АНАЛИТИЧЕСКОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ БИАСФЕРИЧЕСКОЙ ОПТИЧЕСКОЙ ЗОНЫ СКЛЕРАЛЬНОЙ КОНТАКТНОЙ ЛИНЗЫ

Маков И.Н.[1], Корниловский И.М.* [2]
[1] *Astana Vision, Алматы, Республика Казахстан*
[2] *ФГБУ «Национальный медико-хирургический Центр им. Н.И. Пирогова», Москва*

DOI: 10.25881/20728255_2026_21_4_S1_57

Резюме.Цель исследования. Оценить возможности раздельного изменения асферичности передней и задней поверхностей оптической зоны для управления толщиной у края оптической зоны, индуцированной сферической аберрацией и периферическим слёзным клиренсом.

Методы. На примере расчёта линзы с рефракцией –8,0 дптр. последовательно сравнивали сферическую минусовую линзу, линзу с асферической передней поверхностью и биасферическую линзу. Путём изменения асферичности передней поверхности уменьшали толщину у края оптической зоны на 5-40 мкм и рассчитывали индуцированную сферическую аберрацию для зрачка диаметром 6 мм. Затем изменяли асферичность задней поверхности, пока аберрация не компенсировалась полностью, либо пока периферический клиренс не уменьшался на 50 мкм или линза не теряла выигрыш в толщине. Отдельно исследовали зональную конструкцию для зрачков диаметрами от 3 до 6 мм. В ней компенсирующую асферичность ограничивали диаметром зрачка, а за его краем плавно возвращали заднюю поверхность к исходному профилю на участке шириной 0,25 мм.

Результаты. Толщина сферической линзы у края оптической зоны составила 376,6 мкм. Если заднюю асферическую поверхность продолжали на весь диаметр оптической зоны 8 мм, полная компенсация аберрации делала линзу толще исходной. Без утраты выигрыша в толщине удавалось компенсировать не более 27,7% наведенной аберрации. Иной результат получили при зональной конструкции. Для зрачков, диаметрами от 3 до 5 мм, такая конструкция обеспечивала полную компенсацию и сохраняла всё заданное утончение в диапазоне 10–40 мкм. При зрачке 6 мм полностью сохранялось только утончение 10 мкм. Из заданных 20 и 30 мкм оставалось соответственно 16,0 и 2,4 мкм, а при попытке утончить линзу на 40 мкм её наибольшая толщина становилась на 9,6 мкм больше, чем у сферической.

Заключение. Раздельное изменение асферичности передней и задней поверхностей может использоваться при аналитическом проектировании оптической зоны склеральной контактной линзы. В исследованной минусовой модели продолжение задней асферической поверхности до края оптической зоны при полной компенсации аберрации устраняло выигрыш в толщине. Если же компенсирующую зону ограничивали диаметром зрачка и предусматривали короткий плавный переход, этот выигрыш удавалось сохранить. Такой подход был эффективен при диаметрах зрачка 3–5 мм, тогда как при зрачке с диаметром 6 мм возможности утончения были ограничены.

Ключевые слова: склеральные контактные линзы, аналитическое проектирование, асферичность оптической зоны, сферическая аберрация, слёзный клиренс, толщина линзы.

ANALYTICAL DESIGN OF A BIASPHERIC OPTICAL ZONE IN A SCLERAL CONTACT LENS

Makov I.N.[1], Kornilovskiy I.M.* [2]
[1] *Astana Vision, Almaty, Republic of Kazakhstan*
[2] *Pirogov National Medical and Surgical Center, Moscow*

Abstract. Aim: To assess whether separate modification of the front and back optical-zone asphericity can control optical-zone edge thickness, induced spherical aberration, and peripheral tear clearance.

