

# СПРАВОЧНИК МЕДИЦИНСКОГО ОПТИКА

*Часть первая*

**ОСНОВЫ ФИЗИЧЕСКОЙ ОПТИКИ  
ФИЗИОЛОГИЯ ЗРЕНИЯ  
КОНТАКТНАЯ КОРРЕКЦИЯ  
ОЧКОВЫЕ ЛИНЗЫ**

Под редакцией  
Вадима Бахтина

## СОДЕРЖАНИЕ

<i>Предисловие</i>		5
<i>Глава 1.</i>	<b>Основы физической оптики</b>	
	Введение	7
§ 1.1	Основы геометрической оптики	
	1.1.1. Понятие о световом луче	8
	1.1.2. Предмет, изображение и оптическая система	8
	1.1.3. Законы распространения света	9
	1.1.4. Законы отражения и преломления света	9
	1.1.5. Оптические детали (пластинки, призмы, линзы) и построение изображений в них	11
	1.1.6. Геометрические aberrации: сферическая aberrация, кома, астигматизм, дисторсия	18
§ 1.2	Элементы волновой оптики	
	1.2.1. Интерференция света	22
	1.2.2. Дифракция	22
	1.2.3. Дисперсия света и хроматические aberrации.	22
	1.2.4. Число Аббе	24
	1.2.5. Поляризация света	24
<i>Глава 2.</i>	<b>Оптика глаза и основы физиологии зрения</b>	
§ 2.1	Строение глаза и общее описание зрительной системы	25
§ 2.2	Главные оптические оси и плоскости глаза	31
§ 2.3	Построение изображения в глазу. Влияние аметропий на размер ретинального изображения	33
§ 2.4	Роговица глаза и слезная пленка	
	2.4.1. Прикладная физиология роговицы	38
	2.4.2. Геометрия роговицы	43
	2.4.3. Оптические свойства роговицы	45
§ 2.5	Радужная оболочка и хрусталик	
	2.5.1. Радужная оболочка. Зрачок	46

---

<i>Серия</i>	<b>Справочник</b>
<i>Название издания</i>	<b>«Справочник медицинского оптика» Часть 1</b>
<i>Формат издания</i>	70 x 100 $\frac{1}{16}$
<i>Кол-во страниц</i>	192 стр.
<i>Авторы публикаций</i>	Кушель Татьяна (4), Певко Дмитрий (1-3)
<i>Автор-составитель</i>	Тибилев Евгений
<i>Краткая аннотация:</i>	

«Справочник медицинского оптика» - настольное пособие, содержащее в кратком виде всю необходимую научно-практическую информацию. Книга предназначена для медицинских оптиков, оптометристов, окулистов и офтальмологов, а также для студентов, обучающихся в медтехникумах и вузах по специальности "Медицинская оптика и оптометрия".

© ЧП Бахтин, 2016

**ISBN 978-5-9925-1160-4**

Все права защищены. Никакая часть данной книги не может быть воспроизведена в какой-либо форме без письменного разрешения владельца авторских прав.

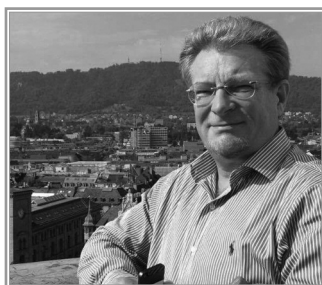
	2.5.2. Строение хрусталика	50
	2.5.3. Геометрия и оптические свойства хрусталика	52
§ 2.6	Стекловидное тело и сетчатка	
	2.6.1. Стекловидное тело	53
	2.6.2. Строение сетчатки	54
	2.6.3. Цветовое восприятие	57
	2.6.4. Патологии сетчатки и их профилактика	59
§ 2.7	Зрительное различие	60
	2.7.1. Светоразличение и адаптация	61
	2.7.2. Острота зрения и контрастная чувствительность. Слабовидение	62
§ 2.8	Аберрации в оптической системе глаза	66
§ 2.9	Аккомодация	74
§ 2.10	Поле зрения и бинокулярное зрение	76
§ 2.11	Аномалии рефракции и принципы их оптической коррекции	80
<i>Глава 3.</i>	<b>Контактная коррекция зрения</b>	
§ 3.1	Некоторые ключевые понятия контактной коррекции зрения	86
§ 3.2	Контактные линзы как средство оптической коррекции зрения	91
§ 3.3	Преимущества и недостатки контактной коррекции зрения	95
§ 3.4	Показания и противопоказания к ношению контактных линз	97
§ 3.5	История контактных линз и материалов	99
§ 3.6	Косметические контактные линзы	104
§ 3.7	Средства ухода за контактными линзами	106
<i>Глава 4.</i>	<b>Очковые линзы</b>	
	Введение	
§ 4.1	Материалы и характеристики очковых линз	
§ 4.2	Классификация очковых линз. Контроль параметров	
§ 4.3	Однофокальные линзы	
§ 4.4	Бифокальные линзы	
§ 4.5	Призматические линзы	
§ 4.6	Линзы для работы вблизи	
§ 4.7	Прогрессивные линзы	
§ 4.8	Окрашенные линзы	
§ 4.9	Покрытия очковых линз	
	<i>Список использованной и рекомендуемой литературы (по главам)</i>	

---

Обложки: «Аввита», Bausch & Lomb, «Компания МОК».

Цветные страницы:

НПФ «Медстар», Санкт-Петербургский медико-технический колледж,  
CooperVision, компания «ОптикЦентр» ([opticcenter.ru](http://opticcenter.ru)), Stormoff, Dek-Optica.



*Вадим Геннадьевич Бахтин – владелец  
оптического предприятия «Зайди – Увидишь» (ранее «Новый взгляд»).*

Вадим Геннадьевич – уроженец Кировской области. Окончив школу в сельской местности, в 1977 году поступил в Ленинградский электротехнический медицинский техникум (современное название: Санкт-Петербургский медико-технический колледж Федерального медико-биологического агентства) и в 1980 году окончил здесь полный курс обучения по специальности «медицинская оптика». Вадиму Геннадьевичу была присвоена квалификация «техник-оптик», и с этого момента оптика стала его судьбой.

Сразу после учебы продолжил осваивать специальность на производстве в государственной оптике. Параллельно в 1982 году Вадим Геннадьевич поступил в Ленинградский ордена Трудового Красного знамени финансово-экономический институт им. Н.А. Вознесенского. В 1987 году окончил полный курс по специальности «финансы и кредит» с присвоением квалификации экономиста.

В 1989 году Вадим Геннадьевич уже как индивидуальный предприниматель открыл собственную мастерскую, а в 1992 году – свое первое предприятие «Очки срочно». К 1997 году фирма имела 50 оптик в Санкт-Петербурге и дочерние предприятия-филиалы в Новгороде, Пскове, Кирове, Мурманске, Новосибирске. Сейчас В.Г. Бахтин является руководителем оптического предприятия «Зайди – Увидишь».

Будучи «обычным вятским пареньком», каким он сам себя считает, Вадим Геннадьевич ведет самую разностороннюю деятельность. В сферу его интересов входят как оптика и финансы, так и всевозможные хобби – от экзотической фотосъемки до авторства и сочинительства. Вадим снимается в кино, является автором патентов на изобретения в области изготовления очков, вкладывает средства в образование и занимается меценатством.

Вадим Бахтин стал инициатором подготовки данного справочника, совмещая редакторскую деятельность с финансированием проекта.

«Чтобы быть настоящим мастером своего дела, недостаточно просто получить диплом. Залог роста и успеха – непрерывное самообразование, постижение всех тонкостей профессии. Есть немало серьезных учебников и монографий по медицинской оптике и оптометрии, но уже много лет не было емкого и краткого научно-популярного справочника, позволяющего быстро усвоить базовые знания» (Вадим Бахтин).



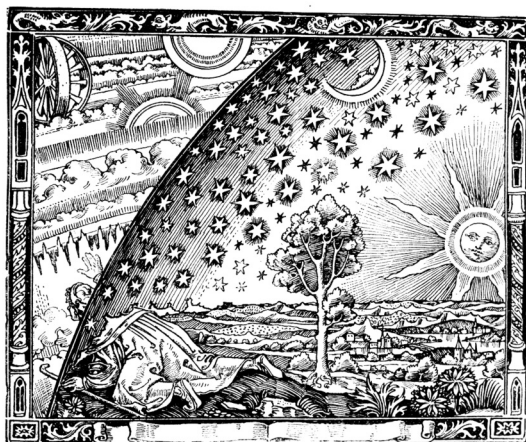
## ПРЕДИСЛОВИЕ

В «Справочнике медицинского оптика» собрана информация, необходимая оптикам в их повседневной работе: сведения о геометрической оптике, оптической системе глаза и физиологии зрения, базовые принципы оптической коррекции, в том числе с помощью контактных линз, современные технологии изготовления очков. Описаны технические характеристики очковых линз и оправ, требования к ним, методики контроля очковой оптики.

Цель данного издания — собрать по возможности самые последние и практические сведения об оптической коррекции зрения и изготовлении очков, объединить их в одном справочном пособии. Каждый работник оптического салона, от руководителя до начинающего оптометриста, оптика-консультанта или мастера, сможет найти здесь ответы на все вопросы ежедневной практики. Это не подробный учебник по оптометрии, физиологии зрения и сборке очков, а пособие, позволяющее читателю быстро получить краткую и притом как можно более полную справочную информацию по перечисленным темам.

В последнее десятилетие произошел мощный рывок в очковой оптике, автоматическом измерении и обработке очковых линз, а также в контактной коррекции зрения. Параллельно с этим в России и за рубежом активно развиваются такие научные дисциплины, как физиология зрения и оптометрия. Иногда это приводит к пересмотру привычных аксиом и применяемых на практике лечебных методик. Часть сведений, которые еще с советских времен кочуют из одного справочного методического пособия в другое, устарела или нуждается в серьезных уточнениях. Один из наглядных примеров — ложный штамп о «сферической поверхности» роговицы. На самом деле роговица глаза всегда в той или иной степени асферична, что было установлено в США еще в начале 70-х годов прошлого века. Именно поэтому сейчас почти все ведущие производители контактных линз перешли на задний асферический дизайн, что положительно повлияло на оптические характеристики и посадку КЛ на глазу. Не является идеальной сферой и склера, особенно у миопов. Все это хорошо известно врачам-офтальмологам, однако знания об оптике глаза и физиологических основах зрения не мешают и рядовому консультанту.

В оптических салонах клиенты часто спрашивают о разных средствах коррекции зрения, их влиянии на здоровье глаз, и каждый консультант должен уметь дать ответ в ясной и доступной форме. Сейчас хорошо известно, что любое вмешательство в оптику глаза, даже подбор самой простой оптической коррекции, оказывает серьезное влияние на физиологические процессы. Это особенно важно для детей с прогрессирующей миопией и пресбиопов. Поэтому в главе об оптической системе глаза излагаются возможные причины нарушений рефракции, основы стратегии и тактики коррекции с современных научных позиций.



*Гравюра Фламариона (1888):  
странник, нашедший точку, где небо касается Земли.*

Отдельная глава посвящена контактной коррекции зрения, которая давно стала неотъемлемой частью оптического бизнеса. Объясняются преимущества и недостатки, «подводные камни» этого метода по сравнению с очками, даются общие рекомендации по выбору подходящих кандидатов и подбору КЛ (как первичному, так и повторному в случае жалоб и осложнений).

«Справочник» поможет оптикам ориентироваться в ассортименте очковых линз и оборудования, доступных на российском рынке, правильно работать с ГОСТами. Описаны конструктивные особенности очковых линз (в том числе самых сложных современных дизайнов), их влияние на зрительную систему человека, методы контроля и правила установки. Объясняются тонкости сборки и выправки очков, работы с оправками разных конструкций и из разных материалов. Описаны автоматические бесшаблонные системы крупнейших производителей, предназначенные для обработки очковых линз. Вся эта информация впервые собрана в одном методическом пособии.

«Справочник» предназначен прежде всего для медицинских оптиков, но может также служить пособием для окулистов и офтальмологов, оптометристов, студентов медицинских вузов.

*Вадим Бахтин*

## ОСНОВЫ ФИЗИЧЕСКОЙ ОПТИКИ

Зрительное восприятие невозможно без света, который проникает в глаз и запускает в сетчатке серию биохимических реакций, преобразуемых в нервные сигналы. Перед этим в прозрачных оптических средах глаза происходит **рефракция** (от позднелатинского *refractio* «преломление») света, в результате чего и формируется изображение на сетчатке. При аномалиях рефракции изображение получается нечетким и нуждается в коррекции. Все эти процессы и явления подробно рассматриваются в главе 2.

**Оптометрия**, согласно определению Ю.З. Розенблюма, — это «раздел офтальмологии, разрабатывающий методы определения оптических дефектов глаза и их коррекции с помощью оптических средств». **Оптическая коррекция зрения** — терапия, то есть нехирургическое лечение, основанное на использовании дополнительных, искусственных прозрачных сред с преломляющими поверхностями (очковых и контактных линз разных типов). Чтобы понимать принципы работы оптической коррекции, необходимо иметь представление об основах оптики.

**Оптика** — это раздел физики, изучающий свойства света и его взаимодействие с веществом. В физике **светом в** широком смысле термина называют электромагнитные волны с частотой  $1,5 \times 10^{11} - 30000 \times 10^{12}$  Гц. Сюда входит и инфракрасное излучение, и видимый свет, и ультрафиолетовое излучение. Этот диапазон частот также называют **оптической областью спектра** электромагнитного излучения. Человеческому восприятию доступна только **область видимого света** в диапазоне 380–780 нм.

Частицы света называются фотонами. Как и любые другие микрочастицы материи, они имеют двойственную природу — обладают свойствами и частиц, и волн. Свет ведет себя одновременно и как поток испускаемых частиц, и как волна.

**Геометрическая (лучевая) оптика** — раздел оптики, изучающий законы распространения света в прозрачных средах без учета его волновой природы. Геометрическая оптика объясняет, как свет отражается от зеркальных и полупрозрачных поверхностей, как строятся изображения в оптических системах. На законах геометрической оптики основано влияние очковых и контактных линз на зрение (с поправкой на аберрации и волновые эффекты).

**Волновая оптика** изучает законы распространения света, обусловленные его волновой природой. Она также имеет важное прикладное значение для оптометрии, поскольку именно в рамках волновой оптики рассматриваются такие явления, как дисперсия, дифракция, интерференция и поляризация света. Все они учитываются при разработке очковых линз. Большинство волновых эффектов ухудшают качество зрительного изображения, за исключением поляризации, которая нашла широкое практическое применение.

## § 1.1. Основы геометрической оптики

### 1.1.1. Понятие о световом луче

В геометрической оптике свет рассматривается как **световой пучок** — совокупность лучей. **Световой луч** — это прямая линия, вдоль которой от источника света распространяется энергия электромагнитной волны.

Пучки лучей, выходящие из одной точки, называют расходящимися, а входящие в одну точку — сходящимися. Пучок лучей, исходящий из удаленной точки, расположенной в условной бесконечности, называют параллельным пучком. В геометрической оптике любой источник света считается центром расходящегося пучка лучей. В естественных условиях встречаются только расходящиеся и параллельные пучки. Для получения сходящегося пучка нужна хотя бы простейшая оптическая система — собирающая линза, система линз, глаз.

### 1.1.2. Предмет, изображение и оптическая система

**Оптическая система** — это совокупность преломляющих и отражающих элементов (линз, призм, пластинок, зеркал, светофильтров), которые формируют световые пучки, чтобы создать оптические изображения предметов на приемнике светового излучения (сетчатке глаза, экране, фотопленке, матрице цифрового фотоаппарата и т. п.).

**Предмет (объект)** и его **изображение** — важнейшие понятия геометрической оптики. По определению Г.А. Можарова, «под предметом понимают совокупность точек, светящихся собственным или отраженным светом, а под изображением — картину, получаемую в результате действия оптической системы на лучи, испускаемые предметом, и воспроизводящую контуры и детали предмета».

Различают действительные и мнимые изображения. **Действительное изображение** создается в точках пересечения сходящихся световых пучков после их прохождения через оптическую систему. Такое изображение можно наблюдать глазом, спроецировать на экран или фотопленку. **Мнимое изображение** получается, если на выходе из оптической системы (например, бинокля или очков с минусовыми линзами) лучи образуют расходящийся пучок. Если мысленно продолжить их в обратном направлении, они пересекутся в одной точке. Совокупность таких точек называют мнимым изображением предмета. В мнимом изображении не пересекаются реальные световые лучи, поэтому его нельзя непосредственно обнаружить, например, с помощью фотозлемента. Но мнимое изображение может играть роль предмета по отношению к другой оптической системе, которая и преобразует его в действительное. Сам по себе глаз является такой природной оптической системой, поэтому любое изображение на сетчатке получается действительным (см. § 2.1).

В зависимости от ориентации изображения относительно предмета различают **прямое, обратное (полностью перевернутое) и зеркальное** изображения. Плоские зеркала всегда образуют зеркальные изображения, линзы и глаз человека — обратные.

Через оптическую систему может проходить так называемый **рассеянный свет**, не участвующий в построении изображения. В природных условиях постоянно

приходится иметь дело с рассеянным светом: солнечные лучи рассеиваются в небе и беспорядочно отражаются от множества предметов. Кроме того, рассеяние света происходит и внутри оптической системы из-за переотражения лучей от ее внутренних поверхностей. Рассеянный свет плохо влияет на качество оптического изображения, снижая общий **контраст** (разницу между освещенностью изображения и окружающего поля). Полностью устранить это явление невозможно.

Однако количество рассеянного света в оптической системе можно уменьшить, поместив в ней **апертурную диафрагму** — непрозрачную преграду с отверстием в центре, которая ограничивает пучки лучей, выходящих из осевой точки предмета. Входной зрачок (отверстие диафрагмы) ограничивает поперечные размеры и угол раскрытия световых пучков, проходящих через оптическую систему. В результате уменьшается количество попадающей в систему световой энергии, устраняются краевые лучи, в которых особенно заметны аберрации, снижается засветка из-за рассеянного света. Также увеличивается глубина резко изображаемого пространства. При слишком сильном уменьшении диаметра отверстия качество изображения может ухудшиться из-за дифракции (см. § 1.2.2). В глазу человека роль диафрагмы выполняет радужная оболочка с отверстием — зрачком.

### 1.1.3. Законы распространения света

**Закон прямолинейного распространения света.** В оптически однородной среде, то есть среде с одинаковым *показателем преломления* (см. стр. 10), свет распространяется прямолинейно, как и всякая электромагнитная волна. Отступление от этого закона наблюдается только при дифракции, когда световые волны огибают препятствие (см. § 1.2.2).

**Закон независимости световых лучей.** Отдельные лучи и пучки лучей не влияют друг на друга, даже пересекаясь, и распространяются независимо один от другого. Наложение и взаимное гашение световых волн (интерференция) рассматривается в рамках волновой оптики.

### 1.1.4. Законы отражения и преломления света

Если световой луч падает на границу раздела двух сред с разными показателями преломления (например, воздух и поверхность роговицы глаза, воздух и стекло), наблюдается сразу два явления: отражение и преломление. Луч частично отражается от поверхности, которая преградила ему путь, и частично проходит сквозь нее, меняя свое направление (рис. 1.1). Изменение направления луча при прохождении границы раздела двух сред с разными рефракционными индексами называется **преломлением** света.

**Угол падения** — это угол  $\alpha$  между падающим лучом **A** и перпендикуляром к границе двух сред, восстановленным в точке падения **O**. **Угол отражения** — это угол  $\beta$  между отраженным лучом **B** и перпендикуляром к поверхности, отразившей луч, восстановленным из точки отражения **O**. **Угол преломления** — это угол  $\gamma$  между перпендикуляром в точке **O** и лучом **C**, который прошел через границу двух сред.

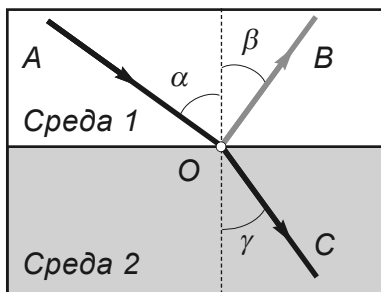


Рис. 1.1. Отражение и преломление света

Отношение скорости света в вакууме  $c$  к скорости света в данной среде  $v$  — ее **абсолютный показатель преломления (рефракционный индекс)  $n$** :

$$n = c/v.$$

Однородная прозрачная среда с одинаковым показателем преломления называется оптической средой. Для любой среды, кроме вакуума,  $n > 1$ . На практике показатель преломления обычно определяют относительно показателя преломления воздуха, который мало отличается от 1 ( $n = 1,000292$ ). Рефракционный индекс — важная характеристика материалов очковых линз.

**Законы отражения света:**

- 1) угол падения равен углу отражения;
- 2) падающий луч, отраженный луч и перпендикуляр к отражающей поверхности в точке падения луча лежат в одной плоскости.

**Закон преломления света:**

- 1) преломленный луч лежит в той же плоскости, что и падающий луч с перпендикуляром к границе двух сред в точке падения;
- 2) отношение синуса угла падения к синусу угла преломления для данных сред не зависит от угла падения, но зависит от длины световой волны:

Величины  $n_1$  и  $n_2$  — **абсолютные показатели преломления** среды 1 и среды 2. Величина  $n_{21}$  называется **относительным показателем преломления** среды 2 относительно среды 1. Если  $n_{21} > 1$ , вторая среда называется оптически более плотной.

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \gamma} = \frac{n_2}{n_1} = n_{21}$$

### 1.1.5. Оптические детали (пластинки, призмы, линзы) и построение изображений в них

**Оптические детали** — это прозрачные тела с одинаковым показателем преломления, ограниченные гладкими оптическими поверхностями заданной формы. Рассмотрим основные оптические детали, применяемые в оптометрической практике.

**Плоскопараллельная пластинка** — прозрачное тело, ограниченное двумя полированными плоскими поверхностями, параллельными между собой. Проходя через такую систему, луч последовательно преломляется на двух границах. Он не меняет направления, а смещается параллельно себе на величину  $a$ , зависящую от толщины пластинки  $d$ , угла падения  $\alpha$  и показателя преломления (рис. 1.2). С другой стороны пластинки кажется, будто источник света  $S$  сместился ближе к ней — возникает мнимое изображение  $S'$ .

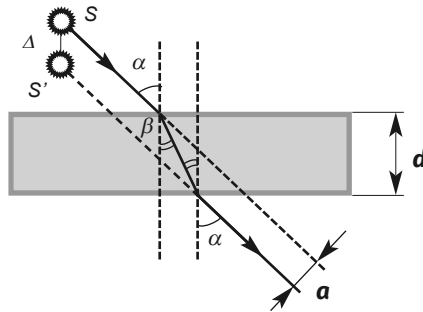


Рис. 1.2. Прохождение светового луча сквозь плоскопараллельную пластинку:  $S$  — источник света,  $\alpha$  — угол падения,  $\beta$  — угол преломления,  $S'$  — кажущееся положение источника света при взгляде с другой стороны пластинки.

**Трехгранная призма** — это прозрачное тело, ограниченное тремя непараллельными плоскими поверхностями, на двух из которых преломляются лучи. Световой луч, падающий под углом  $\alpha$ , на боковую поверхность призмы, проходит сквозь нее и меняет направление, отклоняясь в сторону основания (рис. 1.3). На рисунке 1.3 буквой  $\varphi$  обозначен так называемый преломляющий угол призмы, а буквой  $\delta$  — угол отклонения луча. Величина угла отклонения зависит от преломляющего угла призмы и показателя преломления. При взгляде со стороны второй боковой поверхности призмы источник света  $S$  кажется смещенным. Отклоняющее действие призмы зависит от величины преломляющего угла.

Призматический эффект применяется в оптометрии для коррекции гетеротропии (явного косоглазия) и гетерофории (скрытого косоглазия, которое в отдельных случаях может приводить к зрительному утомлению). Призмы обязательно входят в наборы пробных линз. Очки с призматическим действием всегда подбираются индивидуально. Призматический эффект создается и на периферии обычных сферических линз (см. ниже), поэтому его можно получить, сместив в оправе центр линзы относительно центра зрачка.

