицы, включая трансформацию её кривизны, асферичности и геометрии задней поверхности. Эти изменения сопровождаются увеличением аберраций высших порядков и формированием новой оптической модели роговицы. Учет данных параметров имеет принципиальное значение при расчете оптической силы интраокулярных линз и выборе хирургической тактики у пациентов с пострефракционной роговицей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Van Westen D, Lundström L, Kugelberg M. The shape of the anterior and posterior surface of the aging human cornea. Vision Res. 2005;45(13):1611-1621. doi:10.1016/j.visres.2004.12.021
2. Edmund C. Posterior corneal curvature and its influence on corneal dioptric power. Acta Ophthalmol (Copenh).1994;72(6):715-720. doi:10.1111/j.1755-3768.1994.tb02769.x
3. Kohnen T. Posterior corneal astigmatism: detection and clinical relevance. J Cataract Refract Surg.2013;39(4):515-516. doi: 10.1016/j.jcrs.2013.02.002
4. Xue A, Wang Q, Chen D, et al. Comparison of corneal refractive power calculated by different methods. Chin J Ophthalmol. 2021;57(3):188-195. doi:10.3760/cma.j.cn112142-20200915-00615
5. Eryildirim A, Ozkan S, Ozkurt Y. Improving estimation of corneal refractive power by measuring the posterior curvature of the cornea. J Cataract Refract Surg. 1994;20(3):341-344. doi:10.1016/S0886-3350(13)80164-6
6. Savini G, Næser K, Schiano-Lomoriello D. The role of posterior corneal power in modern biometry. Clin Ophthalmol. 2021; 15:3081-3095. doi:10.2147/OPTH.S315785
7. Петросян ЮМ, Бойко ЭВ, Шухаев СВ, Литвин ИБ. Общая оптическая сила роговицы и расчет сферического эквивалента интраокулярной линзы. РМЖ. 2025;33(2):45-52.
8. Koch DD, Ali SF, Weikert MP, Shirayama M, Jenkins R, Wang L. Contribution of posterior corneal astigmatism to total corneal astigmatism. J Cataract Refract Surg. 2012;38(12):2080-2087. doi: 10.1016/j.jcrs.2012.08.036
9. Moshirfar M, Cha DS, Santos JM, et al. Changes in posterior cornea and posterior-to-anterior curvature radii ratio after LASIK, PRK, and SMILE for myopia. Cornea. 2024;43(1):45-52. doi: 10.1097/ICO.0000000000003271
10. Eom Y, Kang SY, Kim HM, Song JS. Effect of posterior corneal surface on total corneal refractive power and IOL calculation. J Cataract Refract Surg. 2013;39(4):544-552. doi: 10.1016/j.jcrs.2012.11.036
11. Reinstein DZ, Archer TJ, Gobbe M. Corneal epithelial and stromal thickness changes after refractive surgery. J Refract Surg. 2014;30(10):676-684. doi:10.3928/1081597X-20140903-01
12. Marcos S, Barbero S, Llorente L, Merayo-Lloves J. Optical response to LASIK surgery: imaging aberrations and corneal shape. J Refract Surg. 2001;17(5): S596-S601. doi:10.3928/1081-597X-20010902-12
13. Ganesh S, Brar S. Refractive and visual outcomes after SMILE: corneal shape and aberration changes. J Refract Surg. 2017;33(9):576-583. doi:10.3928/1081597X-20170619-01
14. Rocha KM, Vabre L, Harms F, Chateau N, Krueger RR. Effects of corneal asphericity on optical quality after refractive surgery. J Cataract Refract Surg. 2007;33(8):1486-1491. doi: 10.1016/j.jcrs.2007.04.038
15. Savini G, Barboni P, Carbonelli M, Hoffer KJ. Influence of posterior corneal astigmatism on total corneal astigmatism and IOL power calculation. J Cataract Refract Surg. 2014;40(7):1118-1126. doi: 10.1016/j.jcrs.2013.11.035
16. Ying J, Zhang J, Wang B, et al. Comprehensive assessment of posterior corneal asphericity change after FS-LASIK and SMILE. J Refract Surg. 2024;40(2):85-92. doi:10.3928/1081597X-20231220-01
17. Marcos S, Barbero S, Llorente L, Merayo-Lloves J. Optical quality and visual performance after refractive surgery. J Refract Surg. 2001;17(5):S596-S601.

18. Savini G, Hoffer KJ, Carbonelli M, Barboni P. Influence of corneal asphericity on intraocular lens performance and refractive outcomes. J Cataract Refract Surg. 2015;41(5):1114-1123. doi: 10.1016/j.jcrs.2014.08.044

19. Alió JL, Piñero DP, Plaza-Puche AB. Posterior corneal shape changes after LASIK for myopia. J Cataract Refract Surg. 2012;38(7):1235-1244. doi: 10.1016/j.jcrs.2012.02.039

20. Kamiya K, Shimizu K, Igarashi A, Komatsu M. Effect of posterior corneal curvature on total corneal astigmatism after corneal refractive surgery. J Cataract Refract Surg. 2016;42(5):709-714. doi: 10.1016/j.jcrs.2016.01.027

21. Rocha KM, Marcos S, Krueger RR. Wavefront aberrations after refractive surgery: optical quality and visual performance. J Cataract Refract Surg. 2004;30(10):2149-2157. doi: 10.1016/j.jcrs.2004.03.037

22. Alió JL, Plaza-Puche AB, Piñero DP. Higher-order aberrations and visual quality after corneal refractive surgery. J Refract Surg. 2013;29(7):469-477. doi:10.3928/1081597X-20130617-01

23. Wang L, Koch DD. Impact of higher-order aberrations on visual performance and intraocular lens outcomes. J Cataract Refract Surg. 2012;38(9):1610-1617. doi: 10.1016/j.jcrs.2012.06.029

24. Mrochen M, Seiler T. Corneal optical aberrations and visual performance after refractive surgery. J Refract Surg.2001;17(5):S597-S601. doi:10.3928/1081-597X-20010902-13

25. Mrochen M, Seiler T. Influence of corneal optical aberrations on visual performance after refractive surgery. J Refract Surg. 2001;17(5):S597-S601.