Materials and methods: Using the example of a lens with a refractive power of –8.0 D, a comparison was made between a spherical minus lens, a lens with an aspheric front surface, and a biaspheric lens. The front surface was modified to reduce thickness at the optical-zone edge by 5-40 μm. Induced spherical aberration was calculated for a 6-mm pupil. The back surface was then modified until complete compensation, a 50-μm reduction in peripheral clearance, or loss of the thickness advantage. For thinning values of 10, 20, 30, and 40 μm, a pupil-matched zonal back asphere was also calculated for pupil diameters of 3-6 mm and blended to the original profile over a 0.25-mm transition.

Results: The thickness of the spherical lens at the optical-zone edge was 376.6 μm. When the back asphere extended over the full 8-mm optical zone, complete compensation made the lens thicker than the spherical design, and no more than 27.7% of the aberration could be compensated while retaining a thickness advantage. Pupil-matched zonal compensation for 3-5-mm pupils retained the prescribed thinning throughout the 10-40-μm range. For a 6-mm pupil, the full 10-μm thinning was retained; 16.0 and 2.4 μm remained from the prescribed 20- and 30-μm thinning, respectively, whereas a 40-μm target increased the maximum thickness to 9.6 μm above that of the spherical design.

Conclusions: Separate modification of the front and back surface asphericity can be used in the analytical design of a scleral lens optical zone. In the investigated minus-powered model, a full-diameter back asphere eliminated the edge-thickness advantage when spherical aberration was fully compensated. Limiting the back asphere to the pupil and adding a short transition reduced its effect on maximum thickness and peripheral clearance. The prescribed thinning of up to 40 μm was retained for 3-5-mm pupils; for a 6-mm pupil, the advantage was retained only with a small thinning target.

Keywords: Scleral contact lenses, analytical design, optical zone asphericity, spherical aberration, tear clearance, lens thickness.

Актуальность

Склеральные линзы относятся к специализированному виду контактных линз, опирающихся на склеру. Благодаря такой конструкции такие линзы обеспечивают стабильную коррекцию даже при высокой степени иррегулярности роговичной поверхности с индуцированным неправильным астигматизмом. Это позволяет повысить эффективность медико-социальной реабилитации на этапах комплексного лечения пациентов с кератоконусом, кератоглобусом, при вторичных кератоэктазиях различной этиологии, пеллюцидной краевой дегенерацией и рубцах роговицы. Склеральные контактные линзы позволяют создать постоянный увлажняющий слой между роговицей и линзой при тяжёлом синдроме сухого глаза. Это же касается случаев стойких эпителиальных дефектов роговицы, тяжёлого нейтрофического кератита, а также неполного смыкания век вследствие экзофтальма, экторпиона и пареза века. Во всех случаях на переносимость склеральной контактной линзы большое влияние оказывает толщина края линзы. Её уменьшение при сохранении оптических свойств линзы представляет несомненный научный и практический интерес. Один

* e-mail: kornilovsky51@yandex.ru

из возможных способов утончения заключается в изменении асферичности передней поверхности оптической зоны без изменения её центральной кривизны. Однако такой способ имеет обратную сторону. Это связано с тем, что после изменения передней поверхности её геометрия уже не соответствует исходной геометрии задней поверхности. Последнее приводит к тому, что центральные и периферические лучи начинают преломляться по-разному, вследствие чего линза индуцирует сферическую аберрацию. Влияние конструкции контактных линз на аберрации и качество зрения показано в ряде исследований [1–5]. Поэтому закономерно возникает вопрос, можно ли уменьшить эту аберрацию за счёт компенсаторного изменения асферичности задней поверхности и при этом сохранить достигнутое утончение. Вот почему возможность управлять толщиной на краю оптической зоны, индуцированной сферической аберрацией и периферическим слёзным клиренсом на этапе аналитического проектирования склеральной линзы представляет несомненный научный и практический интерес.

Цель

Оценить возможности раздельного изменения асферичности передней и задней поверхностей оптической зоны для управления толщиной у края оптической зоны, индуцированной сферической аберрацией и периферическим слёзным клиренсом.