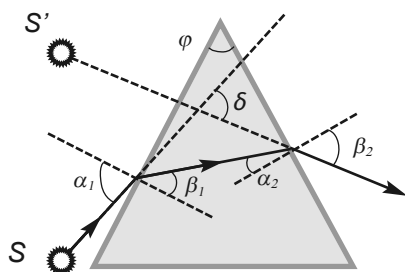


Рис. 1.3. Преломление светового луча в призме

Призма способна разлагать некогерентный белый свет на некогерентные составляющие. Если за призмой, на которую падает луч света, разместить экран, то на нем будет видна радужная полоса — **дисперсионный спектр**, состоящий из основных семи цветов радуги и их оттенков. Это явление называется **дисперсией** (разложением) света и рассматривается в рамках волновой оптики (см. § 1.2.3).

**Линза** — прозрачное тело, ограниченное с двух сторон преломляющими поверхностями, хотя бы одна из которых является поверхностью вращения. На практике чаще всего применяются сферические линзы, обладающие осью симметрии. На рисунке 1.4 показаны совмещенные главные плоскости, оси и фокусы собирающей (см. с. 14) линзы.

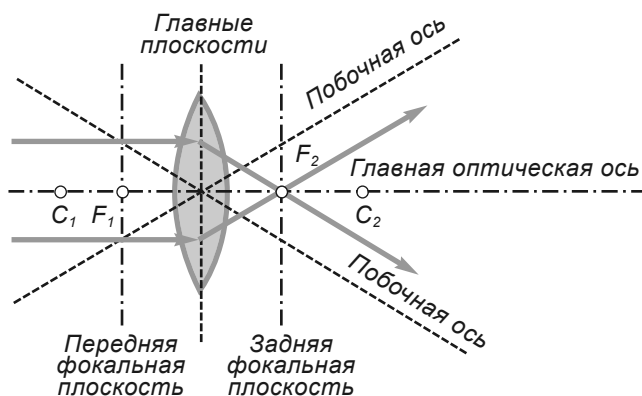


Рис. 1.4. Оптические плоскости, оси и фокусы линзы:  $C_1$  и  $C_2$  — центры кривизны поверхностей,  $O$  — оптический центр,  $F_1$  и  $F_2$  — передний и задний фокусы.

Прямая, проведенная через центры кривизны поверхностей, называется **главной оптической осью** линзы. **Главными плоскостями** линзы называются две сопряженные плоскости (одна является изображением другой), перпендикулярные оптической оси, в которых линейное увеличение равно 1х (см. с. 16–17). В тонких



линзах, толщина которых намного меньше радиусов кривизны поверхностей, обе главные плоскости совпадают в одну. Точка, в которой они пересекаются с главной оптической осью, – **оптический центр** линзы. Все прямые линии, проведенные через оптический центр и не совпадающие с главной осью, называются побочными осями линзы. Лучи, проходящие через оптический центр линзы вдоль главной и побочных осей, не меняют своего направления.

Остальные лучи, проходя через линзу, преломляются дважды (на каждой поверхности). При построении схемы хода лучей в тонкой линзе условно изображается одно преломление в главной плоскости. В каждой линзе различают переднюю и заднюю поверхность, а также передний и задний **фокусы**, расположенные на главной оптической оси по обе стороны от линзы. **Задний фокус** – это точка на главной оптической оси, где пересекаются все параллельные ей лучи (или их продолжения), входящие в линзу. **Передний фокус** – это точка, исходящие из которой лучи выходят из линзы параллельно главной оптической оси.

Расстояние от оптического центра до фокуса называется **фокусным расстоянием** линзы, а плоскости, проходящие через фокусы перпендикулярно оптической оси, – **фокальными плоскостями** (рис. 1.4). Фокусное расстояние зависит от радиусов кривизны преломляющих поверхностей, показателя преломления и толщины линзы. Величина **D**, обратная заднему фокусному расстоянию  $f_2$  (в метрах), называется **оптической силой линзы**:

$$D = 1/f_2.$$

Данная формула применима в воздушной среде, где абсолютный показатель преломления **n** практически равен единице. В более плотной оптической среде (например, воде) оптическую силу необходимо вычислять по формуле:

$$D = n/f_2.$$

Оптическая (преломляющая) сила характеризует степень преломления светового пучка линзой. Она измеряется в диоптриях:

$$D = 1/m = \text{дптр}.$$

**Диоптрии** – основная единица измерений в оптометрии. Согласно российскому ГОСТу, они обозначаются сокращением **дптр**, но на практике широко используется и обозначение **D**, общепринятое за рубежом. За 1 диоптрию принимается оптическая сила линзы, заднее фокусное расстояние которой равно одному метру. Соответственно, при  $f_2 = 0,5$  м оптическая сила составит 2 дптр, при  $f_2 = 0,2$  м – 5 дптр и т. д. Преломляющую силу выпуклых линз обозначают положительным числом, а силу вогнутых линз – отрицательным.

В сложных оптических системах общая преломляющая сила (рефракция) зависит от величины оптической силы каждой линзы, расстояния между линзами и показателя преломления среды, заполняющей промежутки между ними.

В зависимости от **формы поверхностей** линзы бывают сферическими (рис. 1.5), цилиндрическими и торическими (рис. 1.6), а также параболическими и др. **Сферические линзы** делятся на 3 группы:

- 1) **линзы двояковыпуклые и двояковогнутые** (рис. 5, а, г);
- 2) **линзы плоско-выпуклые и плоско-вогнутые** (рис. 5, б, д).
- 3) **линзы вогнуто-выпуклые, или мениски** (рис. 5, в, е).

По оптическим свойствам линзы делятся на **положительные (собирающие)** и **отрицательные (рассеивающие)**. Линза является собирающей при  $f_2 > 0$  и рассеивающей при  $f_2 < 0$ . Положительные (собирающие) линзы: двояковыпуклая (рис. 5а), плоско-выпуклая (рис. 4б), вогнуто-выпуклая (*мениск, утолщающийся к центру*, рис. 5в). Отрицательные (рассеивающие) линзы: двояковогнутая (рис. 5г), плоско-вогнутая (рис. 5д), выпукло-вогнутая (*мениск, утолщающийся к краям*, рис. 5е).

Положительную линзу можно представить в виде ряда призм с основаниями, направленными к середине линзы (рис. 5ж), а отрицательную — в виде совокупности призм с основаниями к краям линзы (рис. 5з). Призма отклоняет луч к основанию. Следовательно, положительные линзы отклоняют лучи к заднему фокусу, собирают их, а отрицательные, наоборот, рассеивают. В собирающих линзах задний фокус — реальная точка собирания лучей, а в рассеивающих — мнимая, расположенная с той же стороны, где находится источник света. Соответственно, рассеивающие линзы всегда дают мнимое изображение действительного предмета, которое глаз преобразует в действительное изображение на сетчатке. Призматическое действие линз растет по направлению к краю.

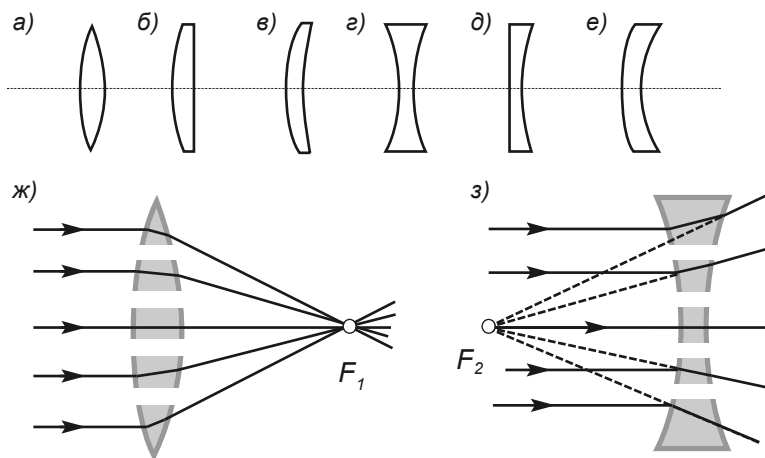


Рис. 1.5. Сферические линзы: а, б, в — положительные, г, д, е — отрицательные; преломление световых пучков в положительной (ж) и отрицательной (з) линзах.

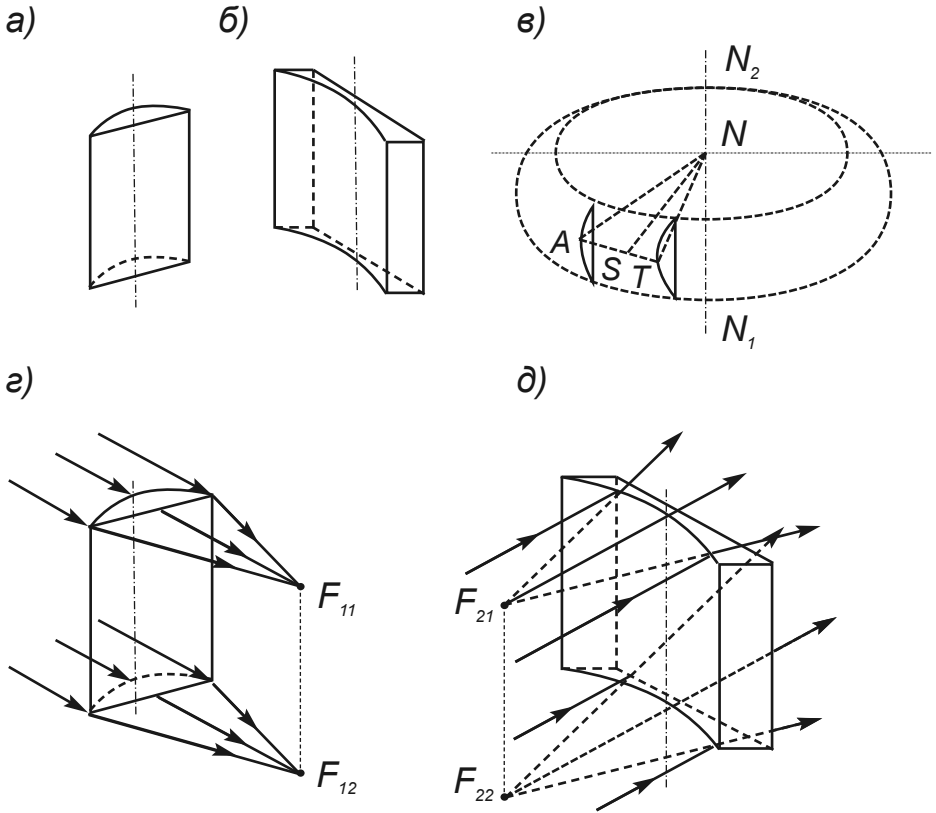


Рис. 1.6. Цилиндрические и торические линзы: а — положительная; б — отрицательная; в — торическая положительная; г, д — преломление лучей в положительной и отрицательной линзах.

**Цилиндрические линзы** ограничены цилиндрической и плоской поверхностью или двумя цилиндрическими. Цилиндрические линзы также бывают собирающими (выпуклыми, рис. 1.6 а, г) или рассеивающими (вогнутыми, рис. 1.6 б, д). Выпуклая цилиндрическая линза собирает лучи не в одну фокусную точку, а в фокальную линию  $F_{11}F_{12}$ , параллельную оси цилиндра (рис 1.6г). Для вогнутой цилиндрической линзы фокальная линия является такой же мнимой, как и мнимый фокус рассеивающих сферических линз (рис. 1.6д). Более сложная форма линз — **торическая**, образованная при вращении дуги по окружности (рис. 1.6в). Преломившись в торической линзе, световой пучок из параллельного становится астигматическим: лучи не собираются в одну точку, а образуют два изображения в виде прямых отрезков под углом друг к другу (см. § 1.1.6). Цилиндрические и торические линзы применяются в оптометрии для коррекции астигматизма (см. § 2.11).

**Правила построения изображений:**

- 1) луч, идущий параллельно главной оптической оси, после преломления в линзе проходит через задний фокус;
- 2) луч, идущий через передний фокус, после преломления в линзе идет параллельно главной оптической оси;
- 3) луч, идущий через центр линзы, не меняет своего направления.

Ход лучей в идеальной собирающей тонкой линзе, соответствующий этим правилам, показан на рис. 1.7, где  $F_1$  и  $F_2$  – передний и задний фокусы,  $O$  – оптический центр линзы,  $f_1$  – переднее фокусное расстояние,  $G$  – предмет,  $B$  – его изображение,  $a_1$  – расстояние от оптического центра до предмета,  $a_2$  – расстояние от оптического центра до изображения. Величина  $V = a_1/a_2$  называется **линейным увеличением**. Она характеризует отношение линейных размеров изображения и предмета.

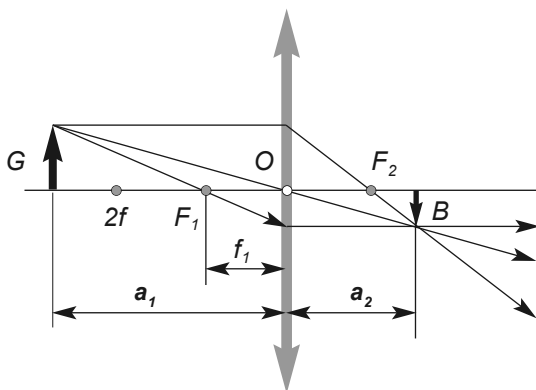


Рис. 1.7. Построение изображения в идеальной собирающей линзе (пояснения в тексте)

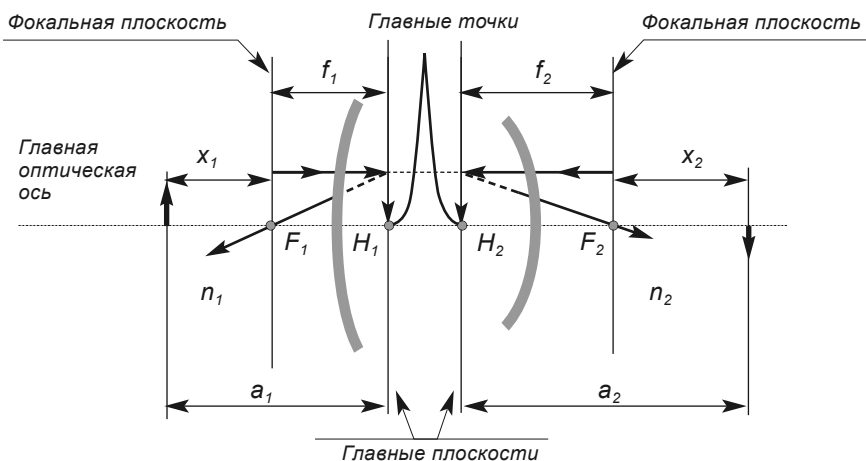


Рис. 1.8. Главная оптическая ось, кардинальные точки, главные плоскости и фокусные расстояния (пояснения в тексте)

Любая оптическая система имеет четыре так называемые **кардинальные точки**, с помощью которых может быть построено изображение предмета. Это передняя и задняя **главные точки**, передний и задний **фокусы** (рис. 1.8). В главных точках  $H_1$  и  $H_2$  с главной оптической осью перпендикулярно пересекаются взаимно сопряженные главные плоскости, линейное увеличение в которых  $V = +1$ . Величина изображения в задней плоскости равна величине объекта в передней плоскости. На главной оптической оси выделяют также две **узловые точки**. Луч, прошедший через переднюю узловую точку под определенным углом к этой оси, после преломления выйдет из задней узловой точки под тем же углом. Узловые точки совпадают с главными, если показатели преломления сред слева и справа от оптической системы одинаковы. Это относится к очковым линзам (воздух — воздух), но не к оптической системе глаза (воздух — водянистая влага и стекловидное тело), поэтому ее узловые и главные плоскости не совпадают (см. схематический глаз Гюльстранда на рис. 2.3 в § 2.1).

Плоскости, проведенные через передний и задний фокусы перпендикулярно главной оптической оси, называются **передней и задней фокальными плоскостями**. Расстояние  $f_2$  от задней главной плоскости до задней фокальной называется **главным (задним) фокусным расстоянием** и является основным параметром любой оптической системы наряду с ее суммарной оптической силой (рефракцией).

#### Основная формула линзы

$$1/a_1 + 1/a_2 = 1/f_2$$

определяет, как положение изображения относительно линзы зависит от положения предмета. Заднее фокусное расстояние  $f_2$  и расстояние  $a_2$  от оптического центра тонкой линзы до изображения считаются положительными для собирающих линз и отрицательными для рассеивающих линз. Изображения предметов, находящихся в условной бесконечности, расположены в заднем фокусе линзы ( $a_2 = f_2$ ). Чем ближе предмет к линзе, тем дальше от нее изображение.

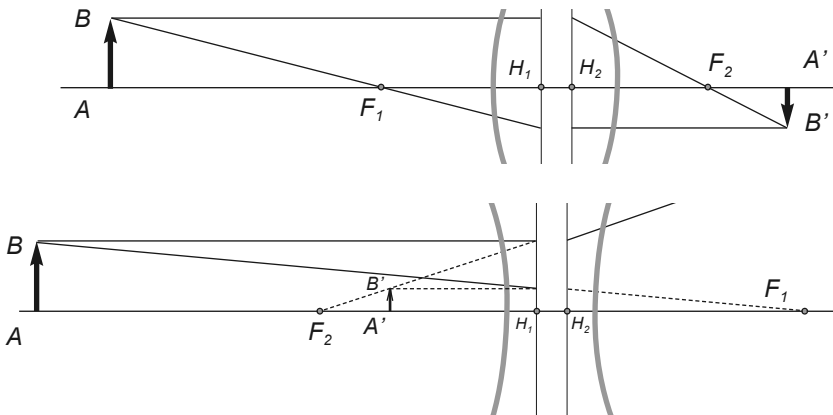


Рис. 1.9. Построение изображения в положительной и отрицательной линзах

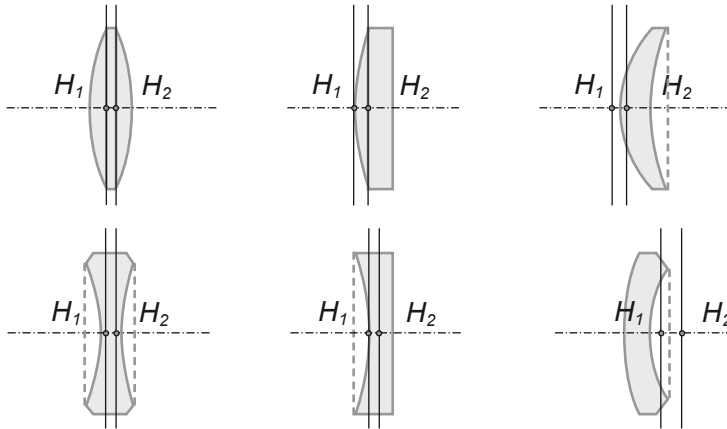


Рис. 1.10. Положение главных плоскостей и точек в линзах разных конструкций

В тонких линзах, как уже говорилось выше, главные плоскости сливаются в одну, а точки  $H_1$  и  $H_2$  — в единый оптический центр. Толстые линзы рассматриваются как оптические системы, и построение изображения в положительной и отрицательной линзах будет выглядеть иначе (рис. 1.9). У линз разной формы главные плоскости расположены по-разному и не всегда симметрично относительно преломляющих поверхностей (рис. 1.10).

### 1.1.6. Геометрические aberrации: сферическая aberrация, кома, астигматизм, дисторсия

До сих пор рассматривались идеальные оптические системы, создающие идеальное, так называемое стигматическое изображение (от греческого *stigmata* «точка»), каждой точке которого соответствует точка предмета. В реальных оптических системах всегда присутствуют погрешности — **aberrации**. Aberrации приводят:

- к потере четкости изображения (точка преобразуется в **фигуру рассеяния**);
- к искажению формы изображаемых объектов;
- к появлению окрашенных контуров по краям изображения.

Aberrации бывают **геометрическими (монохроматическими)** и **хроматическими**. Хроматические aberrации вызваны дисперсией света в линзах и призмах, они рассматриваются в рамках волновой оптики (см. § 1.2.3).

Стигматическое изображение можно получить только в том случае, если изображение создается очень узкими световыми пучками, параллельными главной оптической оси или попадающими в оптическую систему под очень малыми углами к этой оси. В реальных оптических системах, в том числе очковых линзах и глазу человека, эти условия не выполняются. Попадание в оптическую систему широких пучков света вызывает сферическую aberrацию и кому.

**Сферическая абберация** возникает из-за того, что периферия линзы преломляет световые лучи сильнее, чем ее центральная часть. В результате любая сферическая линза дает изображение точечного источника света в виде размытого круглого пятна — **кружка рассеяния** (рис. 1.11). Симметричность пучка относительно главной оптической оси при этом не нарушается. Исправить сферическую абберацию можно тремя способами:

- 1) к рассеивающей линзе подобрать собирающую, к собирающей — рассеивающую (в определенной комбинации);
- 2) добавить к сферической линзе или системе линз линзу **асферической** формы (параболической или гиперболической);
- 3) сузить пучок лучей, попадающих в оптическую систему, поместив в нее апертурную диафрагму (см. § 1.1.2); диафрагмирование ограничивает ширину пучка.

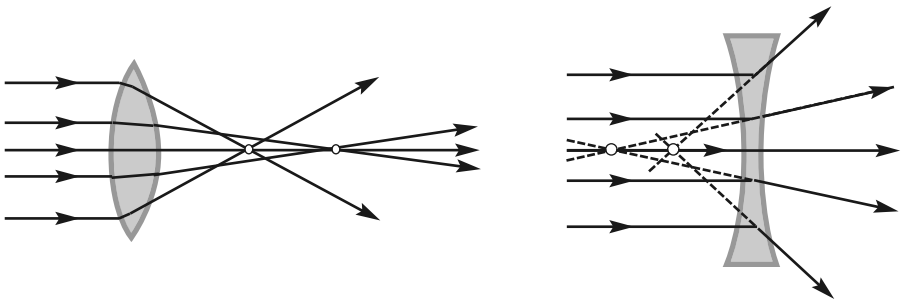


Рис. 1.11. Образование сферической абберации в положительных (а) и отрицательных (б) сферических линзах

**Кома** — геометрическая абберация, возникающая после прохождения через линзу широкого пучка лучей от точки, лежащей не на главной оптической оси, а на побочной (рис. 1.12). Изображение этой точки выглядит как вытянутое, неравномерно освещенное пятно, по форме напоминающее комету и не симметричное по отношению к главной оси.

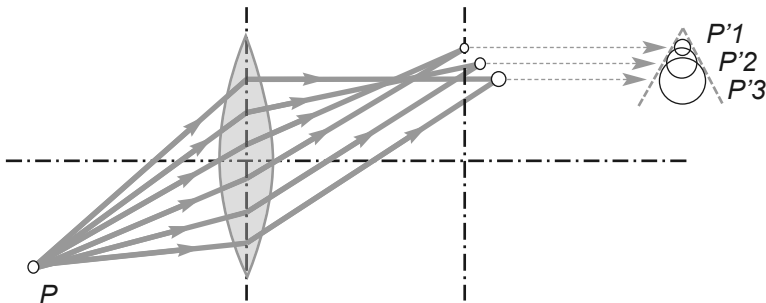


Рис. 1.12. Образование комы при прохождении широкого светового пучка через линзу под углом к главной оптической оси

Сферическая aberrация (4-го порядка) и кома (3-го порядка) относятся к **aberrациям высших порядков**. Заметный вклад в размытие изображения они вносят, например, при фотосъемке светосильными объективами на открытой диафрагме или в человеческом глазу в темное время суток, когда зрачок максимально расширен (см. § 2.5.1).

Попадание в оптическую систему любых наклонных световых пучков (как широких, так и узких) от точек предмета, удаленных от главной оптической оси, приводит к дисторсии и астигматизму. Эти aberrации нельзя исправить диафрагмированием, так как они проявляются и на узких пучках.