Обоснование

Асферичность передней поверхности позволяет утончить край минусовой линзы, но нарушает исходное соотношение геометрии передней и задней поверхностей и создаёт сферическую аберрацию. Компенсировать её можно изменением асферичности задней поверхности.

Оптический вклад задней поверхности линзы в наведенную сферическую аберрацию меньше вклада передней поверхности. Задняя поверхность разделяет материал линзы и слезу, показатели преломления которых близки, поэтому она оказывает меньшее оптическое действие, чем передняя. Для существенной компенсации её форму приходится изменять сильнее. Периферическая асферичность поверхностей не влияет на их центральную форму и положение относительно роговицы, поэтому величина апикального клиренса, определяемая центральным зазором между задней поверхностью линзы и верхушкой роговицы, не меняется. У наружной границы оптической зоны линзы с измененной асферичностью задняя поверхность смещается в сторону роговицы, периферический клиренс уменьшается, а толщина линзы может вновь увеличиться. Это означает, что при расчёте биасферической линзы недостаточно оценивать только сферическую аберрацию, а необходимо учитывать толщину линзы у края оптической зоны и уменьшение периферического клиренса. Допустимая величина этого уменьшения зависит от исходно заданного профиля клиренса и ожидаемой усадки линзы [6].

Методы

Дизайн исследования

Исследовали расчётную модель осесимметричной склеральной линзы с рефракцией оптической зоны –8,0 дптр. За исходный вариант приняли линзу со сферическими передней и задней поверхностями. Затем изменяли геометрию передней поверхности и рассчитывали сферическую аберрацию, индуцированную различием между профилями передней и задней поверхностей. На следующем этапе изменяли также заднюю поверхность, то есть формировали биасферическую оптическую зону.

Переднюю поверхность подбирали для уменьшения толщины у края оптической зоны на 5, 10, 20, 30 и 40 мкм. Во всех вариантах контролировали правильность геометрии в пределах оптической зоны. Роговицу и собственные аберрации глаза в модель не включали, поскольку задачей было оценить только сферическую аберрацию, создаваемую самой линзой.

Основной исход исследования

Основным результатом считали максимальную долю компенсации индуцированной сферической аберрации, при которой сохранялся выигрыш в толщине, а периферический клиренс уменьшался не более чем на 50 мкм.

Дополнительные исходы исследования

Дополнительно оценивали наибольшую толщину линзы в пределах оптической зоны, уменьшение периферического клиренса и результат полной компенсации без заданных ограничений. Для варианта с утончением на 40 мкм расчёт повторяли при допустимом уменьшении периферического клиренса на 25, 75 и 100 мкм.

Методы регистрации исходов

Переднюю и заднюю поверхности описывали моделью конического сечения. Форму каждой поверхности задавали апикальным радиусом и коэффициентом асферичности Q. При Q = 0 поверхность была сферической, при Q>0 облатной, при Q<0 пролатной. Изменение Q не затрагивало центральную кривизну, но постепенно изменяло профиль поверхности к периферии.

Параметры расчётной линзы приведены в табл. 1.

Центральную толщину во всех вариантах сохраняли равной 0,25 мм. У исходной минусовой линзы наибольшая толщина находилась у края оптической зоны. Геометрию передней поверхности изменяли до получения заданного утончения в этой точке по сравнению со сферическим вариантом.

Под уменьшением периферического клиренса понимали смещение изменённой задней поверхности в сторону роговицы относительно исходной сферической поверхности. Его определяли у наружной границы изменённого участка: для единого конического профиля у края оптической зоны, для зональной конструкции у края компенсирующей зоны. Апикальный клиренс при этом не менялся. Толщину единого профиля оценивали

Табл. 1. Параметры расчётной оптической системы

Параметр	Значение
Показатель преломления воздуха	1,000
Показатель преломления материала линзы	1,433
Показатель преломления слезы	1,336
Апикальный радиус передней поверхности	9,2 мм
Апикальный радиус задней поверхности	7,8 мм
Задняя вершинная рефракция	–8,0 дптр
Центральная толщина	0,25 мм
Диаметр оптической зоны	8,0 мм
Диаметр расчётного зрачка	6,0 мм
Длина волны	0,555 мкм

у края оптической зоны. Для зональной конструкции определяли наибольшую толщину во всей оптической зоне, поскольку локальный максимум мог возникнуть в области перехода. После этого через линзу трассировали параллельный пучок лучей с учётом преломления на границах воздух-линза и линза-слеза. Индуцированную первичную сферическую аберрацию для зрачка диаметром 6 мм выражали коэффициентом Цернике Z_4^0. Этот показатель отражал различие в преломлении центральных и периферических лучей, вызванное геометрией обеих поверхностей линзы. На следующем этапе поэтапно изменяли геометрию задней поверхности. Сначала определяли, можно ли полностью устранить возникшую аберрацию. Затем находили практически допустимый предел компенсации: расчёт останавливали, когда периферический клиренс уменьшался на 50 мкм или толщина у края оптической зоны достигала уровня сферической линзы. Отдельно исследовали зональную конструкцию. Расчёты выполняли для утончения на 10, 20, 30 и 40 мкм и диаметров зрачка 3, 4, 5 и 6 мм. Эти значения задавали расчётный диапазон и не рассматривали как клинические нормативы. В пределах зрачка задняя поверхность полностью компенсировала сферическую аберрацию. Сразу за его краем начинался переход шириной 0,25 мм, после которого поверхность возвращалась к исходному сферическому профилю. Переход описывали полиномом пятой степени, чтобы избежать излома поверхности, её наклона и кривизны. Для каждого варианта рассчитывали наибольшую толщину в пределах оптической зоны, сохранившееся утончение и уменьшение периферического клиренса у края компенсирующей зоны.

Статистический анализ

Статистические методы не применяли. Все результаты получены прямым численным расчётом в Python 3.12.12 с библиотеками NumPy 2.3.4 и SciPy 1.17.0.

Результаты

Оптический вклад задней поверхности линзы в наведенную сферическую аберрацию был меньше вклада передней поверхности. Задняя поверхность разделяла материал линзы и слезу, показатели преломления которых близки, поэтому она оказывала меньшее оптическое действие, чем передняя. Для существенной компенсации её форму приходилось изменять сильнее. Периферическая асферичность поверхностей не влияла на их центральную форму и положение относительно роговицы, поэтому величина апикального клиренса между центральным зазором между задней поверхностью линзы и верхушкой роговицы не менялась. У наружной границы оптической зоны линзы с измененной асферичностью задняя поверхность смещалась в сторону роговицы, периферический клиренс уменьшался, а толщина линзы могла вновь увеличиться. Следовательно, при расчёте биасферической линзы недостаточным было оценивать только сферическую аберрацию. Необходимо было одновременно учитывать толщину линзы у края оптической зоны и уменьшение периферического клиренса. Допустимая величина этого уменьшения зависела от исходно заданного профиля клиренса и ожидаемой усадки линзы [6]. В данной работе использовалось пороговое изменение значения клиренса 50 мкм.

Основные результаты исследования

Толщина исходной сферической линзы у края оптической зоны составляла 376,6 мкм. Изменение асферичности передней поверхности позволяло уменьшить её на заданные 5-40 мкм, но оптическая цена утончения последовательно возрастала. Индуцированная сферическая аберрация увеличивалась от 0,054 до 0,421 мкм. Чем больше становилось различие между геометрией передней и задней поверхностей, тем заметнее различалось преломление центральных и периферических лучей.