**Астигматизм наклонных пучков** — невозможность получить после их прохождения через сферическую линзу точечное (стигматическое) изображение. Если предмет **S** расположен на заметном расстоянии от оптической оси, идущий от него пучок света составляет значительный угол с ней. В этом случае изображение **S'** получается не в виде точки, а в виде двух **фокальных линий** — перпендикулярных друг другу отрезков, лежащих в разных плоскостях (рис. 1.13). Расстояние между фокальными линиями называется **астигматической разностью** и определяет величину астигматизма. Для исправления астигматизма наклонных пучков применяются анастигматы — оптические системы из нескольких линз, компенсирующих астигматизм друг друга.

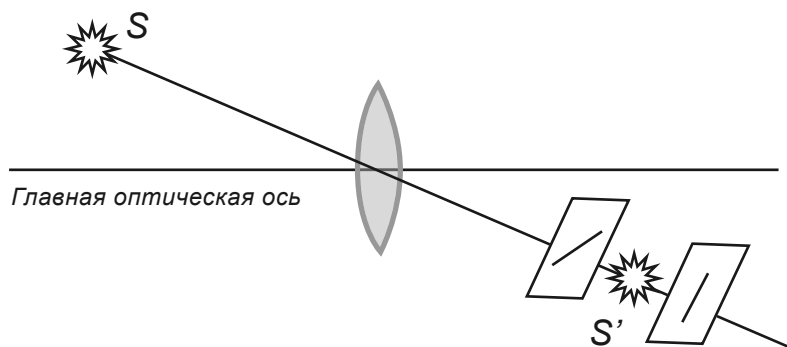


Рис. 1.13. Астигматизм наклонных пучков

**Астигматизм, связанный с асимметрией оптической системы**, приводит к тому же результату независимо от направления световых пучков. Он вызван тем, что сферичность реальных линз, как правило, не идеальна, и они преломляют лучи по-разному в вертикальном (меридиональном) и горизонтальном (сагиттальном) сечениях, которые называют **главными сечениями астигматизма**. При таком астигматизме нет ни одной точки, в которой сошлись бы все световые пучки, прошедшие через оптическую систему (рис. 1.14). Из рис. 1.14 видно, что в зависимости от расположения экрана (в человеческом глазу — сетчатки) изображение точки на нем будет иметь вид либо горизонтального отрезка, либо горизонтального овала, либо круга (так называемого **круга наименьшего рассеяния**), либо вертикального овала, либо вертикального отрезка.



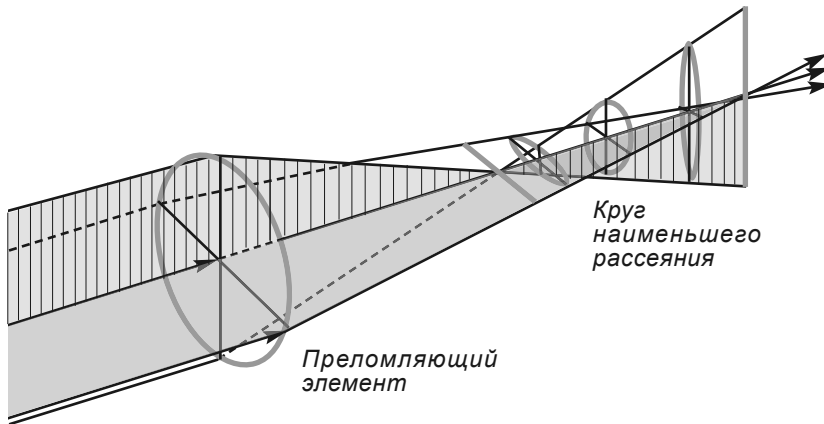


Рис. 1.14. Ход световых лучей в оптической системе при астигматизме

На практике при изготовлении линз свести астигматизм к минимуму очень трудно. Неудивительно, что такой астигматизм всегда присутствует и в глазу человека из-за несферичности роговицы и хрусталика (см. § 2.11). Природный астигматизм глаза можно исправить астигматическими очковыми или торическими контактными линзами, а также с помощью рефракционной хирургии. В оптометрии главные сечения астигматизма принято называть **главными меридианами** (в соответствии с топографией роговицы и глазного яблока).

**Дисторсия** — это искажение изображения из-за непостоянства величины линейного увеличения  $V$  (см. § 1.1.5) от центра к периферии линзы. Изображение прямоугольной сетки становится подушкообразным, если линза положительная, или бочкообразным, если линза отрицательная (рис. 1.15). Дисторсия искажает изображение, но не влияет на резкость, в отличие от всех геометрических аберраций, перечисленных выше.

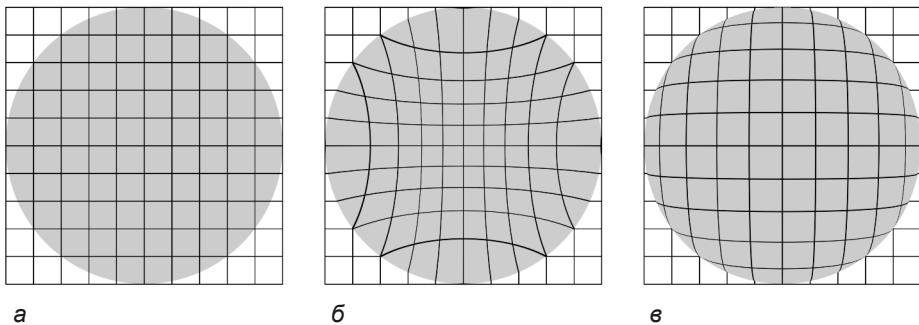


Рис. 1.15. Дисторсия: исходное изображение (а), «подушка» (б) и «бочка» (в)

## § 1.2. Элементы волновой оптики

Некоторые явления, рассматриваемые в волновой оптике, также имеют практическое значение для оптометрии.

### 1.2.1. Интерференция света

**Интерференция света** связана с корпускулярно-волновым дуализмом: в одних случаях свет ведет себя как поток частиц (фотонов), в других — как электромагнитная волна. Интерференция света — наложение когерентных электромагнитных волн оптического диапазона. В процессе распространения световых волн из-за интерференции происходит их взаимное усиление или гашение. Результат интерференции света, который можно наблюдать на экране, — **интерференционная картина**, состоящая из чередующихся темных и светлых колец или полос.

### 1.2.2. Дифракция

Интерференция приводит к такому явлению, как **дифракция**. Дифракция — это отклонение световых волн из-за малых препятствий, оказавшихся на их пути. Примером такого препятствия может быть небольшое отверстие в непрозрачном теле, например, зрачок в радужной оболочке глаза. В результате вместо резкой границы между светом и тенью, как требовали бы законы геометрической оптики, получается сложная картина распределения интенсивности света. Каждой точке предмета в изображении соответствует не точка, а светлое пятно, окруженное интерференционными кольцами. Дифракция присутствует в любой оптической системе, поскольку входящий световой пучок всегда в той или иной степени ограничен входным зрачком.

Именно от дифракции зависит предел **разрешающей способности** оптической системы — минимального углового расстояния между двумя точками, при котором они воспринимаются как отдельные. Чем уже входной зрачок, тем сильнее дифракция. Если в оптической системе имеется подвижная апертурная диафрагма, то при уменьшении отверстия дифракция начинает заметно влиять на оптическое разрешение. В глазу человека дифракция ухудшает резкость изображения, получаемого на сетчатке, при диаметре зрачка менее 2 мм (§ 2.5.1).

### 1.2.3. Дисперсия света и хроматические aberrации

**Дисперсия (разложение) света** — зависимость абсолютного показателя преломления света  $n$  (см. § 1.1.4) от частоты падающей на данное вещество световой волны (или от длины волны в вакууме). Световые волны разной длины в одной и той же среде преломляются с разной силой. Самый известный и наглядный пример — эффект разложения видимого света призмой на радужный спектр. Каждому из условно выделяемых семи основных цветов радуги соответствует определенный диапазон длин световых волн. Смешение всех семи цветов дает **полихроматический белый цвет**. Радуга после дождя и красный цвет солнца на закате — также проявления дисперсии.

Поскольку в реальном мире мы наблюдаем не монохроматический, а полихроматический (смешанный) свет, дисперсия вызывает побочный оптический эффект —

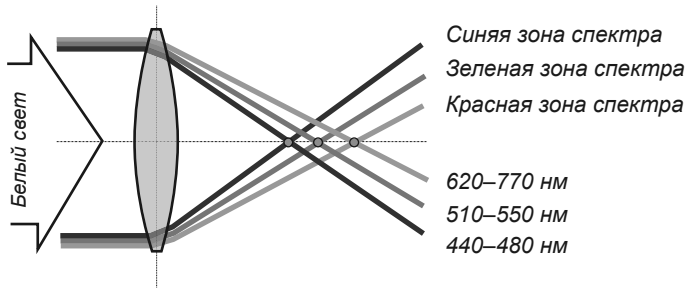


Рис. 1.16. Хроматизм положения: зависимость фокусных расстояний от длины световых волн

хроматические aberrации. **Хроматическая aberrация**, или **хроматизм**, — окрашивание изображения, возникающее из-за дисперсии света при прохождении через преломляющий элемент (линзу или призму). Различают хроматизм положения и хроматизм увеличения.

**Хроматизм положения**, или **продольная (осевая) хроматическая aberrация**, наблюдается на главной оптической оси. Фокусы световых волн разной длины не совпадают, синий свет преломляется сильнее, чем красный. В итоге изображение точечного источника белого света выглядит как набор концентрических цветных колец (рис. 1.16). Последовательность цветов колец зависит от положения экрана. Из-за хроматизма положения в эмметропическом глазу человека лучи синей части спектра фокусируются перед сетчаткой, а лучи красной части спектра — за ней (§ 2.8). Это заметно снижает резкость изображения при широко открытом зрачке. Уменьшение апертурной диафрагмы снижает осевой хроматизм, а комбинирование собирающей и рассеивающей линз исправляет его.

**Хроматизм увеличения**, или **поперечная хроматическая aberrация**, наблюдается как радужная кайма по краям изображения в фокальной плоскости. Из-за дисперсии изображение имеет разные размеры в лучах разного спектра (рис. 1.17). Это обусловлено разной степенью преломления пучков света, падающих под углом к главной оптической оси. Вместо изображения точки получается цветная линия.

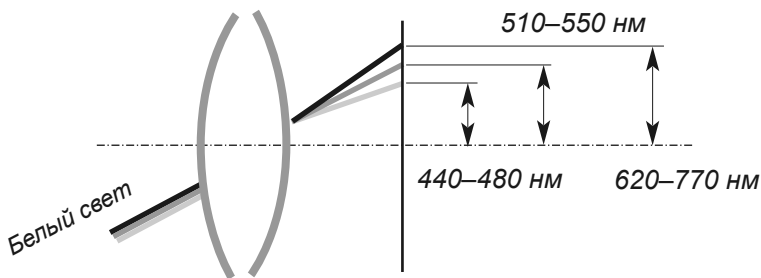


Рис. 1.17. Хроматизм увеличения: зависимость размеров изображения от длины волн косых пучков света

### 1.2.4. Число Аббе

Физическая мера дисперсии в прозрачных средах — **число Аббе**, или **коэффициент дисперсии**. Чем меньше его значение, тем сильнее дисперсия и вызванные ею хроматические aberrации. В очковой оптике это одна из основных характеристик материала очковых линз (см. § 4.1.2). Чем выше показатель преломления материала, тем ниже число Аббе.

### 1.2.5. Поляризация света

**Поляризация света** — характеристика поперечных волн, описывающая направление вектора колеблющейся величины. Электромагнитные волны видимого света — поперечные волны, у каждой из них есть два вектора колебаний: электрический вектор **E** и магнитный вектор **H**. Они всегда перпендикулярны друг другу и лежат в плоскости, перпендикулярной направлению распространения световой волны **N**. Но в пределах этой плоскости направление векторов **E** и **H** может меняться.

Естественный свет — смесь световых волн со всеми вероятными направлениями поляризации (рис. 1.18а), поэтому он всегда неполяризован. Частично поляризованным солнечный свет становится лишь после отражения от ровных горизонтальных поверхностей — снега, льда, песка, водной глади, автотрассы. Полностью поляризованный свет можно получить с помощью прозрачной пластинки, пропускающей только лучи с колебаниями вектора **E** в одной определенной плоскости. Такой луч называется **плоскополяризованным**, или **линейно-поляризованным**, а плоскость, проходящая через векторы **E** и **N**, — **плоскостью поляризации** (рис. 1.18б).

Устройства, позволяющие преобразовать естественный свет в поляризованный, называют **поляризаторами**. К ним относятся, например, поляризационные светофильтры для фото- и кинообъективов, а также солнцезащитные очки со встроенной в линзы прозрачной поляризационной пленкой. Эффект поляризации используется для того, чтобы блокировать отражения света от разных поверхностей. Это уменьшает рассеянный свет неба, повышает общий контраст и четкость изображения, усиливает насыщенность цветов, удаляет блики.

Блики, отраженные от горизонтальных поверхностей, могут быть опасны для водителей транспортных средств. В лучшем случае они становятся постоянной помехой, усиливающей зрительное утомление. Особенно яркие блики могут временно ослепить водителя. Поэтому в поляризационных очках встроенные фильтры ориентированы таким образом, чтобы отсекал горизонтальный поляризованный свет.

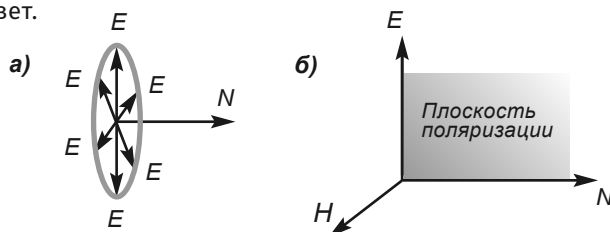


Рис. 1.18. Неполяризованная (а) и поляризованная (б) электромагнитная световая волна

## Оптика глаза и основы физиологии зрения

### § 2.1. Строение глаза и общее описание зрительной системы

Сотрудникам современных оптических салонов часто приходится работать как с диагностическим оборудованием, так и с достаточно сложными средствами оптической коррекции – призматическими и прогрессивными очками, мультифокальными контактными линзами. Многие клиенты приходят в салоны уже с предубеждением против оптической коррекции зрения, которое сформировалось у них под влиянием антинаучных лечебных методик. Поэтому специалисты, работающие в салонах оптики, должны хорошо разбираться в принципах работы зрительной системы.

Важно понимать, что состояние зрительной функции тесно связано со свойствами глазных тканей, с работой целого ряда природных регуляторных механизмов. Оптику глаза нельзя рассматривать чисто схематически, вне связи с физиологией зрения. В отличие от рефракционной хирургии, оптическая коррекция зрения – процедура обратимая. Однако и она прямо влияет на физиологические процессы, происходящие в глазах. В случае неправильно подобранной коррекции это влияние иногда все же оказывается необратимым. Например, недокоррекция детской близорукости, согласно последним научным данным, ведет к ускоренному росту глаза по передне-задней оси и, следовательно, к прогрессированию миопии. Поэтому любому сотруднику оптического салона, от продавца-консультанта до оптометриста, необходимо знать основы физиологии зрения.

**Глаз взрослого человека** – это, упрощенно говоря, сфера диаметром около 24 мм, состоящая из трех слоев (*рис. 2.1*). Наружная прочная фиброзная оболочка примерно на 5/6 состоит из непрозрачной склеры, а на 1/6 – из прозрачной роговицы, в которую переходит склера в передней части глаза. По форме роговица представляет собой участок эллипсоида, выступающий над сферической поверхностью склеры; свойства и строение роговицы подробно рассмотрены в § 2.4. Изнутри к склере прикреплены два других слоя: сосудистая оболочка, обеспечивающая питание тканей глаза, и сетчатка (§ 2.6.2), переводящая свет в нервные сигналы, на основе которых в головном мозге формируется изображение.

Фиброзная оболочка глаза (ФОГ) состоит из упругих и одновременно эластичных коллагеновых пластин, а также расположенных вдоль них эластичных волокон. Жесткость, или ригидность, ФОГ – важное ее свойство, обеспечивающее стабильность формы глазного яблока и делающее ФОГ прочным «защитным кожухом» этого природного оптического прибора. Не менее важным свойством ФОГ является эластичность. В современных исследованиях отмечается, что благодаря микрофлуктуациям склеры регулируется внутриглазной объем, поддерживается необходимый стабильный уровень внутриглазного давления (ВГД), обеспечивается отток отработанной водянистой влаги. Сравнительно недавно выяснилось, что с возрастом ФОГ теряет эластичность и становится жестче. У пожилых людей ригидность склеры может увеличиться в 1,5–2 раза. Исследователи

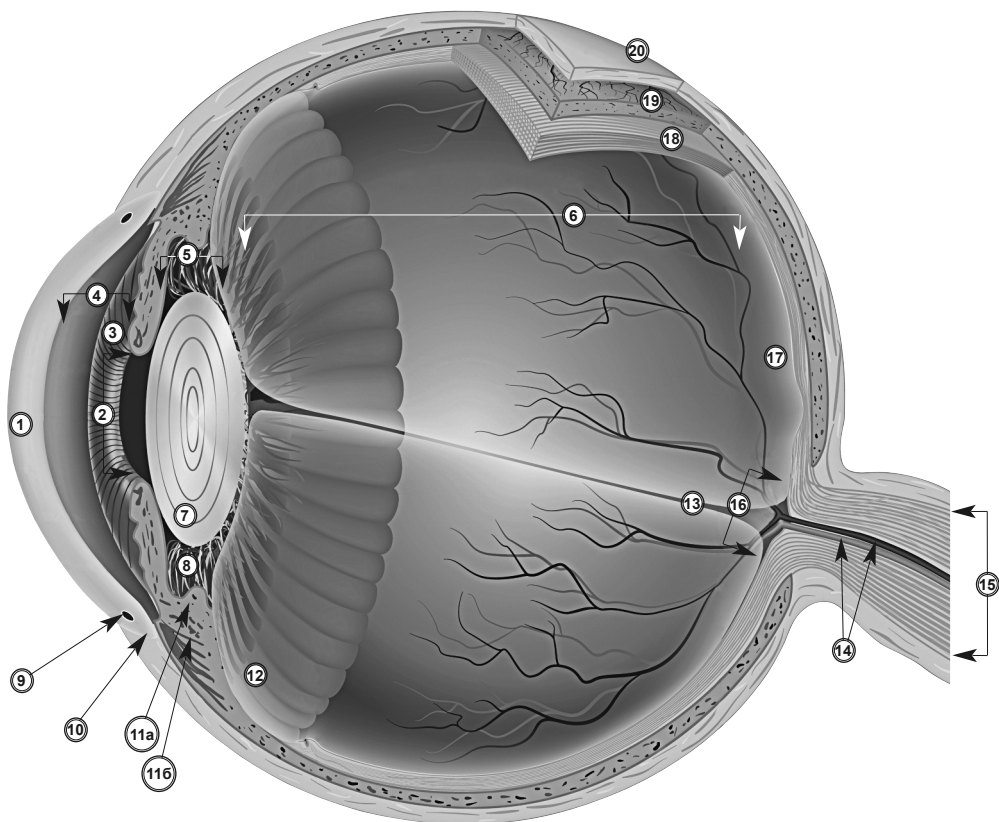


Рис. 2.1. Анатомическое строение глаза человека

1 – роговица (прозрачная часть ФОГ); 2 – зрачок; 3 – радужная оболочка; 4 – передняя камера глаза; 5 – задняя камера; 6 – витреальная камера; 7 – хрусталик; 8 – ресничный пояс (цинновы связки); 9 – шлеммов канал; 10 – лимб; 11 – цилиарное (ресничное) тело\*; 12 – зубчатый край сетчатки; 13 – гиалоидный канал; 14 – центральные артерия и вена сетчатки; 15 – зрительный нерв; 16 – диск зрительного нерва; 17 – центральная ямка (фовеа); 18 – сетчатка (ретины); 19 – сосудистая оболочка (хориоидея); 20 – склера (непрозрачная часть ФОГ).

\* Цилиарное тело состоит из двух частей: цилиарной мышцы (11а) и цилиарных отростков (11б).

И. Н. Кошиц и профессор О. В. Светлова связывают это с тем, что более жесткий поверхностный слой склеры, лишенный эластических волокон, быстрее стареет и сдавливает слои, лежащие под ним. В результате ВГД растет. В глаукомном глазу склера может быть в 3–5 раз жестче по сравнению со здоровым молодым глазом.

Снаружи к каждому главному яблоку крепятся шесть экстраокулярных мышц, управляющих его движениями. Благодаря этому можно и менять направление взгляда, и фиксировать его на определенном предмете или направлении. Согласованное действие экстраокулярных мышц обоих глаз в норме обеспечивает бинокулярное зрение (§ 2.10). Под влиянием наружных мышц глазное яблоко может сдавливаться и слегка деформироваться, что является одним из дополнительных механизмов аккомодации (§ 2.9). Кроме плавных следящих движений, которые происходят при осознанном переводе взгляда, оба глаза постоянно совершают произвольные сканирующие микродвижения, которые играют важную роль в зрительном восприятии.

Важнейшая функция глаз – преобразование световых сигналов из окружающей среды в нервные импульсы, которые затем передаются в зрительную кору головного мозга. В природе от предметов отражается рассеянный свет: световые лучи от каждой точки исходят в разных направлениях. Если бы не оптика глаза, мы могли бы различать только уровень освещенности, но не контуры предметов. Как известно из геометрической оптики, чтобы сфокусировать изображение на экране, необходимо поместить перед ним собирающую линзу. Эту роль и выполняет оптическая система глаза в целом.

Первоначальное преломление света происходит на границе раздела воздуха и слезной пленки – двух сред с разными рефракционными индексами. Благодаря слезной пленке, в норме покрывающей роговицу сплошным слоем, также поддерживается гладкость передней оптической поверхности и обеспечивается наилучшее качество изображения (§ 2.4.1). Слезная пленка и передняя поверхность роговицы собирают лучи, а задняя поверхность слегка рассеивает (§ 2.4.3), что позволяет расширить собирающие возможности хрусталика по его краям.

Затем свет попадает в переднюю камеру глаза, заполненную прозрачной водянистой влагой. Здесь на его пути стоит радужная оболочка, или радужка – тонкая непрозрачная ткань с отверстием в центре, размер которого зависит от реакции мышц на яркость светового фона (§ 2.5.1). Радужная оболочка выполняет функцию апертурной диафрагмы оптической системы глаза (§ 1.1.2). Размер центрального отверстия ограничивает количество света, проходящего в глаз, влияет на глубину резкости изображаемого пространства и качество изображения на сетчатке.

За радужной оболочкой и пространством передней камеры находится задняя камера глаза, ограниченная хрусталиком (§ 2.5.2). Если роговица – практически неподвижная выпукло-вогнутая линза-мениск, то хрусталик – активный оптический элемент. Под действием цилиарной мышцы эта двояковыпуклая линза меняет кривизну поверхностей и, следовательно, оптическую силу. Это основной механизм аккомодации (§ 2.9), позволяющий глазу фокусироваться на разных дистанциях. Хрусталик – многослойная структура, ядро которой с возрастом становится все менее эластичным. Примерно с 45-летнего возраста люди постепенно теряют способность сохранять близкие объекты в фокусе.

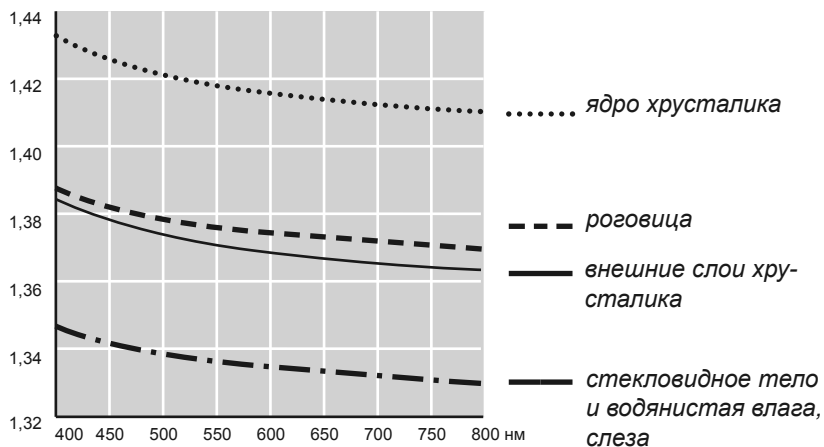


Рис. 2.2. Показатели преломления различных оптических сред глаза в зависимости от длины световой волны

После того как свет преломляется хрусталиком, он входит в витреальную камеру, заполненную прозрачным стекловидным телом. К этому времени свет успевает пройти через несколько преломляющих поверхностей: воздух/слеза, слеза/роговица, роговица/водянистая влага передней камеры, водянистая влага/хрусталик, хрусталик/стекловидное тело. У сред глаза разные показатели преломления, на рис. 2.2 показана их зависимость от длины световой волны. Средние значения приводятся ниже на рис. 2.3а. Полностью совпадают только индексы преломления слезы, водянистой влаги и стекловидного тела, которые очень близки по химическому составу и оптическим свойствам. Сильнее всего показатель преломления изменяется на границе между воздухом и слезной пленкой. Следующие изменения рефракции, как уже говорилось, происходят на поверхностях роговицы и хрусталика, а водянистая влага и стекловидное тело лишь исполняют роль светопроводящей среды.

Итак, в передней камере содержится собирающая система, состоящая из двух линз. Первая линза практически неподвижна, а вторая регулируется с помощью цилиарной мышцы (ЦМ). Суммарная **рефракция (преломляющая сила)** оптической системы глаза составляет приблизительно 58 дптр при среднем тоне ЦМ, в спокойном состоянии, и до 70 дптр при максимальном напряжении. Оптический центр системы расположен на расстоянии приблизительно 5,6 мм от роговицы по главной оптической оси, которую в офтальмологии принято называть также *передне-задней осью глаза* (§ 2.2). На рефракцию глаза влияют не только показатели преломления, но и радиусы кривизны преломляющих поверхностей, а также расстояния между ними. Эти величины немного отличаются у разных людей. В качестве модели оптической системы глаза обычно используется **глаз Гультранда** – схема, созданная в 1909 году на основе множества усредненных данных (рис. 2.3 и табл. 2.1). На ней показано расположение главных оптических плоскостей относительно передней вершины роговицы.



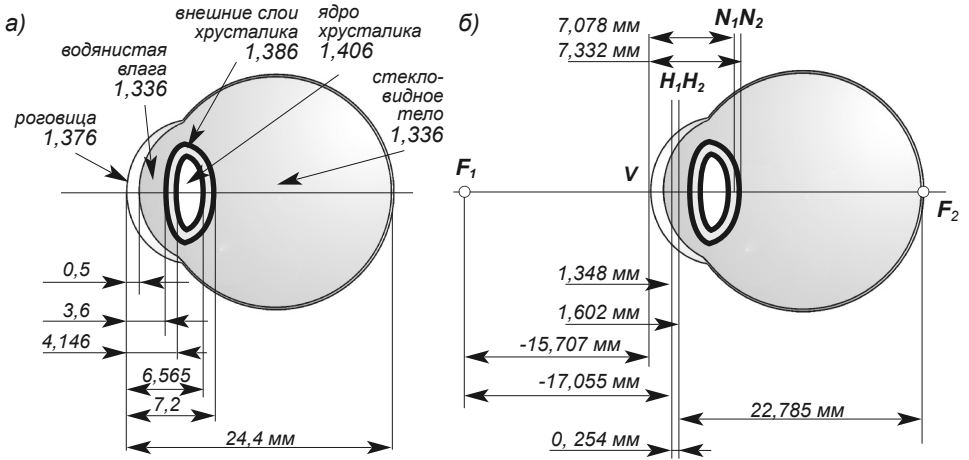


Рис. 2.3. Схематический глаз Гульстранда: а – показатели преломления разных сред глаза человека и расстояния преломляющих поверхностей от передней вершины роговицы (мм); б – расположение главных оптических плоскостей относительно передней вершины роговицы (мм):  $V$  – передняя вершина роговицы,  $F_1$  – передняя фокальная плоскость,  $F_2$  – задняя фокальная плоскость,  $H_1$  – передняя главная плоскость,  $H_2$  – задняя главная плоскость,  $N_1$  – передняя узловая плоскость,  $N_2$  – задняя узловая плоскость.

Пройдя через всю оптическую систему глаза, свет достигает сетчатки, где формируется действительное, перевернутое, уменьшенное изображение (§ 2.3). В идеальном глазу без нарушений рефракции фокус должен располагаться прямо на сетчатке. Это нервная ткань с очень сложным строением, содержащая светочувствительные клетки. Она тонким слоем покрывает заднюю внутреннюю часть глазного яблока. Сетчатка является одновременно и экраном, на котором формируется изображение, и устройством, преобразующим свет в электрохимические сигналы.

	При среднем тонусе аккомодации	При макси- мальной аккомодации
Преломляющая сила, дптр	58,64	70,57
Положение передней главной точки, мм	1,348	1,77
Положение задней главной точки, мм	1,602	2,09
Положение передней фокальной плоскости, мм	-15,707	-17,055
Положение задней фокальной плоскости, мм	24,387	21,02
Заднее фокусное расстояние, мм	22,785	18,93
Положение фовеа, мм	24,00	
Осевая рефракция, дптр	+1,00	-9,60
Положение входного зрачка, мм	3,05	2,69

Таблица 2.1. Данные схематического глаза (по Гульстранду)

Нетрудно заметить, что оптическая система каждого отдельно взятого глазного яблока имеет много общего с фотоаппаратом, и ее работу можно описать в привычных схемах геометрической оптики. Роговица, радужка, хрусталик и прозрачные среды внутренней полости глаза образуют «объектив» с подвижной диафрагмой, а роль фотопленки или цифровой матрицы выполняет сетчатка, на которую проецируется перевернутое изображение объекта. Однако, если внимательнее присмотреться к устройству сетчатки и зрительного анализатора в целом, сходство с фотокамерами совершенно исчезает.

Прежде всего, сетчатка – сферический экран, причем основная часть фоторецепторов сосредоточена в самом его центре. Здесь немного в стороне от оптической оси находится желтое пятно, или макула, а посреди макулы – центральная ямка, или фовеа (§ 2.6.2). В макуле и особенно в центральной ямке светочувствительные клетки расположены очень плотно, чтобы обеспечить высокое разрешение центрального зрения. Даже при фиксации взгляда на неподвижном предмете глаз постоянно совершает автоматические микродвижения – **саккады**, чтобы зафиксировать нужные детали именно в этой зоне. Периферийные зоны сетчатки дают низкое разрешение, но помогают собирать дополнительную информацию и обнаруживать объекты в поле зрения. Итоговые сигналы отправляются в зрительную кору по зрительному нерву. Место, где он входит внутрь глаза, называется диском зрительного нерва. Это слепое пятно – зона сетчатки, полностью лишенная светочувствительных клеток.

Как видно из табл. 2.1, фокусное расстояние глаза человека приблизительно равно 22,8 мм. Глазное дно округлено, на периферии сетчатки детализация изображения гораздо слабее, чем в центре. Синхронное использование двух глаз дает угол четкого зрения от 130 до 160 градусов бинокулярно в зависимости от межзрачкового расстояния (§ 2.10). Это довольно большое поле зрения по сравнению с большинством искусственных оптических систем. Два плоских изображения на сетчатках обоих глаз объединяются в бинокулярное, которое превращается в трехмерный зрительный образ уже в головном мозге.

Процессы преобразования нервных сигналов в зрительной коре мозга исключительно сложны и до сих пор изучены лишь поверхностно. Эти проблемы выходят за рамки данного учебного пособия. Важно понимать главное: зрительный образ в мозге невозможно свести к сумме центральных полей зрения обоих глаз. Образ окружающего мира непрерывно создается из отдельных фрагментов и корректируется в соответствии с поступающими новыми данными. Поэтому глаз человека уместно сравнивать не с фотоаппаратом, а с камерой, встроенной в головку сканера, или с подвижной экшн-камерой.

Люди получают через зрительный канал до 60% информации об окружающем мире, а не 80–90%, как считалось ранее, поскольку мозгу приходится постоянно оценивать информацию, получаемую сразу от всех органов чувств. При этом мозг очень часто тормозит или забегает вперед, дополняет, исправляет или даже принципиально игнорирует реальные зрительные данные, чтобы привести их в соответствие с привычным опытом. Наше сознание постоянно дорисовывает или трансформирует «непонятные» картины реальности за счет похожих образов, хранящихся в памяти. На этом свойстве мозга основаны многочисленные примеры обмана зрения.

С чисто оптических позиций глаз человека – прибор довольно простой и несовершенный. Но недостатки оптики компенсируются за счет постоянного сканирования пространства, бинокулярности и сложнейших процессов обработки информации в зрительной коре. Зрение – очень энергозатратный процесс, поэтому живые организмы, оказавшиеся в экстремальных условиях обитания, без колебаний жертвуют им в пользу других органов восприятия. Например, пещерные животные слепы и за счет этого экономят до 15% энергии. Человек тратит на зрение более 50% энергии, получаемой вместе с едой.

## § 2.2. Главные оптические оси и плоскости глаза

Для описания формы глазного яблока и оптики глаза условно выделяется несколько важнейших точек, осей и плоскостей.

**Передний полюс глаза** находится в центре поверхности роговицы, задний полюс – в задней части склеры, напротив переднего и на одной линии с ним, проходящей через геометрический центр глазного яблока. Эта линия называется **геометрической осью глаза**. Условный геометрический центр расположен в 12 мм от переднего полюса и не совпадает с центром вращения глазного яблока. Поскольку наружные мышцы оказывают на глаз очень сложное воздействие, точно определить центр вращения невозможно. Примерный центр вращения глазного яблока в горизонтальной плоскости находится в 15 мм от переднего полюса.

**Внутренняя ось глазного яблока** – отрезок геометрической оси, соединяющий внутренние поверхности роговицы и склеры. Все точки склеры, равноудаленные от обоих полюсов, образуют **геометрический экватор глаза**. Реальный глаз всегда немного асимметричен, все оболочки глазного яблока с назальной стороны сокращены, а с темпоральной (височной) расширены. Это приводит к тому, что и реальный анатомический экватор слегка перекошен относительно геометрической оси. Фронтальная плоскость, проведенная через экватор, условно делит глаз на переднюю и заднюю половины.

Перечисленные термины используются для описания геометрии глазного яблока, но могут служить и дополнительными ориентирами для описания оптики глаза. Выше на схематическом глазе Гульстранда (рис. 2.3) показаны основные

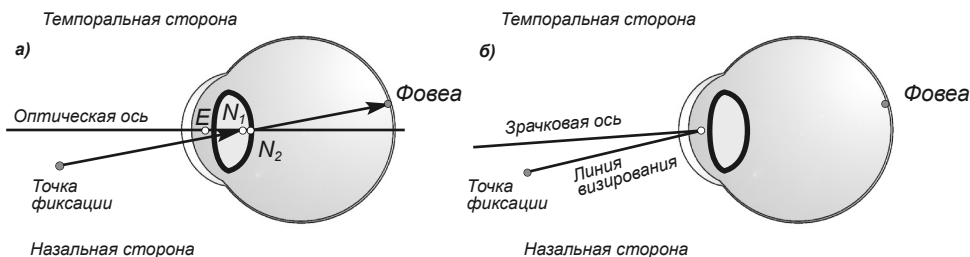


Рис. 2.4. Оптические оси глаза

оптические плоскости глаза, проходящие перпендикулярно геометрической оси через фокусные, главные и узловые точки (*эти понятия подробно объяснены в § 1.1.5*). Сложнее обстоит дело с оптическими осями зрительной системы.

В искусственных оптических системах оптические элементы, как правило, осесимметричны. У каждой оптической поверхности есть центр кривизны, а центры кривизны всех поверхностей лежат на оптической оси – прямой линии, проходящей через геометрический центр системы (§ 1.1.5). Например, производители фотообъективов или подзорных труб добиваются как можно лучшей центрации, выравнивания линз по оптической оси. Плохая центрация ведет к техническому браку – кривизне поля изображения (неравномерной резкости), коме и другим аберрациям.

Глаз человека – живая оптическая система, созданная природой, и применительно к нему оптическая ось – понятие чисто теоретическое. Истинную оптическую ось можно было бы провести, если бы поверхности роговицы и хрусталика были осесимметричны, как линзы в качественном телескопе-рефракторе. В этом случае их центры кривизны должны лежать на одной линии, перпендикулярной каждой из оптических поверхностей. Разместив перед таким идеальным глазом точечный источник света и наблюдая отражения (изображения Пуркинье), можно было бы найти такое положение источника, при котором все изображения совпадают. Линия, проведенная через источник света и все изображения Пуркинье, и была бы оптической осью. Однако в реальном глазу оптические поверхности не осесимметричны, а изображения Пуркинье никогда не совпадают полностью, так что не существует ни одного глаза с истинной оптической осью. **Оптическая ось глаза** иногда определяется как линия, на которой изображения Пуркинье отклоняются друг от друга минимально. С ней совпадает **передне-задняя ось глаза (ПЗО)**, соединяющая передний и задний полюса.

Традиционно выделяется несколько осей в человеческом глазу, а также разные углы между ними и точки пересечения с передней поверхностью роговицы. Основные оси показаны на *рис. 2.4*, на схеме правого глаза в горизонтальном разрезе (вид сверху). Хорошо заметно, что оптическая ось не совпадает с зоной фовеа, играющей ключевую роль в зрительном восприятии. Желтое пятно с ямкой децентрировано – смещено примерно на 5 градусов в темпоральную сторону по отношению к точке пересечения оптической оси с сетчаткой (*рис. 4а*). На рисунке показано расположение зоны фовеа, центра зрачка **E** и узловых оптических точек **N<sub>1</sub>** и **N<sub>2</sub>** относительно ПЗО, а также **зрительная ось**, или **ось фиксации**. Если глаз смотрит на точку фиксации, зрительная ось определяется как линия, соединяющая точку фиксации с передней узловой точкой **N<sub>1</sub>**, а затем идущая к зоне фовеа. Стоит отметить, что хрусталик также может быть наклонен или децентрирован относительно роговицы.

Несовпадение зрительной оси с оптической – одна из нерешенных пока загадок эволюции. Отчасти это компенсируется тем, что отверстие зрачка обычно тоже слегка децентрировано в противоположную, назальную сторону. Теоретически расположение зрительной ямки прямо на оптической оси обеспечивало бы лучшее качество изображения, сводя к минимуму аберрации. С другой стороны, в зарубежных исследованиях отмечается, что продольные хроматические

абберации в зоне фовеа помогают мозгу быстрее реагировать на дефокус и включать механизм аккомодации (§ 2.9), чтобы изображение снова стало резким. Это может быть одним из ключей к другой нерешенной загадке: как мозг определяет максимальную степень резкости и правильность наводки глаза на фокус? На рис. 2.4б показаны две дополнительные оси глаза. **Зрачковая ось** проходит через центр зрачка. Эта ось находится на линии, соединяющей первое изображение Пуркинье с центром зрачка. Вторая ось на этом рисунке – линия визирования, или **линия взора**. Эти оси не совпадают, между ними есть небольшой угол, который чаще всего обозначается греческой буквой гамма. У гиперметропов этот угол больше, чем у миопов.

**Задняя фокальная плоскость глаза** – условная плоскость, проходящая через задний фокус его оптической системы и перпендикулярная оптической оси. В идеальном глазу без малейших рефракционных ошибок – а таких глаз практически не бывает – задняя фокальная плоскость при наводке на резкость пересекала бы поверхность сетчатки. Чтобы удерживать ее здесь при рассмотрении предметов на разном расстоянии, необходимо менять кривизну хрусталика и вместе с ней преломляющую силу глаза.

### § 2.3. Построение изображения в глазу. Влияние аметропий на размер ретинального изображения

Еще древних греков и римлян интересовала природа зрения. Первые попытки ответить на вопрос, как человек видит окружающую реальность, были довольно наивными. На раннем этапе развития античной мысли образы предметов считались некими целостными идеальными сущностями, словно витающими в воздухе. Согласно Эмпедоклу, из зрачков исходит «внутренний свет», который соединяется с этими внешними образами. Позже, в римскую эпоху, знаменитый врач Гален, препарирова глаза животных, обнаружил зрительный нерв, сетчатку и хрусталик. Гален впервые отметил роль головного мозга в зрительном восприятии и даже верно, в полном соответствии с современными представлениями, назвал сетчатку «частью мозга, заключенной в глазу». Основную роль в восприятии он, однако, отводил не сетчатке, а «хрусталиковой влаге» и «светлой пневме» – тонкой духовной субстанции, поступающей из мозга в область прямо перед хрусталиком. Гален полагал, что готовые идеальные «образы» не нужны: люди видят благодаря тому, что исходящие из глаз лучи как бы ощупывают предметы. Таким образом, зрение по Галену – своеобразная биоокация. В Европе взгляды Галена господствовали очень долго, до эпохи Возрождения.

Тем временем арабская наука развивалась независимо от европейской. Арабский физик Ибн аль-Хайсам, или Альгазен (965 – около 1039), который жил и работал в Каире, особенно интересовался вопросами оптики и внес большой вклад в изучение отражения и преломления света. Он объяснил явление радуги, описал свойства линз, изобрел параболическое зеркало и камеру-обскуру. В своем научном труде об оптике Альгазен впервые в истории сделал правильный вывод, что свет исходит от источников света, таких как солнце, а глаза видят свет, отраженный от объектов. Он считал, что видимый образ формируется в глазу, но не

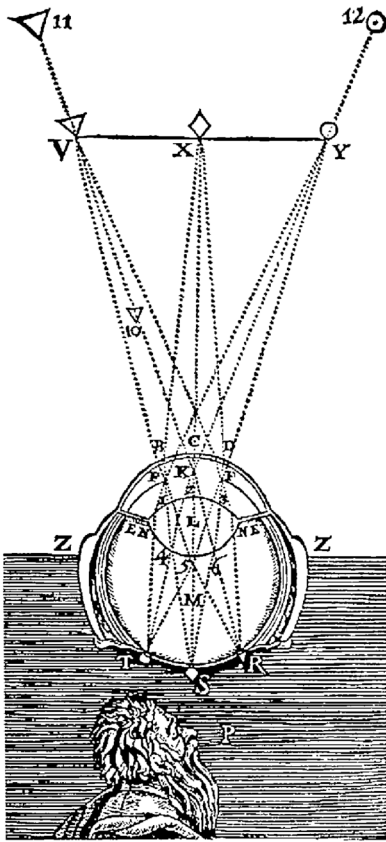


Рис. 2.5. Одна из первых правильных схем образования ретинального изображения (17 век).

на простом оптической схеме показал, что лучи света, проходя через роговицу и хрусталик, формируют **перевернутое действительное изображение** объектов. Чуть позже другой немецкий астроном и физик Кристоф Шейнер (1573—1650) наглядно подтвердил гипотезу Кеплера. Он взял овечий глаз, удалил часть склеры и сосудистой оболочки, чтобы обнажить сетчатку, и направил глаз на яркий объект. На сетчатке появилось небольшое перевернутое изображение. Как и Кеплер, Шейнер считал, что полученный образ воспринимается сетчаткой. Аналогичные опыты с энуклеированными глазами животных проводил Рене Декарт.

На рис. 2.5 показана одна из первых правильных схем образования ретинального изображения (17 век). Крайним точкам предмета V и Y на сетчатке (ретине) соответствуют точки R и T, тогда как центральные точки предмета X и изображения S расположены прямо друг против друга.

смог точно сформулировать, как именно, из-за нехватки сведений об оптических средах глаза. Альгазен использовал специальные палатки для наблюдений за Солнцем во время затмений: в одной стене палатки делалось маленькое отверстие, а на другой появлялось точное перевернутое изображение. Аналогичные опыты он проводил со свечами и коробкой. Так была изобретена камера-обскура. Но Альгазен не мог поверить, что глаз видит перевернутое изображение, и предположил, что внутренние среды глаза как-то ориентируют его правильным образом.

Значительный рывок в развитии оптики и понимании природы зрения был сделан в эпоху Возрождения. В Европе начали применять очки для коррекции зрения, Галилей изобрел телескоп. Все больше ученых полагали, что изображение в глазу формируется точно так же, как в камере-обсуре, но очень трудно было принять тот факт, что это изображение перевернуто. Даже Леонардо да Винчи, который писал свои дневники, глядя в зеркало, не смог принять идею перевернутого изображения на сетчатке. Так же, как Альгазен, да Винчи пытался подогнать оптику глаза под свои представления.

Правильная гипотеза образования ретинального изображения была впервые выдвинута и подробно обоснована знаменитым немецким астрономом Иоганном Кеплером (1571—1630).

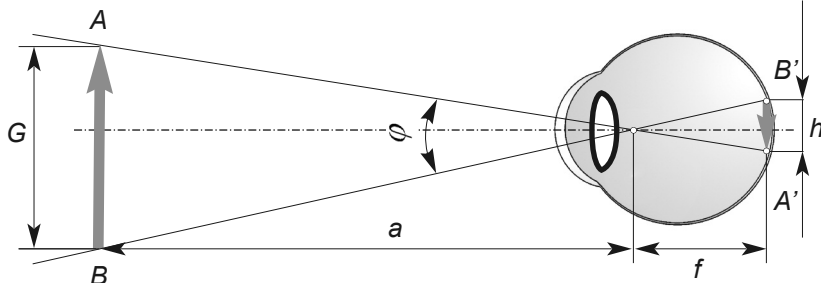


Рис. 2.6. Взаимная зависимость угла зрения, размеров объекта и ретинального изображения

После этого открытия прошло почти 2 века, в течение которых ученые пытались точно определить свойства и размеры оптических элементов глаза человека. Первую законченную схему глаза создал великий естествоиспытатель Герман фон Гельмгольц (1821—1894), используя для опытов изобретенные им приборы — офтальмометр и офтальмоскоп. Затем упомянутый выше шведский офтальмолог Альвар Гульстранд (1862—1930) уточнил данные Гельмгольца и в 1909 году создал схему глаза, названную его именем (см. рис. 2.3).

Мозг с первых недель жизни адаптируется к тому, что ретинальное изображение перевернуто и что его нужно постоянно трансформировать для правильной ориентации в пространстве. Одним из важных свойств человеческого мозга является нейропластичность — способность изменять нейронные связи и реакции под действием новой информации. Неоднократные опыты с добровольцами показали, что через несколько дней непрерывного ношения переворачивающих очков люди легко привыкают и к такому ходу лучей, а, сняв очки, очень быстро возвращаются к привычному восприятию. Еще Гельмгольц приводил в пример людей, которые постоянно работают за микроскопами и тоже быстро привыкают к вертикальной инверсии изображения.

**Размер ретинального изображения** (в радианах) легко определить, так как узловая точка находится в центре кривизны последней преломляющей поверхности. Лучи от крайних точек объекта, направленные к оптической узловой точке глаза, будут идти прямо на сетчатку, не преломляясь; следовательно, при пересечении с оптической осью они образуют одинаковые противолежащие углы. Размер перевернутого ретинального изображения  $h$  ( $A'B'$ ) равен расстоянию от узловой точки до сетчатки ( $f \approx 17,2$  мм), умноженному на **угол зрения** (в радианах), под которым виден предмет AB (рис. 2.6). И наоборот, угол зрения можно определить по формуле

$$\varphi = \frac{h}{f}$$

Вершина угла зрения находится в оптическом центре глаза, а лучи направлены на крайние точки предмета. На практике угол зрения проще определить по другой формуле

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{G}{a}$$

где  $G$  – размер предмета АВ,  $a$  – расстояние от него до оптического центра глаза (узловой точки).

Из формул видно, что чем ближе рассматриваемый предмет к глазу, тем больше угол зрения и ретинальное изображение. Мы часто пользуемся этим эффектом – приближаем мелкий предмет или надпись к глазу, чтобы хорошо рассмотреть. Это особенно характерно для близоруких людей. Однако чем ближе предмет, тем сильнее напрягается цилиарная мышца (ЦМ), тем быстрее устает глаз. Точка, которую глаз видит при расслабленной ЦМ, называется дальней точкой ясного видения. Здоровый глаз в спокойном состоянии дает на сетчатке отчетливое изображение очень удалённых предметов (например, звезд). Подробнее обо всем этом говорится в § 2.9, посвященном аккомодации.