Для компенсации этой аберрации заднюю поверхность можно было изменить двумя способами (Рис. 1). В первом случае единый конический профиль продолжался до края оптической зоны. Во втором он действовал только

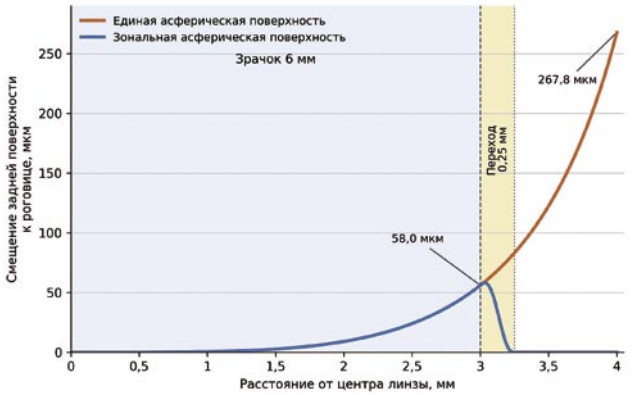


Рис. 1. Изменение задней поверхности при полной компенсации сферической аберрации в пределах зрачка диаметром 6 мм. При единой асферической поверхности изменение продолжается до края оптической зоны; при зональной конструкции поверхность плавно возвращается к исходному сферическому профилю в переходной зоне шириной 0,25 мм.

Табл. 2. Результаты при единой задней асферической поверхности

Заданное утончение на краю, мкм	Индуцированная Z_4^0, мкм	Уменьшение периферического клиренса, мкм	Толщина на краю, мкм	Допустимая компенсация, %
5	–0,054	28,3	389,9	27,1
10	–0,108	57,5	402,7	27,2
20	–0,214	119,6	426,4	27,3
30	–0,319	188,5	446,1	27,5
40	–0,421	267,8	458,6	22,4

Примечание: толщина сферической линзы у края оптической зоны составляла 376,6 мкм. Под уменьшением клиренса понимали смещение задней поверхности в сторону роговицы относительно исходной сферической поверхности. В последнем столбце указана доля аберрации, которую можно компенсировать, не делая линзу толще сферической и не уменьшая периферический клиренс более чем на 50 мкм.

в пределах зрачка, после чего задняя поверхность плавно возвращалась к исходной сфере.

При едином коническом профиле полностью устранить аберрацию удалось во всех пяти расчётах. Однако исходный выигрыш в толщине при этом терялся (табл. 2). Даже после утончения передней поверхностью всего на 5 мкм толщина у края оптической зоны возрастала до 389,9 мкм и превышала исходные 376,6 мкм. При утончении на 40 мкм этот эффект был значительно выраженнее: периферический клиренс у края оптической зоны уменьшался на 267,8 мкм, а толщина в этой точке увеличивалась, и достигала 458,6 мкм.

При исходном утончении от 5 до 30 мкм предел определяла толщина у края оптической зоны: дальнейшая компенсация делала бы линзу толще сферической. В варианте 40 мкм первым достигался условный предел уменьшения периферического клиренса. К этому моменту линза всё ещё оставалась на 7,5 мкм тоньше исходной.

Дополнительные результаты исследования

При исходном утончении на 40 мкм расчёт остановился после того, как периферический клиренс уменьшился на принятые 50 мкм. Поэтому для этого варианта отдельно проверили другие допустимые значения. При ограничении 25 мкм удалось компенсировать 11,4% аберрации и сохранить 23,3 мкм утончения. Если допускали более выраженное уменьшение клиренса, компенсация возрастала до 27,7%, но к этому моменту толщина края сравнивалась с толщиной сферической линзы. Дальнейшая компенсация наведенной аберрации делала линзу толще сферической.

Зональная конструкция дала иной результат (табл. 3). При соответствии конструкции диаметру зрачка от 3 до 5 мм, полная компенсация не уменьшала достигнутое утончение: оно сохранялось во всём исследованном диапазоне от 10 до 40 мкм. При зрачке диаметром 6 мм, запас по толщине оказался существенно меньше. Полностью сохранилось только утончение 10 мкм; из заданных 20 и 30 мкм оставалось соответственно 16,0 и 2,4 мкм. В наиболее выраженном варианте, рассчитанном на 40 мкм, в