При нормальной рефракции, или **эмметропии** дальняя точка ясного зрения находится в бесконечности, а параллельные лучи после преломления в оптической системе глаза фокусируются на сетчатке без усилия (без участия хрусталикового механизма аккомодации). На практике наблюдаются те или иные виды **аметропий** – состояний рефракции, при которых точный фокус на сетчатке не образуется без дополнительного аккомодационного усилия. К аметропиям относятся близорукость (миопию) и дальнозоркость (гиперметропию), а также астигматизм. Подробнее о видах, причинах, профилактике и методах коррекции аметропий рассказывается в § 2.11.

Важнейшими показателями для определения состояния рефракции являются преломляющая сила роговицы и осевая длина глазного яблока. Баланс между этими величинами слегка нарушен даже у условных эмметропов, к тому же они не могут абсолютно точно совпадать в левом и правом глазу из-за природной асимметрии. Статистика показывает, что эмметропия вовсе не является нормой. Чаще всего в популяции встречается слабая гиперметропия до +1 дптр. По статистике конца 1950-х годов, в США доля эмметропов среди детей и молодежи до 25 лет составляла всего 12%, а среди взрослых от 25 лет и старше – 25%.

Аметропии влияют на размер ретинального изображения без коррекции: при миопии оно увеличено, а при гиперметропии уменьшено по сравнению с нормой (эмметропией). При оптической коррекции размер изображения меняется: положительные линзы увеличивают его, отрицательные уменьшают.

Поскольку идеально симметричных глаз в природе не бывает, даже у эмметропов левый и правый глаз слегка отличаются по оптической силе и/или осевой длине. Значительная (более 2 дптр) разница между преломляющей силой глаз называется **анизометропией**. Анизометропия бывает осевой (при одинаковой рефракции различаются осевые размеры глазных яблок), рефракционной (при одинаковых размерах отличается оптическая сила глаз) или смешанной (присутствуют оба фактора). Анизометропия влечет за собой **анизэйконию** – разницу между размерами изображения на сетчатках левого и правого глаза. Выраженная анизэйкония ведет к зрительному дискомфорту и нарушениям бинокулярного зрения (§ 2.10). Для коррекции анизэйконии можно использовать



специальные эйконические (афокальные) очковые линзы в комбинации со сферическими и цилиндрическими. Однако эйконические линзы дают недостаточное в таких случаях увеличение в диапазоне 0,5–8% и потому широкого применения не получили.

Контактные линзы прилегают вплотную к роговице и непосредственно встраиваются в оптическую систему глаза. Поэтому они влияют на размер изображения значительно меньше, чем очковые линзы. Этот эффект становится заметным лишь при контактной коррекции значительных аметропий в 7–8 дптр, но даже в таких случаях он минимален: изображение на сетчатке уменьшается или увеличивается всего на 5%. Напротив, очки являются отдельной оптической системой, вынесенной в оправу перед глазами, и очень сильно влияют на величину ретинального изображения. Например, при очковой коррекции сильной близорукости предметы становятся резкими, но мелкими. В *таблице 2.2* наглядно показано изменение ретинального изображения в миопическом глазу под влиянием очковой линзы, а также в зависимости от расстояния между нею и глазом.

Ясно, что при заметной разнице в рефракции глаз и высоких аметропиях очковая коррекция неизбежно вызовет сильную анизэйконию и дискомфорт. Поэтому, если разница между рефракцией правого и левого глаза составляет более 2 дптр, очки, как правило, не назначаются. В подобных случаях очковая коррекция непереносима.

**Качество ретинального изображения** может ухудшаться из-за патологий сетчатки. На него также влияют четыре вида размытия: 1) светорассеяние при прохождении через хрусталик и стекловидное тело, 2) зрачковая дифракция, 3) неточная фокусировка из-за ошибок аккомодации и аметропий, 4) аберрации глаза. Все эти явления, рассмотренные в соответствующих параграфах, могут снижать резкость и контраст. Зрелая катаракта (врожденное или возрастное помутнение хрусталика) приводит к потере зрения и требует операционного вмешательства. Заболевания сетчатки, ухудшающие зрительное различение, и очень сильные аномалии рефракции могут приводить к слабовидению (§ 2.7.2).

*Таблица 2.2. Уменьшение ретинального изображения удаленного объекта при угле зрения 0,1 рад ( $\approx 5,75^\circ$ ) и осевой миопии -5 дптр [по данным Duane's Ophthalmology on DVD-ROM-2013 Edition].*

Расстояние от очковой линзы до глаза (мм)	Оптическая сила очковой линзы (дптр)	Эквивалентная сила очковой линзы и глаза (дптр)	Эквивалентное фокусное расстояние (мм)	Размер ретинального изображения (мм)	Уменьшение размера ретинального изображения относительно нормы (%)
0,0*	-5,00	53,0	18,9	1,89	0,0
5,0	-5,13	54,4	18,4	1,84	-2,6
10,0	-5,26	55,8	17,9	1,79	-5,3
15,0	-5,41	57,3	17,5	1,75	-7,4
17,2**	-5,47	58,0	17,2	1,72	-9,0
25,0	-5,71	60,6	16,5	1,65	-12,7
50,0	-6,67	70,7	14,2	1,42	-25,0
100,0	-10,00	106,0	9,4	0,94	-50,3
150,0	-20,00	212,0	4,7	0,47	-75,1

\* Примечание: условное, чисто теоретическое положение очковой линзы, соответствующее положению КЛ на глазу.

\*\* Примечание: совпадение с передним фокусом глаза.

Важно понимать, что приведенные выше на *рис. 2.5* и *2.6* абстрактные схемы построения изображения в глазу отражают только оптическую реальность, но не тот целостный образ предмета, который создается в зрительной коре мозга. Глаза непрерывно движутся, сканируя все окружающее пространство и те предметы, которые из-за больших угловых размеров не помещаются целиком в зону центрального зрения с высоким разрешением. К тому же мозг обрабатывает зрительную информацию очень избирательно. Например, предметы в поле зрения, которые подолгу остаются полностью неподвижными относительно глаза, мы замечаем гораздо хуже.

## § 2.4. Роговица глаза и слезная пленка

Описав строение и принципы работы зрительной системы, можно перейти к детальному рассмотрению прозрачных структур и сред, из которых состоит оптика глаза. Первой из них является роговица, покрытая слезной пленкой.

### 2.4.1. Прикладная физиология роговицы

**Роговица** – прозрачная часть фиброзной оболочки глаза толщиной около 0,5 мм в центральной зоне. По направлению к периферии толщина роговицы увеличивается, достигая 0,9 мм по краям, где роговица переходит в непрозрачную склеру. Разделительная зона между роговицей и склерой – **лимб**, полупрозрачное кольцо шириной в 1,0–1,5 мм. С лимбом неразрывно слита заканчивающаяся здесь **конъюнктива** – прозрачная слизистая оболочка, покрывающая очень тонким слоем наружную часть глаза и заднюю часть век. В конъюнктиве содержится множество бокаловидных клеток и добавочных слезных желез. Их согласованная работа обеспечивает постоянное увлажнение и смазывание наружной поверхности глазного яблока. Бокаловидные клетки вырабатывают слизь, а слезные железы – слезу, из которой формируется **слезная пленка**.

Отсутствие кровеносных сосудов (в норме, при отсутствии патологий) – уникальная особенность, отличающая роговицу глаза от всех остальных живых тканей в организме человека. Однако для поддержания прозрачности, температуры, процессов деления клеток роговице необходимы кислород и питательные вещества – глюкоза и аминокислоты. Питание роговицы осуществляется за счет осмоса питательных веществ из водянистой влаги, заполняющей переднюю камеру глаза, а также из сети кровеносных сосудов конъюнктивы в зоне лимба. Кислород поступает в роговицу непосредственно из воздуха, он очень важен для нормального протекания обменных процессов. Нехватка кислорода приводит к отеку роговицы.

Роговица лишена кровеносных сосудов, но зато пронизана нервными окончаниями, плотность которых здесь в 300–400 раз выше, чем в коже. Это делает роговицу одной из самых чувствительных тканей организма. Необходимость столь мощной иннервации понятна: это помогает защитить от возможных повреждений и сам глаз, и роговицу – его важнейшую собирающую линзу. При малейшем раздражении роговицы веки обоих глаз немедленно смыкаются. Этот

роговичный, или корнеальный рефлекс – один из безусловных рефлексов, исчезающий лишь при клинической смерти. Чувствительность роговицы снижается с возрастом или при постоянном ношении контактных линз.

Основное биомеханическое свойство роговицы, как и всей фиброзной оболочки – ригидность (жесткость), способность тканей сопротивляться внешним механическим воздействиям и сохранять форму. Сопротивление роговицы необходимо учитывать при тонометрии, независимо от используемого метода измерения ВГД.

Насколько важно сохранение нормальной геометрии роговицы, наглядно показывает **кератоконус** – прогрессирующее дегенеративное заболевание, при котором роговица постепенно истончается и принимает коническую форму. Кератоконус приводит к сильным оптическим искажениям и существенному снижению остроты зрения. Оптимальным методом оптической коррекции в подобных случаях являются специальные контактные линзы, жесткие или мягкие. Причины развития дистрофии роговицы пока не совсем ясны. Кератоконус поражает примерно 1 из 500 представителей популяции. Однако данные некоторых зарубежных исследований говорят о повышенной вероятности развития **кератэктазии** (выпячивания роговицы) или кератоконуса у пациентов, перенесших лазерную хирургию роговицы. Подобные случаи наблюдаются в отдаленный период после операции и связаны с процессами старения.

Традиционно в роговице глаза выделяется 5 слоев: эпителий, боуменова оболочка (передняя пограничная мембрана), строма, десцеметова оболочка (задняя пограничная мембрана), эндотелий (рис. 2.7). В 2013 году ученые из Великобритании обнаружили еще один, чрезвычайно прочный и тонкий слой между стромай и десцеметовой оболочкой, который был назван **слоем Дуа** (по имени первооткрывателя – Харминдера Дуа, профессора Ноттингемского университета). Роль этого слоя пока неясна, но остальные давно изучены.

Неороговевающий **эпителий** покрывает роговицу и состоит из 6 слоев защитных клеток. Он беспорядочно усеян микроворсинками, которые способствуют прилеганию слезной пленки к роговице. Эпителий выполняет защитную функцию и может быстро регенерировать. За ним следует тонкая и относительно жесткая **боуменова оболочка** – передняя пограничная мембрана роговицы, повреждение которой ведет к ее помутнению. **Строма** составляет примерно 90% толщины роговицы и на 78% состоит из воды. Остальные 22% – очень прочные прозрачные пластины, сплетенные из коллагеновых волокон. Именно строма

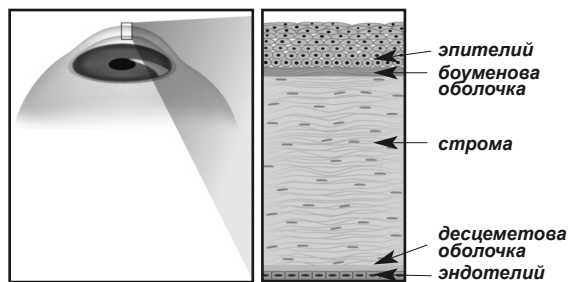


Рис. 2.7. Строение роговицы

обеспечивает как механическую прочность, так и оптическую прозрачность роговицы. **Десцеметова оболочка** – задняя пограничная мембрана роговицы, упругое основание эндотелия. Наконец, **эндотелий** – слой клеток, который непосредственно контактирует с водянистой влагой передней камеры. Он поддерживает водный баланс роговицы, поскольку через эндотелий в нее всасываются вода и питательные вещества. В то же время эндотелий защищает роговицу от избыточного пропитывания водянистой влагой.

Средняя толщина всех слоев роговицы приводится в *таблице 2.3*.

*Таблица 2.3. Средняя толщина слоев роговицы глаза (мкм)*

<i>Эпителий</i>	<i>50</i>
<i>Боуменова мембрана</i>	<i>8–14</i>
<i>Строма*</i>	<i>500</i>
<i>Слой Дуа</i>	<i>15</i>
<i>Десцеметова оболочка</i>	<i>10–12</i>
<i>Эндотелий</i>	<i>5</i>
<i>Общая толщина роговицы</i>	<i>≈ 580</i>

Роговица с обеих сторон окружена водным раствором: снаружи – слезой, внутри – влагой передней камеры глаза. При моргании или во время сна роговица контактирует с веками, а при ношении контактных линз – с обратной стороной и краем линзы. Наружная поверхность глаза и роговицы покрыта **слезной пленкой**, толщина которой у здоровых людей составляет от 4 до 7 мкм. Большая часть объема (около 90%) всей слезы содержится в **слезной призме** вдоль края век.

Слезная пленка условно делится на липидный, водный и муциновый слои; на водный слой приходится 98% ее толщины. На самом деле между слоями нет четких границ. Слезная пленка с каждым морганием увлажняет, смазывает и защищает поверхность роговицы и конъюнктивы. Она играет очень важную роль в оптической системе глаза, так как без слезного слоя роговица была бы лишь слабой рассеивающей линзой (*см. начало § 2.4.3*). Кроме того, целостность слезной пленки обеспечивает четкое видение: слеза сглаживает шероховатости наружного эпителия и создает гладкую оптическую поверхность.

При напряженной зрительной работе человек сосредотачивается на объекте, и частота морганий (в норме 15–20 раз в минуту) сокращается. Это приводит к тому, что влага из слезы испаряется быстрее, чем обычно. Количество слезы уменьшается, химический состав меняется: в ней становится меньше воды и больше солей. Соли оказывают повреждающее действие на эпителий роговицы и конъюнктивы, что ведет к деградации тканей и воспалению. К тому же из-за высыхания слезной пленки прозрачность роговицы уменьшается (в зависимости от количества и площади сухих участков эпителия). Это вызывает затуманивание и ухудшение остроты зрения, особенно к вечеру.

Аналогичные процессы происходят в сухом климате или при ношении контактных линз из плохо смачиваемых материалов без увлажнителей. С поверхности таких линз слеза быстро испаряется, и образуются гидрофобные пятна, покрытые кристалликами соли. Моргания в таком случае не помогают, а лишь разносят эту соль по конъюнктиве.

**Уровень слезопродукции** опытный офтальмолог или оптометрист легко может определить либо на глаз, по размеру слезной призмы вдоль краев век, либо проведя тест Ширмера. Для оценки **стабильности слезной пленки** проводят пробу Норна – тест на инвазивное время разрыва. В глаз закапывают каплю флюоресцеина, усаживают пациента за щелевую лампу и в синем свете наблюдают с секундомером, когда появится первый разрыв – темно-синий участок на зеленом фоне. Нормальное время разрыва слезной пленки – не менее 10–15 секунд. Если это произошло раньше, у пациента есть проблемы со слезой. Сейчас появилось немало других методов для диагностики «сухого глаза».

Хроническое нарушение качества и/или количества слезной пленки и вызванное этим воспаление конъюнктивы называется **синдромом сухого глаза (ССГ)**, или сухим кератоконъюнктивитом. На ранних стадиях появляются симптомы сухости и дискомфорта, глаза устают, особенно к концу дня после зрительной работы. Сухость в глазах развивается по многим причинам:

- ухудшение качества слезной пленки с возрастом (особенно после 50 лет), из-за гормонального дисбаланса или нарушения работы слезных желез;
- отрицательное воздействие внешней среды (сухой и жаркий климат, кондиционированный воздух, ветер, пыль и так далее);
- курение;
- высокая зрительная нагрузка (особенно при постоянной работе с цифровыми устройствами);
- воспалительные заболевания конъюнктивы и роговицы;
- прием некоторых лекарственных средств;
- ношение контактных линз с низкой смачиваемостью;
- рефракционные операции или кератопластика

**Физиология роговицы имеет важное прикладное значение для рефракционной хирургии и контактной коррекции зрения.**

При всех методах рефракционной хирургии, от устаревшей кератотомии до фемто-LASIK, оказывается прямое воздействие на форму роговицы. Толщина роговицы – критически важный показатель при отборе кандидатов на операцию. При слишком тонкой роговице есть риск кератэктазии – выпячивания роговицы в зоне лазерного вмешательства, и таким пациентам операция однозначно не рекомендуется. Степень ослабления роговицы зависит от ее исходной толщины и степени корригируемой рефракционной аномалии. Сейчас достоверно установлено, что после операций по методу LASIK биомеханические показатели роговицы ухудшаются в любом случае. Сам метод предполагает неизбежное утончение роговицы: чтобы изменить форму этой природной линзы, часть стромы испаряют лазерным лучом. Ослабление роговицы автоматически влияет на всю фиброзную оболочку глаза (ФОГ), частью которой она является. Механические напряжения в ФОГ перераспределяются, и «слабым звеном», конечно, оказывается именно роговица, которая стала тоньше. С возрастом это может стать причиной деградационных процессов.

Как уже отмечалось в § 2.1, по мере старения жесткость ФОГ только увеличивается, и с этим напрямую связан рост внутриглазного давления (ВГД). Поскольку склера становится все жестче, а ВГД растет, основная нагрузка неизбежно будет

направлена в сторону роговицы. Напомним, что после LASIK не только уменьшается толщина роговицы, но и нарушается целостность ее наружных слоев. Очевидно, что все это значительно повышает вероятность кератэктазии или кератоконуса.

Другая характерная проблема, связанная с LASIK, – нарушение слезопродукции, постоянное ощущение сухости в глазах после операции. При LASIK повреждаются чувствительные нервные окончания в тканях роговицы, а слезопродукция и моргание зависят как раз от ее чувствительности. Ощущая нехватку слезы, нервы посылают сигналы в слезные железы и мышцы века; дополнительная порция слезы вырабатывается и сразу размазывается веком по глазной поверхности. Этот механизм нарушается из-за снижения чувствительности роговицы. В результате пациенты, перенесшие LASIK, испытывают симптомы сухости в течение примерно 6 месяцев после операции. У 30% из них развивается хронический ССГ.

Наконец, эффект рефракционной лазерной хирургии необратим. Далеко не всегда толщина роговицы позволяет провести повторную процедуру в случае неудовлетворительного результата. В России и за рубежом ведется статистика осложнений. Исследования показывают, что осложнения в ходе LASIK или в разные сроки после операции встречаются в 15–17% случаев.

Всего сказанного достаточно, чтобы понять, почему рефракционные операции занимают лишь 4% на мировом рынке оптической коррекции зрения, и доля эта с годами не увеличивается. Лазерная хирургия – явно не средство первого выбора и не панацея от аномалий рефракции.

Здоровье роговицы – залог успешного ношения контактных линз и потому всегда было основной темой исследований по **контактной коррекции**. Для глаза контактная линза (КЛ) – инородное тело, которое оказывает механическое воздействие на лимб и эпителий роговицы, отделяет ее от воздуха, рассекает слезную пленку на две части – прелинзовую и подлинзовую, провоцируя высыхание слезы со всеми последствиями, рассмотренными выше. Под линзой может нарушаться слезообмен, а на ее поверхности могут скапливаться белковые и липидные отложения – содержащиеся в слезе продукты жизнедеятельности. Все это ведет сначала к дискомфорту, затем к ухудшению состояния роговичного эпителия и в конце концов к отказу от ношения КЛ. Если пользователь пренебрегает правилами ухода за КЛ, не делает регулярную очистку и дезинфекцию, его линзы могут стать благоприятной почвой для развития грибков и бактерий, представляющих серьезную угрозу для роговицы. Самые серьезные осложнения контактной коррекции связаны именно с грибковым или бактериальным кератитом – тяжелым заболеванием, которое поражает роговицу и может привести к полной потере зрения.

Однако перечисленные проблемы по очереди оказывались в центре внимания и успешно решались благодаря новым материалам и технологиям (см. § 3.5). Для нынешнего рынка контактной коррекции характерно многообразие высокотехнологичных оригинальных решений. Ключевым понятием стала **биосовместимость** – способность КЛ органично встраиваться в живую среду переднего отрезка глаза, становясь из инородного тела практически продолжением роговицы. Разумеется, это идеал, но индустрия уже приблизилась к нему вплотную.

Современные биосовместимые КЛ от ведущих производителей – удобное и безопасное средство оптической коррекции зрения. К 2013–2015 годам постепенно сформировались определенные стандарты. Дизайн мягких и жестких газопроницаемых контактных линз, как правило, оптимизирован для лучшего комфорта и слезообмена. Материалы последнего поколения обеспечивают необходимый доступ кислорода к роговице, отличаются низким модулем упругости и гидрофильностью, хотя еще в прошлом десятилетии совместить все эти свойства в одном продукте было нельзя. Подробнее о возможностях современной контактной коррекции рассказывается в главе 3.

И все же технический прогресс не означает, что пациенты могут расслабиться, нарушать правила пользования КЛ и забыть о визитах к врачу. Обязательно нужно хотя бы раз в год проходить профилактический осмотр у оптометриста. Проверяется состояние зрительных функций и переднего отрезка глаза, в первую очередь слезной пленки, эпителия роговицы, конъюнктивы и внутренней поверхности век. При осмотре обязательно нужно использовать специальные красители – флюоресцеин, лиссамин зеленый, бенгальский розовый. После закапывания их в глаз окрашиваются только мертвые клетки, и потому сразу видны все повреждения. Прокрашивание – очень надежный объективный признак, позволяющий напрямую оценить состояние эпителия роговицы.

#### 2.4.2. Геометрия роговицы

К 10–12 годам жизни форма, размеры и оптические свойства роговицы стабилизируются и в дальнейшем практически не меняются.

В самом центре передняя и задняя поверхности роговицы почти параллельны, но по направлению к утолщающемуся краю постепенно расходятся. Средний передний радиус кривизны роговицы равен 7,7 мм, средний задний – 6,8 мм. В центре роговица всегда тоньше (0,49–0,56 мм), чем на периферии (0,7–0,9 мм), и это соотношение сохраняется до глубокой старости, по мере того как роговица незначительно утончается.

Еще в начале 70-х годов XX века было установлено, что **роговица асферична**: радиус ее кривизны постепенно увеличивается от центра к периферии. С тех пор многочисленные исследования позволили уточнить картину. Для описания точной формы используется наглядный метод **корнеотопографии**: концентрические световые кольца проецируются на роговицу, полученное изображение фотографируется, анализируется компьютером и преобразуется в карту рельефа – **топограмму роговицы**.

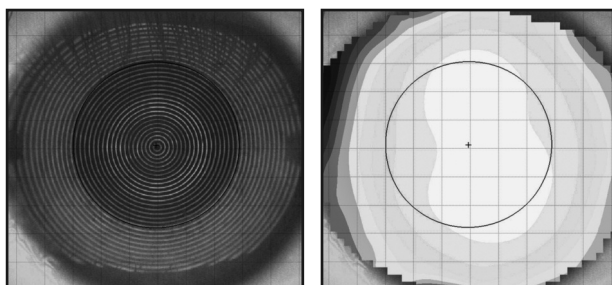
Асферичность более выражена на периферии (до 1 мм), чем в центре (всего 0,3 мм), где роговица почти сферична, а кривизна ее максимальна. За пределами центральной зоны диаметром 3–5 мм передняя поверхность роговицы постепенно уплощается по направлению к краю, причем асимметрично. Все это хорошо заметно на топограммах (рис. 2.8). Обычно роговица уплощается в темпоральную сторону сильнее, чем в назальную. Если асимметрия в пределах нормы, форма роговицы считается регулярной. **Иррегулярная форма** требует особого подхода к оптической коррекции, особенно контактной, из-за необходимости учитывать посадку линзы на глазу и корригировать сильные аберрации, в первую очередь выраженный неправильный астигматизм.