Табл. 3. Результаты полной зональной компенсации

Заданное утончение, мкм	Показатель	Зрачок 3 мм	Зрачок 4 мм	Зрачок 5 мм	Зрачок 6 мм
10	Сохранившееся утончение, мкм	10,0	10,0	10,0	10,0
10	Уменьшение клиренса у края зоны, мкм	0,9	2,9	7,2	15,4
20	Сохранившееся утончение, мкм	20,0	20,0	20,0	16,0
20	Уменьшение клиренса у края зоны, мкм	1,8	5,6	14,0	30,1
30	Сохранившееся утончение, мкм	30,0	30,0	30,0	2,4
30	Уменьшение клиренса у края зоны, мкм	2,6	8,2	20,5	44,3
40	Сохранившееся утончение, мкм	40,0	40,0	40,0	-9,6
40	Уменьшение клиренса у края зоны, мкм	3,4	10,7	26,8	58,0

Примечание: ширина переходной зоны составляла 0,25 мм; толщина сферической линзы у края оптической зоны составляла 376,6 мкм. Для зональной конструкции оптической зоны приведено наибольшее уменьшение клиренса у края компенсирующей зоны и наибольшая толщина во всей оптической зоне. Отрицательное значение означает, что линза стала толще сферической.

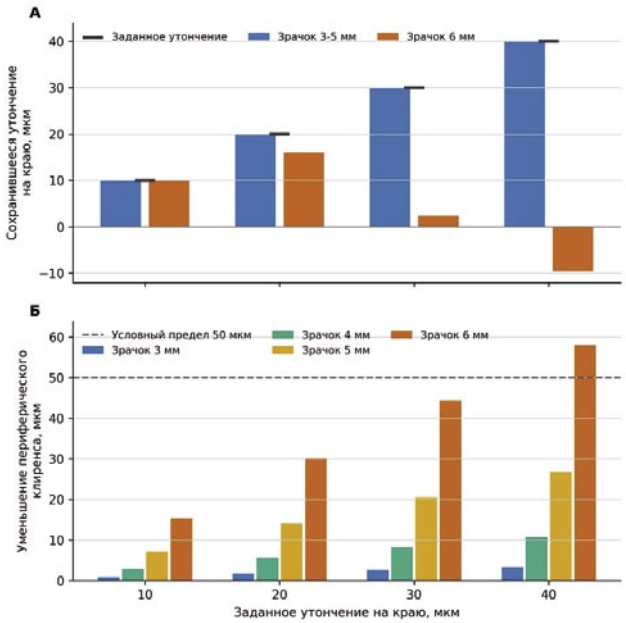


Рис. 2. Результаты полной зональной компенсации при разных диаметрах зрачка. А: сохранившееся утончение линзы; пунктиром показано заданное утончение. Б: наибольшее уменьшение периферического клиренса у края компенсирующей зоны; пунктиром показан условный предел 50 мкм.

области перехода возникал локальный максимум толщины 386,2 мкм. Это на 9,6 мкм больше толщины исходной сферической линзы у края оптической зоны.

Результаты зонального расчёта оптической зоны обобщены на рис. 2.

Обсуждение

Резюме основного результата исследования

Возможность одновременно уменьшить толщину линзы и компенсировать сферическую аберрацию зависела не только от величины асферичности. Не менее важным оказался диаметр изменённой части задней поверхности. Единый профиль на всей оптической зоне сводил утончение на нет, тогда как ограничение компенсирующей зоны диаметром зрачка позволяло сохранить его в большинстве рассмотренных вариантов.

Обсуждение основного результата исследования

Причина такого различия была связана с оптической силой двух поверхностей. На передней поверхности луч переходил из воздуха в материал линзы, поэтому даже сравнительно небольшое изменение её формы заметно влияло на преломление. На задней поверхности различие показателей преломления материала линзы и слезы были значительно меньше. Чтобы получить сопоставимый оптический эффект, её приходилось изменять сильнее. Само по себе это ещё не означало обязательного увеличения толщины. Проблема возникала тогда, когда рассчитанный задний профиль продолжали далеко за пределы зрачка, до края всей оптической зоны. Его сагитта продолжала нарастать, хотя эта периферическая часть уже не участвлвала в компенсации аберрации рабочего пучка. Центральная толщина оставалась прежней, но расстояние между поверхностями у края увеличивались. Поэтому толщина полностью компенсированной линзы у края оптической зоны могла оказаться больше, чем у исходной сферической. Зональная конструкция устраняла именно эту избыточную периферическую часть профиля. В пределах зрачка задняя поверхность обеспечивала требуемую компенсацию, а сразу за его краем возвращалась к исходной сфере. При зрачках 3–5 мм переход находился достаточно далеко от утолщённого края линзы и не влиял на её максимальную толщину. Это позволило полностью компенсировать аберрацию и сохранить заданное утончение. При зрачке диаметром 6 мм места для перехода оставалось меньше. Он смещался ближе к краю оптической зоны, где минусовая линза была уже толще. Поэтому по мере увеличения асферичности передней поверхности, выигрыш быстро сокращался, а в варианте утончения на 40 мкм исчезал полностью. Для зрачка большого диаметра степень утончения и форму переходной зоны необходимо было рассчитывать отдельно. Уменьшение периферического клиренса на 50 мкм было выбрано в качестве удобной расчетной границы. В реальной конструкции врач может выбрать другое значение с учётом заданного апикального клиренса, требуемого профиля клиренса, ожидаемой усадки линзы, её толщины и допустимой остаточной аберрации. При усадке линзы общий клиренс равномерно уменьшался, но созданная асферичностью задней поверхности разница между центром и краем оптической зоны сохранялась.

Полученные результаты относятся к минусовой линзе с фиксированной центральной толщиной. Для плюсовой линзы задача утончения проще, поскольку центральную толщину можно было уменьшать не только изменением асферичности передней поверхности, но и уменьшением диаметра оптической зоны. Однако оптическая зона должна была перекрывать зрачок даже с учетом возможной децентрации линзы. Таким образом, раздельное управление геометрией передней и задней поверхностей оптической зоны склеральной линзы, позволило заранее выбрать приемлемое соотношение между толщиной линзы у края оптической зоны, индуцированной сферической аберрацией и периферическим клиренсом [7]. Полная компенсация стала возможной, если диаметр задней асферической зоны ограничивали диаметром зрачка. При этом переход к сферическому профилю не должен увеличивать толщину линзы.

Практическое значение результатов

Полученные данные предлагают понятную последовательность расчёта. Сначала выбирают необходимое утончение у края оптической зоны и рассчитывают асферичность передней поверхности. Затем по диаметру зрачка определяют размер компенсирующей зоны на задней поверхности. В завершение оценивают толщину линзы и изменение периферического клиренса. При небольшом диаметре зрачка, полную компенсацию наведенной аберрации можно получить с сохранением утончения линзы. Если зрачок большой или для плавного зонального перехода не хватает диаметра оптической зоны, разумнее уменьшить степень компенсации либо оставить заднюю поверхность сферической. Для решения достаточно сопоставить три результата: оставшийся выигрыш в толщине у края оптической зоны, остаточную сферическую аберрацию и уменьшение периферического клиренса. Такой расчёт можно представить в виде таблицы или номограммы для конкретной геометрии линзы. Врач задаёт диаметр зрачка и допустимое уменьшение периферического клиренса, после чего рассчитываются параметры обеих поверхностей и толщина у края оптической зоны и в области перехода. При этом полученный в настоящей модели предел компенсации около 27% нельзя переносить на другие линзы как постоянную величину. Он зависит от радиусов обеих поверхностей, диаметра оптической зоны и ширины перехода.