Асферичность роговицы означает, что по форме она напоминает не участок сферы, а вытянутый конец эллипсоида, наподобие мяча для регби. **Эксцентриситет** – математический показатель, определяющий степень отклонения конического сечения от окружности. На *рис. 2.9*, взятом из монографии *Atchinson D. и Smith G. "Optics of the human eye" (Эдинбург, 2002)*, наглядно показана разница между поверхностями второго порядка с разным эксцентриситетом и одинаковым апикальным (вершинным) радиусом. При эксцентриситете, равном нулю, получается сфера. У нормальной роговицы эксцентриситет от  $-0,3$  до  $-0,7$ , что на рисунке соответствует крайнему справа эллипсоиду. Значение эксцентриситета обязательно учитывается при расчете дизайна индивидуальных контактных линз, в первую очередь жестких газопроницаемых (ЖГКЛ) и ортокератологических (ОКЛ). Несовпадение сагиттальной глубины линзы и роговицы привело бы к неправильной посадке линзы, что при ношении ЖГКЛ или ОКЛ чревато серьезными последствиями.

Другой важный геометрический параметр роговицы – **радиус центральной кривизны** ее поверхности, измеряемый специальными приборами – офтальмометром или кератометром. Аналогичная функция имеется и в авторефкератометрах – приборах, совмещающих в себе автоматическое измерение рефракции глаза и геометрии роговицы. Радиус центральной кривизны – усредненное значение по одному из меридианов передней поверхности на центральном участке диаметром 3–5 мм. Этим он отличается от апикального радиуса, измеряемого не на участке, а только в одной точке – вершине роговицы. Современные авторефкератометры обычно могут измерять не только центральную, но и периферийную кривизну роговицы, что позволяет диагностировать неправильный астигматизм.

Кривизну роговицы выражают как в миллиметрах, так и в диоптриях, что отражает прямое соответствие между геометрией и преломляющей силой роговицы. Есть даже специальные таблицы перевода диоптрий в миллиметры. Например, наиболее распространенный в популяции радиус кривизны 7,85 мм соответствует рефракции 43,00 дптр. Чем меньше кривизна роговицы, тем больше ее радиус, и наоборот. У миопов роговица обычно более крутая, чем у эметропов, а у гиперметропов более плоская.

Радиус кривизны роговицы имеет важное практическое значение для контактной коррекции: от него зависит правильная посадка контактных линз на глазу.



*Рис. 2.8. Топограмма здоровой роговицы*



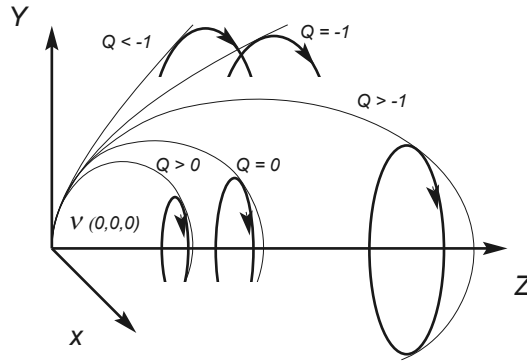


Рис. 2.9. Сравнение поверхностей второго порядка с разным эксцентриситетом ( $Q$ ) и одинаковым вершинным радиусом.

Посадка КЛ влияет на комфорт и качество зрения. Зная радиус кривизны роговицы, оптометрист может быстро и точно подобрать линзу, которая лучше всего подойдет данному пациенту. В последние годы появилось немало моделей авто-рефкератометров, способных измерять радиус базовой кривизны КЛ. Это тоже облегчает первичный подбор.

Вертикальный диаметр роговицы в среднем составляет 10,6 мм, горизонтальный – 11,7 мм. Вертикальный диаметр обычно меньше примерно на 1 мм. Этому соответствует и кривизна: вертикальный радиус кривизны меньше, чем горизонтальный, то есть в вертикальном меридиане роговица немного круче. Таким образом, роговица – не просто эллипсоид, а слегка сплюснутый эллипсоид, она имеет торическую форму. Величина торичности в центре и на периферии практически одинакова и не превышает 0,3 мм.

В пресбиопическом возрасте практически у всех людей корнеосклеральное кольцо, на которое опирается роговица, деформируется. В результате ее кривизна в горизонтальном меридиане становится сильнее, чем в вертикальном.

### 2.4.3. Оптические свойства роговицы

Роговица – главная линза глаза, дающая около 69% его суммарной рефракции. По форме она представляет собой мениск, утолщающийся от центра к краям (§ 1.1.5). Следовательно, сама по себе роговица – рассеивающая линза, а вовсе не собирающая, как нередко неправильно пишут в учебных пособиях. Однако спереди она покрыта слезной пленкой – средой с другим рефракционным индексом, дважды преломляющей свет. Поэтому вся система **воздух/слезная пленка (+43,6 D) – слезная пленка/роговица (+5,3 D) – роговица/водянистая влага (-5,8 D)** дает не отрицательную, а положительную оптическую силу +43,1 D.

Вокруг вершины роговицы расположена оптическая зона диаметром 3–5 мм, через которую световые лучи попадают в глаз. Оптическая зона полностью покрывает зрачок и обеспечивает центральное зрение. Поэтому травмы и заболевания роговицы очень опасны. Сильные ожоги, рубцы, язвы или эрозии резко снижают качество зрения и могут привести к полной слепоте.

Торическая форма роговицы означает, что в любом глазу более или менее выражен астигматизм (§ 1.1.6, § 2.11). Так как кривизна роговицы по вертикальному меридиану больше, чем по горизонтальному, в оптической зоне обязательно имеется **физиологический прямой астигматизм** от 0,5 до 1,0–1,5 дптр. Из-за деформации корнеосклерального кольца **в пресбиопическом возрасте прямой астигматизм почти у всех пожилых людей переходит в обратный**.

Асферичность и торичность роговицы, отсутствие идеальной осевой симметрии приводят к астигматизму, трейлоу и некоторым aberrациям высшего порядка. Но асферичность дает и важное преимущество. Линзы из оптически однородного материала со сферическими преломляющими поверхностями вызывают очень сильные сферические aberrации (§ 1.1.6). Наглядный пример – объектив-монокль, самая старая оптическая схема в истории фотографии. Монокль состоит только из одной линзы с помещенной перед ней диафрагмой, что позволяет получать снимки с характерным эффектом размытия и свечения по краям объектов. Это очень живописно, но непрактично с точки зрения зрительных задач, стоящих перед человеком в повседневной жизни. Асферическая форма роговицы существенно снижает сферические aberrации, которые еще сильнее уменьшаются при прохождении света через хрусталик (§ 2.5.3). У здоровых людей средняя величина сферических aberrаций составляет около 0,1 мкм, что соответствует рефракционной ошибке всего в 0,12 дптр.

Асферичность роговицы в последние годы учитывается при производстве контактных линз, в том числе мягких (МКЛ). Раньше задняя поверхность МКЛ делалась сферической, и это давало сферические aberrации, особенно сильные при нехватке света, когда зрачок расширен. Они снижали контраст и разрешающую способность глаза, а в некоторых ситуациях вызывали серьезный зрительный дискомфорт. Например, водители вечером слепли из-за сияющих ореолов и гало вокруг каждого встречного источника света. Теперь практически все крупные производители выпускают МКЛ только с задней асферикой. Постепенно входит в моду и биасферика. Это улучшает посадку КЛ на глазах, уменьшает aberrации высших порядков и помогает линзе лучше встраиваться в природную оптику роговицы.

## § 2.5 Радужная оболочка и хрусталик

### 2.5.1. Радужная оболочка. Зрачок

Сразу под плотной фиброзной оболочкой глаза расположена сосудистая оболочка. Она пронизана кровеносными сосудами и благодаря этому обеспечивает питание тканей. Содержащийся в сосудистой оболочке пигмент препятствует проникновению света сквозь склеру и устраняет светорассеяние. В передней части глаза сосудистая оболочка переходит в радужную. Тонкая **радужная оболочка глаза**, или **радужка**, расположена прямо перед хрусталиком. Она является границей, отделяющей переднюю камеру глаза от задней. Радужная оболочка тоже содержит пигмент и практически непроницаема для света, кроме **зрачка** – круглого отверстия в центре. Диаметр радужки равен примерно 12 мм, толщина – 0,5 мм, толщина в зоне вокруг зрачка – 0,6 мм. Зрачковый край опирается прямо на переднюю поверхность хрусталика.

Именно цвет радужки люди воспринимают как «цвет глаз». Окраска и текстура радужной оболочки генетически обусловлены и не меняются в течение жизни; на этом основании сейчас даже разрабатываются биометрические системы точной идентификации личности. Заболевания, за исключением редких врожденных, не могут влиять на окраску и вид радужки, поэтому ириодиагностика является лженаукой.

Сам зрачок в здоровом глазу снаружи кажется черным, поскольку оптические среды глаза прозрачны и не отражают, а поглощают свет. Эффект красных глаз, с которым часто вынуждены бороться фотографы, объясняется тем, что яркий свет вспышки отражается от красного глазного дна. При катаракте зрачок кажется сероватым или белым из-за помутнения хрусталика. Если у пациента нет катаракты, через искусственно расширенный зрачок можно осмотреть глазное дно с помощью офтальмоскопа или линзы Гольдмана. Эта процедура называется офтальмоскопией.

**Зрачок — подвижная апертурная диафрагма оптической системы глаза.**

Говоря о зрачке, обычно имеют в виду не реальный зрачок, а входной — увеличенное изображение внутреннего края радужки, видимое снаружи через роговицу и влагу передней камеры. **Входной зрачок** слегка расширен и сдвинут вперед относительно реального (рис. 2.10). Когда оптометрист определяет диаметр зрачка и расстояние между зрачками правого и левого глаз, учитываются именно видимые, входные зрачки. **Выходной зрачок** оптической системы глаза практически совпадает с реальным — он смещен всего на 0,07 мм ближе к хрусталику.

Зрачок пропускает в глаз только центральный пучок световых лучей, тем самым уменьшая светорассеяние и aberrации. Это повышает качество ретинального изображения и остроту зрения, особенно на ярком свете. По мере сужения зрачка увеличивается глубина резкости. Сужение зрачка — один из важнейших дополнительных механизмов аккомодации, обеспечивающий от 0,5 до 1,2 дптр рефракции (§ 2.9).

Зрачок играет важную роль в механизме адаптации к уровню освещения. Непроизвольная реакция зрачка на яркость светового фона называется **световым рефлексом**. Сетчатка реагирует на количество света, и нервная система посылает сигнал мышцам радужки. Их всего две: **сфинктер зрачка** — циркулярная мышца,

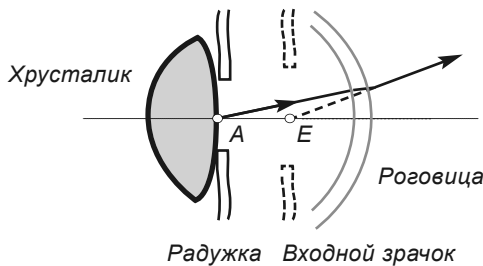


Рис. 2.10. Формирование входного зрачка: А — центр реального зрачка, Е — центр входного (видимого) зрачка. Со стороны кажется, что центр зрачка расположен в точке Е. Согласно схематическому глазу Гюльстранда, расстояние АЕ ≈ 0,6 мм.

сужающая зрачок, и **расширитель зрачка** — радиальная «мышца», на самом деле тонкий диск, состоящий из особых клеток пигментного слоя радужки. При нехватке света зрачок расширяется, чтобы зрительные центры мозга могли получить как можно больше информации. Расширение зрачка называется **мидриазом**. Мидриаз может быть вызван спазмом или параличом сфинктера зрачка, а также медикаментозными средствами — мидриатиками. И наоборот, при ярком освещении зрачок сужается — происходит **миоз**. У здорового человека зрачки обоих глаз одинаково реагируют на световую стимуляцию, даже если яркий свет попадает только в один из них. Таким образом, в норме мидриаз и миоз в левом и правом глазу происходят симметрично. На изменение освещенности зрачок начинает реагировать уже через 0,2–0,3 секунды; для максимального сокращения или расширения требуется более длительное время.

Важно отметить, что механизм светового рефлекса сформировался у человека и животных в условиях теплого солнечного света. Глаз совершенно иначе реагирует на яркий холодный свет с сильным сдвигом в синюю сторону спектра. По последним научным данным, спектр искусственных источников света по-разному влияет на средний диаметр зрачка. При освещении лампами дневного света или холодными светодиодными лампами зрачок не сужен, а слегка расширен. В результате сетчатка получает избыточную дозу вредного для нее высокочастотного синего излучения. По этой причине производители постепенно переходят на выпуск светодиодных ламп с теплым спектром.

На диаметр зрачков влияет не только яркость светового фона, но и другие факторы. От эмоционального возбуждения зрачки расширяются, а при аккомодации и конвергенции (§ 2.9), под влиянием отрицательных эмоций, стресса и боли сужаются. Диаметр зрачка измеряется с помощью пупиллометра или авторефрактометра. Он может меняться от 1,5 мм на ярком свету до 7–8 мм в темноте. У новорожденных он равен 2,5 мм, что соответствует обычному диаметру зрачка при дневном освещении — около 2,5–3 мм. К 2 годам жизни диаметр зрачка растет, а с 40–50 лет постепенно уменьшается. Уже к 60 годам зрачок может расширяться только до диаметра чуть более 4 мм.

Попадающий в глаз световой поток (при одинаковых условиях освещения) пропорционален квадрату диаметра зрачка. Это значит, что даже при максимальном сокращении зрачка от 8 до 2 мм площадь светового пятна на поверхности сетчатки уменьшается всего в 16 раз. Стоит отметить, что воспринимаемый людьми яркостной диапазон гораздо шире. Например, дневной свет в 105 раз ярче, чем свет полной луны. По-видимому, световой рефлекс не столько защищает сетчатку, сколько помогает улучшить остроту зрения, адаптируя оптическую систему глаза к разным условиям освещения.

Механизм расширения зрачка в условиях слабой освещенности позволяет людям получать достаточно зрительной информации, чтобы различать контуры предметов даже ночью или в темной комнате. Светочувствительность глаза при этом увеличивается до предела, но качество изображения на сетчатке заметно падает. Во время действия мидриатиков, когда зрачки не реагируют на условия освещения, а их диаметр может превышать 9 мм, качество зрения также ухудшается.

Дело в том, что в оптической системе глаза, как и в объективах, разрешение и глубина резкости напрямую зависят от размера апертурной диафрагмы. Чем меньше диаметр зрачка, тем выше глубина резко изображаемого пространства и острота зрения. Наилучшая острота зрения достигается при диаметре зрачка 2–3 мм. Аберрации, вызванные роговицей и хрусталиком, практически исчезают, хотя при диаметре менее 2 мм качество ретинального изображения начинает падать из-за дифракции (§ 1.2.2). Светосила глаза при максимально узком зрачке слегка превышает значение  $f/8$ , которое рекомендуется устанавливать на объективе при пейзажной фотосъемке. Так обеспечивается очень большая глубина резкости.

И наоборот, расширение зрачка всегда приводит к ухудшению качества зрения. В темноте глаз начинает работать как объектив с плохо исправленными аберрациями при максимально открытой диафрагме. Светосила глаза при диаметре зрачка 8 мм примерно соответствует значению диафрагмы  $f/2$ . Если в поле зрения попадают яркие источники света (фонари, автомобильные фары и т. п.), возникают оптические помехи — блики и отражения. Уже при расширении зрачка свыше 3 мм начинают проявляться сферические и хроматические аберрации, ухудшается контрастная чувствительность, уменьшается глубина резкости. Лучи, проходящие через периферию расширенного зрачка, фокусируются не на сетчатке, а перед нею, что вызывает миопизацию до 0,3 дптр. Хроматические аберрации дают близорукость до 0,5 дптр. Чтобы компенсировать эти отрицательные эффекты, цилиарная мышца напрягается. Расширение зрачков вносит заметный вклад в так называемую **ночную миопию**. Ночная близорукость — не до конца изученное явление. Она может достигать 2 и даже 4 дптр, а значит, вызывается не только расширением зрачков.

Как уже отмечалось в § 2.2, зрачки слегка смещены в назальную сторону — приблизительно на 0,5 мм. Это вызывает небольшую кому. Таким образом, зрачок вносит определенный вклад в аберрации волнового фронта глаза (§ 2.8).

Расстояние между зрачками правого и левого глаз составляет от 56 до 74 мм, и при назначении очков этот показатель обязательно определяется индивидуально. **Межзрачковое расстояние** (PD, pupillary distance) точно измеряется по корнеальному рефлексу с помощью линейки, пупиллометра или авторефрактометра. Межзрачковое расстояние может меняться в зависимости от степени вергенции (см. § 2.10): оно максимально при взгляде вдаль и уменьшается при работе вблизи. Чем ближе к глазам расположен рассматриваемый объект, тем сильнее сведены зрительные оси. Конвергенцию очень важно учитывать, указывая расстояние между центрами линз в рецепте на монокулярные очки для близи. В некоторых советских учебниках рекомендовалось просто уменьшать межцентровое расстояние (РЦ) на 2 мм по сравнению с очками для дали (так называемое правило двух миллиметров). Позже профессор Ю. З. Розенблюм указал, что реальная разница в PD при зрительной работе вдаль и вблизи составляет от 4 до 6 мм. Несоответствие PD пациента и РЦ — грубейшая ошибка при подборе очков. Она приводит к непереносимости очков — дискомфорту, зрительной усталости, астенопии. «Правило двух миллиметров» годится только для лиц, работающих за компьютером (примерно в 60–70 см от монитора).

При работе на обычном расстоянии 33 см разница между очками для дали и близи должна составлять не меньше 4 мм. На практике стоит учитывать и другие факторы — узкую или широкую посадку глаз, оптическую силу и призматическое действие очковых линз и так далее. Показатель правильного межцентрового расстояния в монофокальных очках для близи — комфортная для пациента зрительная работа на требуемой дистанции в течение получаса.

С появлением прогрессивных линз (§ 4.7) эта тема утратила актуальность: в коридоре прогрессии зона для близи и так смещена относительно зоны для дали. Но для правильной центровки очковых линз межзрачковое расстояние для дали в любом случае необходимо учитывать. Центровочные кресты должны находиться точно по центру зрачков клиента. Если зона для дали для пациента самая важная, кресты можно опустить на 1–2 мм. Важно помнить, что зрачки правого и левого глаза расположены слегка асимметрично относительно переносицы. Поэтому PD и PC определяется монокулярно, то есть отдельно для правого и левого глаза.

### 2.5.2. Строение хрусталика

Сразу за радужной оболочкой находится передняя поверхность хрусталика, на которую опирается круглый зрачковый край. Здесь заканчивается передняя камера глаза. Глубина передней камеры определяется как расстояние от задней вершины роговицы до передней вершины хрусталика (в среднем чуть больше 3 мм). Сзади хрусталик подпирает стекловидное тело, благодаря чему при движениях гасятся колебания и сохраняется стабильное положение хрусталика. Небольшая зона между радужкой и передней поверхностью хрусталика называется задней камерой глаза. Передняя и задняя камеры заполнены прозрачной **водянистой влагой**, вырабатываемой ресничным эпителием (см. рис. 2.1).

Как и в роговице, в хрусталике нет кровеносных сосудов, что обеспечивает его прозрачность. Но в хрусталике нет и нервов. Он состоит примерно на две

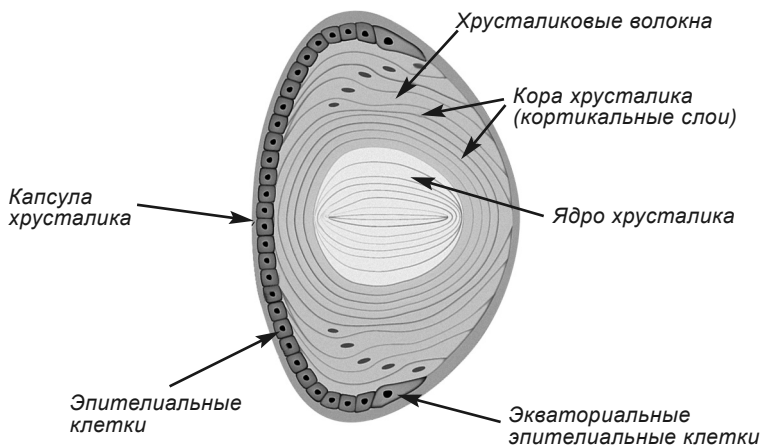


Рис. 2.11. Строение хрусталика (продольный разрез). Трансформация экваториальных эпителиальных клеток в хрусталиковые волокна

трети из воды и на одну треть из прозрачного белка кристаллина. **Хрусталик** — плотная, но эластичная структура, напоминающая луковицу: вложенные друг в друга слои прозрачных волокон эпителия покрыты упругой тонкой капсулой (хрусталиковой сумкой). С внутренней стороны капсулы вся передняя поверхность хрусталика, от переднего полюса до экватора, покрыта одним слоем кубических эпителиальных клеток. В течение всей жизни на экваторе образуются новые эпителиальные клетки. Они превращаются в вытянутые волокна, загибаются к заднему полюсу, смещаются вглубь, и хрусталик медленно растет (рис. 2.11). Из-за этого с возрастом меняются объем и форма хрусталика. До 20 лет растет только диаметр, а затем и толщина. Волокна образуют кору, или кортикальные слои, окружающие ядро хрусталика.

Капсула хрусталика крепится к цилиарному телу посредством густой сети ресничных (цинновых) связок. Стекловидное тело подпирает хрусталик сзади. Цинновы связки постоянно натянуты и находятся, по выражению И. Н. Кошица, «в состоянии динамического равновесия». Сокращение или расслабление цилиарной мышцы не приводит к *полному* расслаблению и провисанию цинновых связок, а изменяет степень их натяжения. Из-за этого меняется форма хрусталика, а следовательно, и его оптическая сила. Этот процесс, называемый аккомодацией, позволяет глазу фокусироваться на объектах на разном расстоянии. Он очень важен и для циркуляции водянистой влаги.

По мере старения увеличивается объем, толщина и диаметр хрусталика. Он постепенно утрачивает эластичность, что обычно становится заметно к 45 годам. Примерно с этого возраста людям труднее сфокусировать взгляд вблизи. Так развивается старческая дальнозоркость, или **пресбиопия**.

В детском возрасте хрусталик бесцветен, а в старости приобретает все более желтый оттенок. Это ведет к изменениям в восприятии цвета. Хрусталик не только желтеет, но и мутнеет (в возрасте за 60 лет — у 50% людей, а к 80 годам практически у всех). Заключительная стадия процесса — старческая катаракта, сильное помутнение хрусталика, из-за которого человек теряет зрение. Все это очень наглядно проявляется у художников. Классический пример — Клод Моне, который после 68 лет страдал от катаракты на обоих глазах. Его палитра становилась все более темной и желто-коричневой.

Удаление непрозрачного хрусталика — единственный способ лечения больных с катарактой. После удаления катаракты в глаз имплантируется интраокулярная линза (ИОЛ). Недавно были предложены другие способы замены хрусталика: в Японии в капсульный мешок заливают прозрачный гель, в Великобритании — жидкий монокристалл. Это позволяет сохранить естественный механизм аккомодации и поддерживать нормальный обмен веществ в глазу.

Отсутствие хрусталика, врожденное или после удаления катаракты, называется **афакией**. В этом случае нехватку рефракционной силы необходимо компенсировать с помощью ИОЛ (для детей предпочтительнее контактные линзы). В результате травм или редких патологий хрусталик иногда смещается относительно оптической оси. Подвывих хрусталика требует операционного вмешательства, поскольку в таких случаях нарушается и зрение, и физиологические процессы в глазу.

### 2.5.3. Геометрия и оптические свойства хрусталика

Хрусталик — двояковыпуклая собирающая линза с закругленными краями. Ее передняя и задняя поверхности соединяются в экваториальной области. Обе они близки к сферической форме, но на периферии их кривизна постепенно уменьшается. Передняя поверхность хрусталика менее выпуклая, чем задняя: их средние радиусы кривизны равны соответственно 10 и 6 мм. Поскольку сферичность обеих поверхностей хрусталика не идеальна, это часто приводит к хрусталиковому астигматизму.

У взрослых центральная толщина хрусталика составляет около 3,6 мм, экваториальный диаметр — от 9 до 10 мм. С возрастом хрусталик не только уплотняется, но и увеличивается в объеме, становится толще и шире. Если до 50 лет объем хрусталика составляет 163 микролитра, то к 80 годам он достигает 240 мкл, то есть увеличивается в полтора раза. Каждый год глубина передней камеры глаза уменьшается на 0,01 мм. У стариков толщина хрусталика в центре доходит до 5 мм.