Ограничения исследования

Расчёт выполняли для фиксированной геометрии линзы, что позволило отдельно оценить влияние асферичности передней и задней поверхностей на толщину, сферическую аберрацию и периферический клиренс. Полученные численные значения относятся к выбранным параметрам, однако предложенная схема расчёта может быть применена к другим радиусам, диаметрам оптической зоны, значениям центральной толщины и

материалам. Соосную модель использовали для анализа сферической аберрации, индуцированной самой линзой. Влияние децентрации, наклона линзы, наклонных пучков и других видов аберраций требует отдельного расчёта. Ширина переходной зоны 0,25 мм обеспечивала плавное соединение асферического и сферического профилей без излома поверхности, её наклона и кривизны. Допустимое уменьшение периферического клиренса задавалось при проектировании линзы, а значение 50 мкм в настоящей работе использовали как расчётный ориентир.

Заключение

Независимое изменение асферичности передней и задней поверхностей может использоваться при аналитическом проектировании оптической зоны склеральной линзы. В исследованной модели линзы полная компенсация наведенной сферической аберрации единым асферическим профилем задней поверхности линзы не позволяет сделать линзу тоньше. Однако, выигрыш в толщине получается, если компенсирующую зону ограничивать диаметром зрачка и плавно возвращать заднюю поверхность к исходной сферической форме. Чем больше диаметр зрачка, тем ближе переходная зона располагается к утолщённому краю линзы. Поэтому допустимое утончение и степень компенсации следует определять для каждого случая отдельно.

Конфликт интересов

Маков И.Н. является автором патента RU 2858071 C1, относящегося к конструкции внутренней поверхности жёсткой контактной линзы. Корниловский И.М. декларирует отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

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

ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

1. Sabesan R, Johns L, Tomashevskaya O, et al. Wavefront-guided scleral lens prosthetic device for keratoconus. Optom Vis Sci. 2013; 90(4): 314-323. doi: 10.1097/OPX.0b013e318288d19c.
2. Badrinarayanan A, Balakrishnan AC, Dutta R, et al. Impact of scleral lens front surface eccentricity on visual acuity, contrast sensitivity, and higher-order aberrations in eyes with keratoconus. Eye Contact Lens. 2023; 49(9): 374-378. doi: 10.1097/ICL.0000000000001007.
3. Kumar M, Shetty R, Dutta D, et al. Effects of a semi-scleral contact lens on refraction and higher order aberrations. Cont Lens Anterior Eye. 2019; 42(6): 670-674. doi: 10.1016/j.clae.2019.06.002.
4. Domínguez-Vicent A, Esteve-Taboada JJ, Recchioni A, Brautaset R. Power profiles and in vitro optical quality of scleral contact lenses: effect of the aperture and power. Eye Contact Lens. 2018; 44(3): 149-158. doi: 10.1097/ICL.0000000000000345.
5. Lindskoog Pettersson A, Mårtensson L, Salkic J, et al. Spherical aberration in relation to visual performance in contact lens wear. Cont Lens Anterior Eye. 2011; 34(1): 12-16. doi: 10.1016/j.clae.2010.08.008.
6. Бакалова Н.А. Алгоритм подбора кастомизированных мини-склеральных линз на базе платформы «OKVision® SMARTFIT™» // The EYE ГЛАЗ. – 2021. – №23(1). – С.41-51. [Bakalova NA. "OKVision® SMARTFIT™" Customizable Mini-Scleral Lenses Fitting Guide. The EYE GLAZ. 2021; 23(1): 41-51. (In Russ).] doi: 10.33791/2222-4408-2021-1-41-51.
7. Патент РФ на изобретение №2858071/11.03.2026. Маков И.Н. Жёсткая контактная линза с внутренней поверхностью, состоящей из зон, образованных вращением конических сечений. https://patents.google.com/patent/RU2858071C1/ru. [Patent RUS №2858071/11.03.2026. Makov IN. Zhestkaya kontaktnaya linza s vnutrennei poverkhnost'yu, sostoyashchei iz zon, obrazovannykh vrashcheniem konicheskikh sechenii. https://patents.google.com/patent/RU2858071C1/ru. (In Russ.)]