Если бы хрусталик был оптически однородной линзой, он вызывал бы значительную сферическую aberrацию. Однако хрусталик — линза многослойная. У разных слоев немного отличается рефракционный индекс и радиус кривизны. Самый высокий показатель преломления — в центре хрусталика, ядре; чем ближе к периферии, тем он слабее (разница достигает примерно 15%). В пределах ядра рефракционный индекс практически одинаков, самые заметные изменения происходят в кортикальных слоях. Это уменьшает сферическую aberrацию и тем самым улучшает качество изображения.

Расположение главных точек хрусталика зависит от радиусов кривизны передней и задней поверхностей, толщины и распределения показателя преломления. Все эти величины меняются в процессе аккомодации. Позиции главных точек зависят также от показателей преломления окружающих сред. Типичное положение главных точек показано на рис. 2.13.

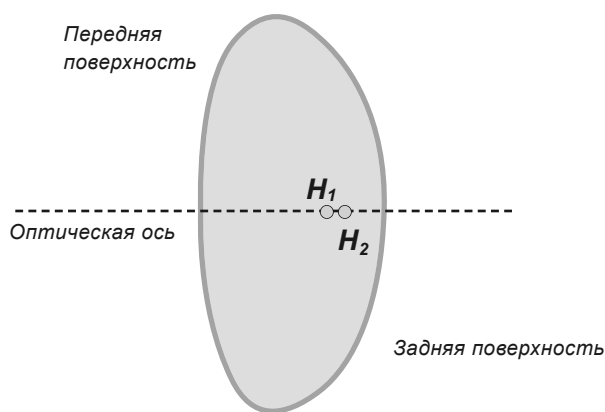


Рис. 2.13. Схема хрусталика в продольном разрезе с примерными позициями передней и задней главных точек



Когда ЦМ расслаблена, цинновы связи максимально растягивают хрусталиковую капсулу, и ее содержимое, хрусталик, уплощается. В этом состоянии без усилий видны удаленные предметы. При взгляде вблизи глаз аккомодирует: сокращение ЦМ ослабляет натяжение цинновых связок, и хрусталик становится более округлым и выпуклым, особенно спереди. Давление внутри хрусталика уменьшается. Вместе с кривизной увеличивается его оптическая сила, и в здоровом глазу фокус вновь оказывается на сетчатке. Поскольку задняя часть хрусталика упирается в стекловидное тело, под его воздействием утолщенный хрусталик также смещается чуть вперед. При переводе взгляда вдаль ЦМ расслабляется, и цинновы связи снова растягивают хрусталик.

Подробнее об аккомодации говорится в § 2.7. Механизм стимула аккомодации изучен не до конца.

Поскольку диапазон изменений формы хрусталика физически ограничен, оптическая сила хрусталика и диапазон четкого видения тоже варьируются в определенных границах. Когда расслабленный глаз сфокусирован на бесконечность, оптическая сила хрусталика составляет 19,11 дптр, а при фокусировке на расстояние 10 см от передней поверхности роговицы — примерно 30–33 дптр. Фокусное расстояние хрусталика равно 69,9 мм.

Стоит отметить, что хрусталик сам по себе — довольно мощная линза с силой почти 102 дптр. Однако в реальных условиях, внутри глаза его преломляющая сила колеблется в указанных пределах 19–33 дптр в зависимости от настройки аккомодации. Невысокая по сравнению с роговицей (43 дптр) оптическая сила хрусталика объясняется тем, что в глазу он не изолирован, а соприкасается с другими прозрачными средами. Хрусталик и спереди, и сзади окружен водянистой влагой — она заполняет тончайшую щель между ним и стекловидным телом. Эти среды обеспечивают питание хрусталика.

Все описанные выше движения хрусталика в процессе аккомодации имеют принципиально важное значение для циркуляции и оттока водянистой влаги. На этом основании некоторые российские специалисты полагают, что при соответствующей анатомической предрасположенности (например, мелкой передней камере) пресбиопия может быть главной причиной развития глаукомы. Хрусталик становится все плотнее и все слабее изменяет форму под воздействием ЦМ, из-за чего дренажная система работает хуже. Отток водянистой влаги ухудшается, что может привести к повышению ВГД. Кроме того, нарушается «дыхание» хрусталика: в норме он при взгляде вдаль легче впитывает водянистую влагу, при взгляде вблизи легче выбрасывает наружу отработанные вещества. Ухудшение эластичности хрусталика в пожилом возрасте замедляет метаболизм, что ускоряет созревание катаракты.

## § 2.6. Стекловидное тело и сетчатка

### 2.6.1. Стекловидное тело

Витреальная камера глаза находится между хрусталиком и сетчаткой (см. рис. 2.1). Она содержит бесцветную, прозрачную желеобразную массу — **стекловидное тело**. В передней части стекловидного тела находится небольшое углубление, подпирающее заднюю поверхность хрусталика (хотя между хрусталиком и стек-

ловидным телом есть капиллярная щель). Глубина витреальной камеры от заднего полюса хрусталика до сетчатки составляет в среднем 16,6 мм. От диска зрительного нерва к хрусталику через все стекловидное тело тянется тонкий гиалоидный канал.

Стекловидное тело на 99% состоит из воды. Однако это не просто жидкость, в отличие от водянистой влаги передней и задней камер, а особая структура, до сих пор довольно слабо изученная. При обычном осмотре стекловидное тело кажется однородным, но при ультразвуковом исследовании хорошо видно его сложное строение. Стекловидное тело пронизано сетью коллагеновых волокон, которые также образуют его наружную оболочку — стекловидную мембрану. В нем содержится гиалуроновая кислота и другие вещества. На отдельных участках стекловидное тело связано с окружающими его глазными тканями. Оно занимает примерно 55% внутреннего объема глаза. Стекловидное тело обеспечивает несжимаемость глазного яблока и придает ему форму.

С возрастом в стекловидном теле могут возникать плавающие помутнения разной формы и размера. При свете они бросают маленькие тени на сетчатку и поэтому видны в поле зрения как пятна или полоски. Сами по себе помутнения не опасны и не мешают зрению, но могут быть симптомами различных заболеваний. Особенно часто они возникают у миопов.

### 2.6.2. Строение сетчатки

Около 50% света теряется при прохождении сквозь все прозрачные оптические среды глаза. Причины потерь – поглощение и рассеяние, неоднородное преломление света в этих средах, а также отражение на переходах между ними. Даже если рассеянный свет доходит до сетчатки, он не участвует в акте зрительного восприятия. Итак, только 50% видимого света в диапазоне волн 400–700 нм достигает цели и формирует ретинальное изображение.

**Сетчатка** состоит из нескольких клеточных и пигментных слоев и слоя нервных волокон. Разные слои выполняют разные функции. На свет реагирует слой **фоторецепторов** – светочувствительных клеток, расположенный в задней части сетчатки. Толщина сетчатки составляет от 0,05 мм в центре зоны фовеа до примерно 0,6 мм вокруг диска зрительного нерва.

Не только у человека, но и у всех позвоночных сетчатка устроена довольно странно. Еще физик Ричард Фейнман в одной из своих известных лекций обратил внимание, что у людей «сетчатка как бы вывернута наизнанку». Чтобы достичь фоторецепторов, свет сначала должен пройти сквозь сеть кровеносных сосудов и нервных волокон. Теоретически это должно ухудшать качество изображения. Но толщина наружных слоев сетчатки очень мала по сравнению с длиной поступающих в глаз световых волн, поэтому разрешающая способность глаза практически не уменьшается.

В природе встречаются и другие конструктивные решения. Например, у моллюсков, кальмаров и каракатиц свет прежде всего попадает на слой фоторецепторов, который находится на поверхности сетчатки. Затем зрительная информация передается в наружные слои зрительных долей – частей центральной нервной системы, расположенных прямо за глазами. Сравнивая глаз осьми-

нога с человеческим, Фейнман пришел к выводу, что в этом случае природа исправила свою «ошибку». Но знаменитый физик ошибся сам: моллюски древнее млекопитающих.

В отличие от моллюсков человек – существо теплокровное. «Нерациональное» строение нашей сетчатки можно объяснить необходимостью поддерживать вокруг нее постоянную температуру. Это нужно для нормального протекания биохимических реакций: колебания температуры могут вызвать ложные зрительные эффекты. Возможно, именно поэтому светочувствительный слой сетчатки спрятан под другими слоями и кровеносными сосудами.

На рис. 2.14 показана упрощенная схема основных слоев и важнейшие типы клеток сетчатки. На самом деле ее строение исключительно сложно. Исследования эмбрионального развития показали, что сетчатка – фактически передний край головного мозга, вынесенный на глазное дно.

Основная функция сетчатки – перевод света в химическую энергию, а затем в сигналы, понятные нервной системе. Светочувствительные клетки сетчатки содержат зрительный пигмент родопсин. Фотоны «выбивают» фрагменты из его сложных молекул. Эта реакция воспринимается нервными клетками (биполярами, а затем ганглиозными, см. рис. 2.14 6-7) как раздражение – электрический сигнал, который передается в зрительную кору. Тем временем сложные химические механизмы восстанавливают исходную форму пигмента, и процесс повторяется снова множество раз. Полное восстановление родопсина в палочках занимает около 30 минут. Именно столько времени нужно, чтобы глаза привыкли к темноте, то есть обрели максимальную светочувствительность.

Фоторецепторы делятся на два типа: **палочки** и **колбочки**. Эти названия объясняются разной формой клеток. В сетчатке около 6–7 миллионов колбочек и 120 миллионов палочек. Светочувствительные клетки распределены по сетчатке неравномерно. Плотнее всего они расположены в зоне приблизительно 20° от центральной ямки – фовеолы (см. ниже). В зависимости от места на глазном дне форма световых рецепторов может значительно меняться, так что бывает сложно различить их. В целом палочки длиннее и уже, чем колбочки.

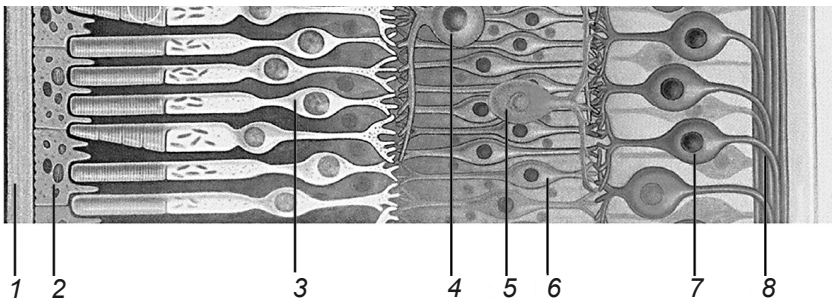


Рис. 2.14. Строение сетчатки (от глубоких слоев к к поверхности): 1 – мембрана Бруха, 2 – пигментный эпителий сетчатки, 3 – фоторецепторы (палочки и колбочки), 4 – горизонтальная клетка, 5 – амакриновая клетка, 6 – биполярные клетки, 7 – ганглиозные клетки, 8 – волокна оптического нерва.

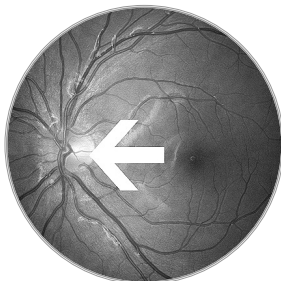
Нейронная сеть палочек устроена так, что от них исходят объединенные усиленные сигналы. К одной биполярной клетке может быть подключено до ста палочек. В результате система палочек обладает очень высокой светочувствительностью, но плохой разрешающей способностью. Напротив, от колбочек исходят отдельные сигналы. Система колбочек функционирует при хорошем освещении и обеспечивает высокое разрешение. Благодаря колбочкам также осуществляется восприятие цвета. Они делятся на 3 типа в зависимости от пигмента. Их условно называют «красными», «зелеными» и «голубыми», поскольку они поглощают излучение разных длин волн. Колбочки важны для фотопического (светового) зрения, а палочки — для скотопического (темнового).

Самая высокая плотность колбочек наблюдается в области **желтого пятна**, или **фовеа**. Это зона шириной в 1,5 мм занимает всего лишь тысячную часть площади сетчатки и содержит 1% от общего числа колбочек. Центральная часть фовеа — **фовеола**, ямка, в которой вообще нет палочек. При хорошем освещении именно расположенные здесь колбочки (всего 0,05% от общего числа) отвечают за пространственное разрешение.

Большая часть колбочек распределена по периферии сетчатки. При слабом освещении колбочки в центральной ямке практически не работают, и люди перестают четко различать детали объектов. Чтобы можно было увидеть хотя бы очертания, «включаются» палочки — в основном те, что расположены в зоне примерно 10—15° вокруг центральной ямки. Именно они помогают обнаруживать объекты при нехватке света.

Когда глаз фиксируется на объекте, центр его изображения формируется в центре фовеа. В центральной ямке слои, расположенные поверх фоторецепторов, тоньше, чем в других зонах сетчатки. Это, как и высокая плотность колбочек, делает фовеолу областью самого высокого разрешения. К периферии сетчатки разрешение падает очень быстро. Поэтому глаза автоматически совершают **саккады** — быстрые короткие движения, как бы сканирующие зрительный объект. Все важные детали фиксируются в фовеа. Конечно, это не означает, что фоторецепторы вне этой зоны не работают. Идущий в мозг нервный импульс — результат сложного взаимодействия всех светочувствительных клеток сетчатки.

Угловой предел разрешения глаза величиной в 1 минуту соответствует размеру одной колбочки. На этом основании разрешающая способность и острота зрения в отечественной научной литературе часто прямо соотносятся с физиче-



*Рис. 2.15. Диск зрительного нерва (слева) и зона фовеа (темное пятнышко справа) на фотоснимке глазного дна*

скими размерами колбочек. Но с позиций физиологии зрения это не совсем верно. Колбочки связаны с биполярными клетками, биполярные — с ганглиозными, причем связь эта очень сложна и хаотична. Одна клетка может быть соединена синапсами с двумя или несколькими клетками соседнего слоя. Отдельные волокна зрительного нерва связаны с ганглиозными клетками, но не напрямую с палочками и колбочками. Концентрические **рецептивные поля ганглиозных клеток** могут иметь самый разный размер. В фовеа центральные зоны этих полей в самом деле примерно равны диаметру колбочки. Но, строго говоря, разрешающую способность зрения определяет мозаика рецептивных полей, а не сами по себе размеры фоторецепторов.

Чтобы зрительные сигналы попадали в мозг, аксонам — отросткам нервных клеток необходим выход наружу. Это место называется **дискон зрительного нерва (ДЗН)**. Питание внешних слоев сетчатки осуществляется благодаря хориоиде — сосудистой оболочке глаза, которая находится между сетчаткой и склерой. Внутренние слои сетчатки питают сосуды, входящие в глаз также в зоне ДЗН (рис. 2.15). Здесь нет ни палочек, ни колбочек, поскольку нерв и кровеносные сосуды образуют брешь в слое фоторецепторов. Поэтому в поле зрения диску зрительного нерва соответствует так называемое **слепое пятно**. Оно смещено на  $15^\circ$  назально и на  $1,5^\circ$  вниз относительно точки фиксации. Чтобы разместить всю эту сложную конструкцию, природе понадобился небольшой зазор между стенкой склеры и фоторецепторами, что увеличивает риск отслоения сетчатки.

К счастью, в повседневной жизни этот конструктивный недостаток не играет особой роли. Слепое пятно очень мало и просто не замечается в огромном потоке зрительной информации, исходящей от фоторецепторов. Слепые пятна левого и правого глаз не совпадают, и мозг постоянно восполняет пробел в поле зрения за счет парного глаза. Нарушить работу этого механизма и обнаружить у себя слепое пятно можно только благодаря оптическим иллюзиям.

### 2.6.3. Цветовое восприятие

Внутри видимого спектра от 380 нм (фиолетовый) до 780 нм (красный) человек теоретически способен различить около миллиона цветовых оттенков. Но на практике такое количество цветов нам не нужно, оно просто проходит мимо нашего сознания. Поэтому люди обычно различают всего несколько тысяч оттенков, и лишь художники способны воспринимать от 16 до 20 тысяч. Так как палочек в сетчатке во много раз больше, чем колбочек, человек воспринимает гораздо больше градаций яркости, чем цветовых оттенков.

Фоновое освещение (солнце, светильники и лампы разного типа) и цветовое окружение (например, обои на стенах) заметно влияют на восприятие цветов, окрашивая воспринимаемую картину в основные тона своего спектра. Этот эффект хорошо знаком художникам и фотографам. Дизайнеры, печатники, фотографы вынуждены создавать на рабочем месте стабильные условия освещения, иначе пришлось бы заново калибровать монитор в зависимости от времени суток и источников света. В обычной жизни люди не обращают на это внимания благодаря дару цветовой адаптации — способности убирать фоновую цветовую примесь.

На цветовосприятие значительно влияет и уровень освещенности. В сумерках и ночью основную роль играют не колбочки, а палочки. Они не могут обеспечить цветное зрение, но чувствительны к синему цвету. Поэтому в условиях пониженной освещенности наблюдается **эффект Пуркинье**: все видимые объекты обесцвечиваются, красные кажутся более темными, а синие — более светлыми. При нормальном освещении наша зрительная система наиболее чувствительна к желто-зеленому диапазону видимого спектра. Возможно, это объясняется не только работой фоторецепторов, но и особенностями хроматических аберраций в глазах людей (см. § 2.8).

Длина световых волн — объективный показатель, но **субъективное ощущение цвета** зависит от многих факторов, психофизиологических и культурных. Например, дети в возрасте нескольких месяцев различают четыре цвета (красный, желтый, зеленый и синий), не видя разницы между оттенками. С точки зрения этимологии, русские прилагательные «желтый» и «зеленый» — однокоренные слова, восходящие к общеиндоевропейскому корню **\*-gel-**; по-видимому, «зелено вино» из русских былин — это так называемое белое вино с желтоватым оттенком. В разные эпохи цвета выделялись и группировались по-разному, и это четко прослеживается по древним литературным памятникам. На Древнем Востоке в радуге различали 5 цветов. По мере развития цивилизаций и языков цветовая дифференциация становится все более тонкой. Например, только в 18 веке в России стали употреблять прилагательные *оранжевый* и *фиолетовый*.

Для цветового зрения необходимо наличие как минимум 2 типа фоторецепторов, работающих одновременно, но отличающихся по светочувствительности. Разница между ними объясняется тем, что в их зрительном пигменте содержатся разные светочувствительные белки, реагирующие на световые волны определенной длины.

Генетический анализ показывает, что у всех существ, разделившихся на разные виды около миллиарда лет назад, была одна изначальная форма опсина — светочувствительного белка. От того же общего корня произошли и 5 групп опсинов, которые выделяются у позвоночных. Одна из групп связана с колбочковыми фоторецепторами сетчатки, остальные четыре — с палочковыми.

Считается, что ранние млекопитающие вели ночной образ жизни, чтобы реже попадаться на глаза хищным динозаврам, и это повлияло на их зрение. В отличие от большинства позвоночных, у современных млекопитающих в сетчатке преобладают палочки, а не колбочки. Они также утратили 2 из 4 групп опсинов, и поэтому у большинства млекопитающих зрение основано на смешении всего 2 основных цветов. Позже у людей и некоторых других дневных приматов один из 2 сохранившихся «цветовых» генов подвергся дупликации, а естественный отбор быстро «настроил» получившиеся копии на разные длины волн. Произошло это сравнительно недавно, примерно 30 миллионов лет назад. **Цветовое зрение** людей основано на смешении 3 основных цветов — красного, зеленого и синего, воспринимаемых 3 типами колбочек.

**Цветовая слепота** чаще всего бывает наследственной. Это очень распространенный дефект зрения: в Европе от него страдают 4–8% мужчин и 0,4% женщин. Во многих случаях это проявляется только в виде небольших отклонений в вос-

приятию красного и зеленого, при том что способность подбирать все цвета смешением трех основных цветов сохраняется. Эту форму цветовой слепоты называют «аномальным трихроматическим зрением». Другая форма – дихроматическое зрение: люди с этой аномалией утратили дополнительный ген и подбирают все цвета путем смешения только двух основных. Чаще всего встречается нарушение восприятия красного и зеленого цветов (дальтонизм), но иногда – желтого и синего. Третья, очень редкая форма цветовой слепоты – монохроматическое зрение, полная неспособность различать цвета.

#### 2.6.4. Патологии сетчатки и их профилактика

Сетчатка требует внимательного и бережного отношения. Восстановить поврежденную сетчатку трудно или практически невозможно. Сейчас разрабатываются и успешно имплантируются разные варианты искусственной сетчатки, проводятся эксперименты со стволовыми клетками. Но пока это отнюдь не массовая медицина. При повреждениях сетчатки в поле зрения возникают слепые участки – скотомы.

Любое направленное, мощное излучение опасно для сетчатки, поэтому необходимо соблюдать определенные правила безопасности. Без защитного светофильтра нельзя смотреть на солнце не только в бинокли, подзорные трубы и телескопы, но и в оптический видеоискатель зеркального фотоаппарата. Попадание в глаз луча лазерной указки или проектора во время шоу также может привести к серьезным последствиям.

Ультрафиолет частично поглощается роговицей и желтоватым хрусталиком (и оказывает на них повреждающее действие, если глаз не защищен очками или контактными линзами с УФ-фильтром). Небольшая часть УФ-А лучей все равно достигает сетчатки, но это не опасно, если не смотреть долго на солнце или ярко освещенный им фон. Регулярное пребывание на солнце может быть дополнительным фактором риска развития возрастной макулярной дегенерации (см. ниже).

Другая повседневная опасность в наше время – холодный свет ЖК-мониторов, мобильных цифровых устройств, ламп дневного света, а также светодиодных ламп первого поколения. В ходе эволюции глаз человека был настроен на теплый спектр солнечных лучей. Сине-фиолетовый спектр в принципе вреден для сетчатки. Постоянное воздействие холодного света вызывает фотохимическое повреждение сетчатки и ускоряет деградационные процессы.

Разрывы, истончение и отслоение сетчатки встречаются почти у 80% миопов. При миопии увеличены размеры задней части склеры, что повышает вероятность повреждения сетчатки. Иногда эти проблемы возникают и у людей с нормальным зрением в условиях плохой экологии, при высоких зрительных или физических нагрузках, при беременности и родах.

Серьезную угрозу для сетчатки представляет диабет, а в старом возрасте – макулярная дегенерация. Согласно статистике, диабетическая ретинопатия (повреждение сетчатки из-за нарушения обмена веществ при диабете) – главная причина слабовидения и слепоты в пожилом возрасте.

Возрастная макулярная дегенерация (ВМД) – болезнь, поражающая центральное зрение в старости. Хуже всего, что поражается именно центральное зрение,

а не периферическое. Причины этого заболевания ясны не до конца. Точно установлено, что большую роль в развитии ВМД играет нарушение микроциркуляции и обмена веществ между сетчаткой и сосудистой оболочкой. Нынешнюю распространенность ВМД в развитых странах обычно объясняли старением населения (раньше большинство просто не доживало до таких симптомов), но в последнее время болезнь неожиданно «помолодела» – она встречается в 50-летнем и даже 40-летнем возрасте.

Для профилактики и лечения заболеваний сетчатки применяются такие препараты, как «Лютеин», «Оковидит», «Зеаксантин», «Миртикам», «Черника Форте», Vitrum Vision Forte и т. п. Все они питают и поддерживают сетчатку благодаря экстрактам различных растений, в том числе черники, целительные свойства которой для глаз были открыты еще во время Второй мировой войны.

К повреждению диска зрительного нерва, потере части поля зрения, а в дальнейшем и к необратимой слепоте ведет глаукома. Это заболевание на ранних стадиях проходит бессимптомно, поэтому мониторинг и своевременная диагностика очень важны. Причины глаукомы до сих пор неясны. Традиционно ее связывали с повышенным внутриглазным давлением (ВГД), поражающим ганглиозные клетки сетчатки и ДЗН. Однако выяснилось, что характерные изменения ДЗН и поля зрения могут происходить и при нормальном ВГД.

Самостоятельно проверить состояние сетчатки нельзя, поэтому необходимо хотя бы раз в год проходить полное обследование у офтальмолога, включая осмотр глазного дна и тонометрию. Проблемы с сетчаткой грозят не только людям зрелого возраста. Если у молодого пациента быстро ухудшается зрение, это может объясняться не рефракционной аномалией, а выпячиванием макулярной области. В таких случаях очень важно осматривать глазное дно, чтобы вовремя обнаружить отек макулы и принять меры.

Особенностями устройства сетчатки обусловлены **важнейшие свойства зрения**: световая чувствительность и адаптация, острота зрения и контрастная чувствительность, бинокулярность.

## § 2.7. Зрительное различение

Любая сенсорная система обладает как абсолютной чувствительностью, так и дифференциальной, то есть может как обнаруживать раздражители разной интенсивности и длительности, так и различать их. Чтобы орган чувств выполнял свои задачи, одного лишь обнаружения недостаточно. Это относится и к человеческому зрению.

**Зрительное различение** в самом широком смысле слова — способность зрительной системы воспринимать и анализировать поступающие световые сигналы, вычленять и идентифицировать единицы зрительной информации. Выделяется 3 основных типа зрительного различения:

1. **Светоразличение**. Включает в себя широкий круг понятий — абсолютную и дифференциальную световую чувствительность, яркостный контраст, спектральную чувствительность.

2. **Пространственное различение** — это способность вычленять отдельные объекты, различать их форму и относительную величину, взаимное расположе-



ние и движение в пространстве. Частные проявления пространственного различения — разрешающая способность и острота зрения.

3. **Временное различение** отражает реакцию на зрительные стимулы, изменяющиеся со временем. Оно косвенно влияет на остроту зрения и контрастную чувствительность, поскольку зрительный анализатор реагирует на стимулы с некоторым опозданием.

### 2.7.1. Светоразличение и адаптация

У фоторецепторов сетчатки практически предельная возможная чувствительность: для возбуждения одной палочки достаточно 1 фотона. Но зрительная система реагирует на сигнал, если сетчатки достигло не менее 8 фотонов. В любом случае, благодаря огромному количеству палочек абсолютная чувствительность зрения очень высока, как и **относительная (яркостная) чувствительность** — способность воспринимать градации яркости. При высоких уровнях яркости человек способен заметить разницу освещенности двух поверхностей до 1,5–2%.

Эта разница в полтора-два процента — минимальный (пороговый) **яркостный контраст**, позволяющий обнаружить разницу в освещенности объектов, воспринимаемых одновременно. При последовательном восприятии пороговое значение должно составлять не менее 4%. На практике величина контраста должна быть заметно выше пороговой. Зрительный анализатор человека склонен усиливать яркостный контраст. Один и тот же серый объект на белом фоне кажется более темным, а на черном — более светлым (рис. 2.16).

Яркостный контраст — важнейшая характеристика условий освещения. Он возрастает по мере увеличения освещенности. Поэтому так важно хорошее освещение во время работы: оно позволяет с меньшими усилиями различать больше деталей. При ярком освещении дольше сохраняется зрительная работоспособность, глаза меньше устают.

Способность зрительной системы приспосабливаться к разным условиям освещенности называют **адаптацией**. В этом процессе участвуют зрачок и сетчатка. Различают световую и темновую адаптацию.

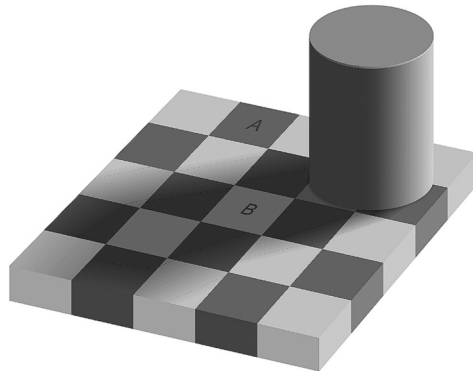


Рис. 2.16. Оптическая иллюзия профессора Эдварда Эйдельсона (Массачусетский технологический институт, США). Квадраты А и В окрашены одинаковым серым цветом, но кажутся разными на фоне окружающих клеток.

**Световая адаптация** — понижение светочувствительности глаза при перепаде яркости от малого уровня к большому (например, при выходе из темного помещения на солнце). Зрачок рефлекторно сужается до 2 мм, до предела уменьшая входящий в глаз световой поток. Но происходит это не мгновенно, а уже в ответ на сильное световое раздражение сетчатки. За те 5 секунд, что требуются для максимального сужения зрачка, яркий свет «засвечивает» палочки. Покрывающий их зрительный пигмент быстро и практически полностью разлагается, и палочки временно слепнут. Изображение воспринимают колбочки, защищенные пигментными зернами. Возникает неприятное ощущение частичной потери зрения, но спустя 8–10 минут зрительные функции восстанавливаются.

**Темновая адаптация** — повышение светочувствительности глаза при перепаде яркости от большого уровня к малому (например, при выходе из освещенной комнаты в темный коридор). Зрачок открывается как можно шире, чтобы пропустить в глаз как можно больше света. Колбочки не чувствительны к слабому свету, и поначалу глаз не может ничего различить. Затем в сетчатке восстанавливается родопсин, и постепенно включаются палочки. Человек начинает различать контуры, а затем и некоторые детали предметов. Зрачок достигает самого широкого диаметра за 5 минут, а весь процесс темновой адаптации занимает около часа. Таким образом, к темноте глаза привыкают гораздо дольше, чем к яркому свету. После длительной темновой адаптации светочувствительность палочек максимальна.

## 2.7.2. Острота зрения и контрастная чувствительность.

### Слабовидение

**Острота зрения (*visus*, сокр. *Vis* или *V*)** — способность различать границы и детали объектов. Она определяется по минимальному угловому расстоянию между двумя соседними точками, при котором они воспринимаются раздельно друг от друга. С остротой зрения тесно связана **контрастная чувствительность (КЧ)** — способность различать минимальный яркостный контраст. Если перепад яркости между точками не воспринимается, то для зрительного анализатора они просто сливаются в одну. Острота зрения и КЧ — близкие, но не тождественные показатели. КЧ — реакция на слабый перепад яркости, тогда как острота зрения определяется при максимальном контрасте объекта и фона. От остроты зрения и КЧ зависит **качество зрения**. Это довольно расплывчатое понятие — общая оценка состояния зрительных функций, зоркости, четкости изображения.

Иногда термин **разрешающая способность глаза** используется как синоним остроты зрения. Это принципиальная ошибка. Можно говорить о разрешающей способности оптики глаза (по аналогии с объективом) или о пределе разрешения сетчатки, зависящем от размера и плотности рецептивных полей (по аналогии с цифровой матрицей). Но то и другое — объективные физические характеристики. А острота зрения — характеристика психофизическая. Это субъективная реакция человека на зрительные стимулы, результат обработки потока сигналов в зрительной коре головного мозга.

При «нормальной» остроте зрения, принимаемой за 1,0, угол различения  $\varphi$  равен одной минуте. Острота зрения выражается с помощью десятичных дробей

и определяется как величина, обратная величине угла предельного различения, выраженной в минутах. Например, если  $\varphi = 1'$ , то  $V = 1,0$ ; если  $\varphi = 2'$ , то  $V = 0,5$ , и так далее. Однако нередко встречается «сверхострота» зрения. Человек с  $V = 2,0$  способен различать отдельные детали даже под углом  $\varphi = 30''$ . Сверхострота зрения может объясняться особенностями рецептивных полей сетчатки и повышенной контрастной чувствительностью. Скорее всего, это наследственная черта.

Итак, в норме две близкие точки должны восприниматься раздельно, если они видны под **углом зрения** (см. § 2.3), равным одной минуте. Однако реальная острота зрения определяется по **углу различения** — минимальному углу зрения  $\varphi$ , при котором человек способен различить отдельные детали объекта. Острота зрения характеризует предел различения зрительного анализатора в целом, а не разрешающую способность глаза как отдельного органа. Этим, по-видимому, и объясняются случаи повышенной остроты зрения. Офтальмологические тесты на остроту зрения выявляют именно способность различать или даже угадывать детали. Интересный факт: бинокулярная острота зрения обычно в 1,3 раза выше, чем определяемая монокулярно. Очевидно, зрительная информация, идущая одновременно от двух глаз, помогает мозгу более точно сформировать образ объекта.

Visus — важнейший показатель, определяющий качество зрения. Сначала диагностируется острота зрения без коррекции, а затем наилучшая скорректированная острота зрения с помощью пробных линз или фороптера. Основным методом определения остроты зрения — предъявление пациенту **оптомипов** (отдельных или сведенных в таблицу со строками разного размера) с расстояния 5–6 метров.

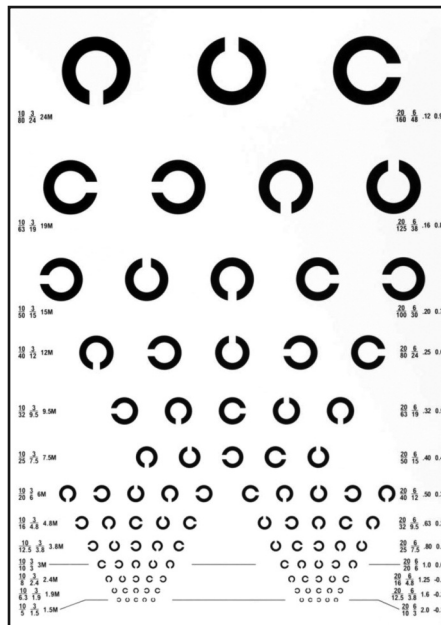


Рис. 2.17. Таблица для проверки остроты зрения: кольца Ландольта

Таблицу можно повесить прямо на стену или использовать специальный осветитель с рамкой — аппарат Ротта. На остроту зрения укажет минимальный размер тест-объектов, которые пациент сможет идентифицировать.

В оптометрической практике применяются оптоотипы самых разных форм: кольца, буквы разных алфавитов, картинки и пиктограммы. Самый удачный набор оптоотипов, применяемый во всем мире, — кольца Ландольта (*рис. 2.17*). Способность разглядеть разрыв кольца — более надежный и точный показатель, чем различение формы букв. Картинки имеет смысл применять только при работе с детьми дошкольного возраста, если они плохо воспринимают кольца и буквы. В РФ популярна таблица Сивцева — Головина, состоящая из двух половин: с кольцами Ландольта и буквами русского алфавита. Широко применяются проекторы знаков — приборы, проецирующие изображения оптоотипов на экран. Проекторы гораздо универсальнее, чем таблицы, поскольку содержат большой набор зрительных тестов. Они позволяют показывать оптоотипы самыми разными способами (с вращением и увеличением, в виде отдельных знаков или строк).

Острота зрения зависит как от состояния зрительной системы пациента, так и от условий обследования. Она всегда понижена при аномалиях рефракции и выраженном астигматизме, поскольку резкого изображения на сетчатке не получается (*см. § 2.11*). В большинстве случаев это исправимо. Основная задача оптической коррекции — добиться наилучшей скорректированной остроты зрения с помощью очковых или контактных линз. Острота зрения также заметно снижается при зрительной усталости.

Кроме рефракции и состояния аккомодации, острота зрения зависит от диаметра зрачка. При диаметре менее 2 мм *visus* снижается из-за дифракции, а при диаметре более 3 мм — из-за усиления аберраций и отражения света от сетчатки. Оптимальная острота зрения достигается при диаметре зрачка 2–3 мм. Именно такой размер зрачка наблюдается при дневном зрении.

Что касается условий обследования, то на остроту зрения влияют условия освещения, форма и контрастность мишени. Например, черные оптоотипы на белом фоне слишком контрастны. В условиях реальной зрительной работы контраст обычно намного меньше, а значит, больше требования к контрастной чувствительности. Проверка остроты зрения по таблице не позволяет оценить, насколько хорошо пациент различает слабоконтрастные объекты.

Поэтому для максимально точной оценки состояния зрительного анализатора исследуется **пространственная контрастная чувствительность (ПКЧ)**. Согласно профессору В. В. Волкову, ПКЧ «определяет минимальный контраст, необходимый для обнаружения изображений различных размеров». Для оценки ПКЧ применяется метод визоконтрастометрии. Пациенту предъявляют чередующиеся черно-белые или цветные полосы или решетки с синусоидальным изменением яркости (*рис. 2.18*). Полосы различаются по ширине (пространственной частоте) и контрасту. Пространственная частота — количество циклов на градус поля зрения. 30 ц/гр соответствуют углу различения  $\varphi = 1'$  или остроте зрения 1,0. ПКЧ — величина, обратная пороговому контрасту, необходимому для различения полос. У людей с одинаковой остротой зрения ПКЧ может отличаться очень заметно.

Для визоконтрастометрии разрабатываются специальные компьютерные программы и атласы. Эта процедура, в отличие от обычной проверки остроты зрения, позволяет диагностировать нарушения (например, амблиопию) на самых ранних стадиях. Визоконтрастометрия широко применяется для оценки эффективности рефракционных операций.

Остроту зрения можно искусственно повысить с помощью различных оптических увеличителей — луп, микроскопов, биноклей, подзорных труб и телескопов. Увеличение изображения на сетчатке позволяет рассмотреть больше деталей. При слабовидении этот метод становится необходимым.

**Слабовидением** называют состояние рефракции, при котором наилучшая острота зрения даже с оптической коррекцией не превышает 0,3. Сохранившейся остроты зрения недостаточно для чтения мелкого текста и другой зрительной работы, иногда даже для простейших бытовых действий. Самые частые причины слабовидения — дистрофия сетчатки, диабетическая ретинопатия, глаукома, ВМД, многолетняя прогрессирующая миопия высокой степени, у детей — ретинопатия недоношенных.

Уже при остроте зрения 0,3 человеку недоступна большая часть источников информации. Нарушается бинокулярное зрение. Почти у четверти слабовидящих наблюдается анизометропия более 2 дптр. Слабовидение может прогрессировать, пока не утратится полностью различающая способность зрения — останется только светоощущение.

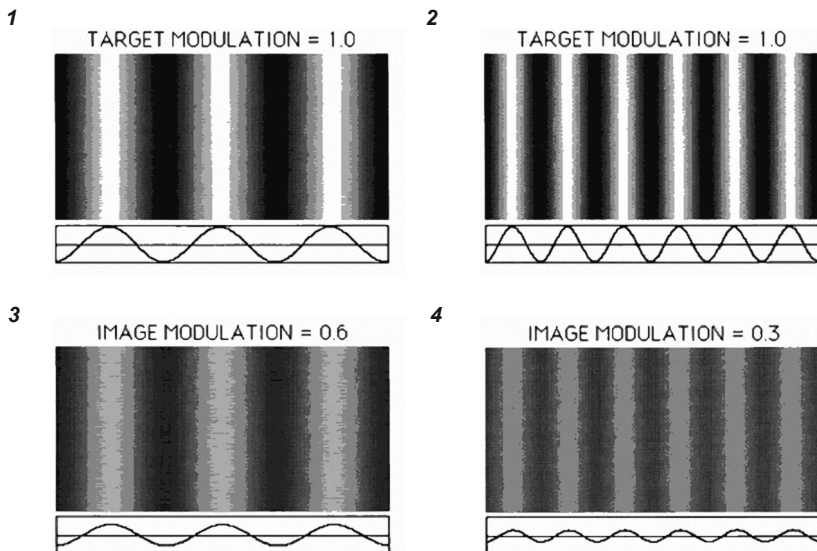


Рис. 2.18. Визоконтрастометрия: полосы и синусоидальные профили яркости. 1, 2 — тест-объекты с высокой контрастностью (1,0), 3, 4 — с пониженной контрастностью (0,6 и 0,3).

Слабовидение — результат катастрофического падения разрешения в центральном поле зрения, поэтому обычная оптическая коррекция не помогает восстановить зрительные функции. Единственный способ улучшить зрение при слабовидении — увеличение размера изображения на сетчатке. Это достигается с помощью специальных увеличителей, оптических и электронных. Каждое подобное устройство разрабатывается для решения определенных зрительных задач. Поэтому слабовидящему необходимо иметь сразу несколько увеличителей для разных нужд. Сейчас доступны различные типы увеличителей для слабовидящих:

1. **Лупы.** Бывают ручными, опорными или накладными (закрепляемыми на очках). Отличаются по степени увеличения и конструкции (складные, без освещения или с подсветкой). На рынке РФ представлены лупы отечественного производства, а также продукция немецкой компании *Eschenbach*. Ручные и опорные лупы — простое, универсальное и незаменимое средство помощи слабовидящим для кратковременной зрительной работы. Они позволяют легко сфокусироваться на предмете практически независимо от состояния зрительного аппарата.

2. **Специальные очки** — сферопризматические очки-гиперокуляры для бинокулярного (с увеличением до 5 крат) и монокулярного (с увеличением до 2,5 крат) применения. Предназначены для зрительной работы на близком расстоянии (10–25 см от глаз). Подбор таких очков-гиперокуляров возможен только в определенных случаях. Нужно, чтобы сохранилось бинокулярное зрение вблизи, а разница между правым и левым глазом не превышала 2 дптр по рефракции и 50% по остроте зрения.

3. **Телескопы дальнего действия (монокуляры)** для зрения вдаль и на средних дистанциях. Производимые в РФ приборы обеспечивают диапазон увеличений от 2,5 до 8 крат, а фокусировка позволяет четко видеть и удаленные объекты, и расположенные на расстоянии в полметра.

4. **Оптико-электронные видеоувеличители** (от 10 до 50 крат). Бывают ручными (компактные приборы со встроенным экраном) или стационарными (компьютерные видеосистемы). По сравнению с оптическими видеоувеличители обладают рядом преимуществ, но и не лишены недостатков.

Использование увеличителей помогает сохранить трудоспособность при остроте зрения 0,12–0,2 или повысить качество жизни при остроте зрения 0,05–0,1. Дети-инвалиды с  $V = 0,05$  и выше могут получить образование (возможно, даже в обычных школах, без переезда в интернат). У слабовидящих подростков также появляется больше возможностей для учебы и работы.

## § 2.8. Аберрации в оптической системе глаза

Для идеальной остроты зрения необходимо, чтобы все множество лучей сфокусировалось на сетчатке строго в одной точке. На практике этот идеал недостижим даже в оптических приборах, поскольку при самом точном производстве нельзя добиться идеальной центровки и формы оптических поверхностей. В при-

роде не бывает идеальных математических форм. Кроме того, свет полихроматичен, а лучи с разной длиной волны нельзя собрать в одной точке. И, наконец, сделать это не позволяет сама волновая природа света: точка всегда будет в той или иной степени размыта из-за дифракции.

Из всего, что выше говорилось о роговице и хрусталике, очевидно, что оптика глаза не может быть свободной от дефектов — абберраций, в той или иной степени искажающих ретинальное изображение. И в самом деле, в глазу есть все виды абберраций, которые встречаются в искусственных оптических системах. Вопрос лишь в том, насколько заметно эти абберрации влияют на зрение.

Для измерения абберраций глаза сейчас широко применяется **анализ волнового фронта**. Эта технология позволяет определить оптические искажения в каждой точке поля зрения и по сути является также очень точным объективным способом измерения рефракции. Неслучайно абберметр Шака — Гартмана все чаще встраивается в современные авторефрактометры. Устройство посылает в глаз небольшой пучок лучей и с помощью сенсора анализирует их отражение от сетчатки. Проходя через хрусталик и роговицу, лучи отклоняются от идеальной траектории. Эти отклонения фиксируются компьютерной системой и записываются в виде карты волнового фронта.

**Волновой фронт глаза** — условная поверхность, геометрическое место точек, до которых к заданному времени дошел процесс распространения световой волны. При обследовании не существующего в природе «идеального» глаза эта поверхность получилась бы плоской, но в реальности она имеет сферическую форму со множеством микроскопических изгибов и ямок. На экранах современных приборов карта волнового фронта может быть представлена либо в виде плоской фронтальной проекции, либо в виде объемной фигуры, где зоны оптических искажений выделяются разными оттенками спектра. Зеленый цвет означает, что искажений практически нет; синий — что на данном участке волнового фронта лучи запаздывают; красный — что они приходят раньше. Интенсивность цвета указывает на величину ошибки волнового фронта.

Полученные поверхности удобно распределить по типам в зависимости от их формы. В большинстве абберметров предусмотрена возможность подобной сортировки на основе полиномов Цернике. Сами по себе полиномы Цернике — математические функции, с которыми условно можно соотнести формы абберраций волнового фронта, типичные для оптических систем, в том числе для глаза. Каждый полином представляет одну элементарную абберрацию вроде комы или трейфоила. Некоторые из них показаны на рис. 2.19.

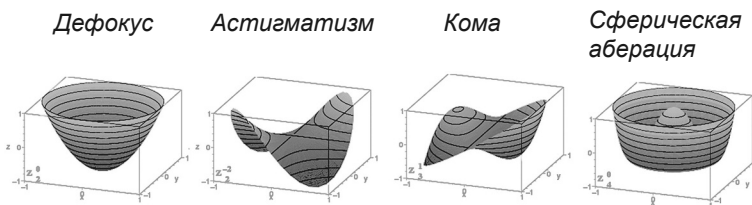


Рис. 2.19. Некоторые полиномы Цернике, имеющие практическое значение для оптометрии

Карта волнового фронта — наглядное отображение разницы между «идеальным» и реальным глазом. Хотя средний уровень aberrаций у разных людей очень похож, карта волнового фронта так же уникальна, как отпечатки пальцев. Анализ волнового фронта стал для офтальмологов и оптометристов совершенным инструментом измерения aberrаций всех типов. Это позволило впервые обратить пристальное внимание на aberrации высших порядков.

Аномалии рефракции (миопия, гиперметропия, астигматизм) являются aberrациями второго порядка и существенно влияют на остроту зрения. Но влияние aberrаций высшего порядка (сферических, хроматических, комы, трейфола и других) гораздо слабее. Долгое время оптометристы подбирали только сферическую и цилиндрическую коррекцию aberrаций второго порядка. Пионерами в борьбе с aberrациями высших порядков стали офтальмохирурги.

Предполагалось, что полная лазерная коррекция всех aberrаций должна обеспечить пациенту так называемое суперзрение, то есть остроту зрения 2,0 и больше. Практика показала, что это не так. Сама структура рецептивных полей сетчатки накладывает ограничения на зрительное разрешение. Более того, как отмечают профессора С.Э. Аветисов и В.М. Шелудченко, aberrации высших порядков играют положительную роль, увеличивая глубину фокусной области.

Не стоит преувеличивать отрицательную роль aberrаций высшего порядка. Для здорового глаза при нормальном освещении их влияние на остроту зрения очень невелико. Еще раз напомним особенности оптической системы глаза, влияющие на общую картину aberrаций.

**Факторы, вызывающие aberrации:**

- оптические поверхности глаза не осесимметричны;
- поверхности роговицы и хрусталика не идеально сферичны, их форма в той или иной степени неправильна;
- роговица всегда имеет торическую форму, а значит, в любом глазу есть астигматизм;
- зрительная ось не совпадает с оптической, так как зона фовеа на сетчатке отклонена от оптической оси примерно на  $5^\circ$  в височную сторону;
- апертура глаза (зрачок) также слегка децентрирована в противоположную, назальную сторону;
- при диаметре зрачка более 3 мм сферические и хроматические aberrации начинают отрицательно влиять на качество зрения; это особенно заметно при расширении зрачка до 5 мм;
- оптическая система глаза — аналог широкоугольного фотообъектива с фокусным расстоянием примерно 23 мм, а значит, она вызывает дисторсию;
- дисперсия света при прохождении через хрусталик вызывает хроматические aberrации.

**Факторы, уменьшающие aberrации:**

- асферичность роговицы существенно снижает сферические aberrации;
- хрусталик неоднороден, его преломляющая сила максимальна в центре и падает к периферии, что еще более снижает сферические aberrации;
- чуть ниже показано, что сферические aberrации, вызванные роговицей, как правило, компенсируются aberrациями хрусталика;



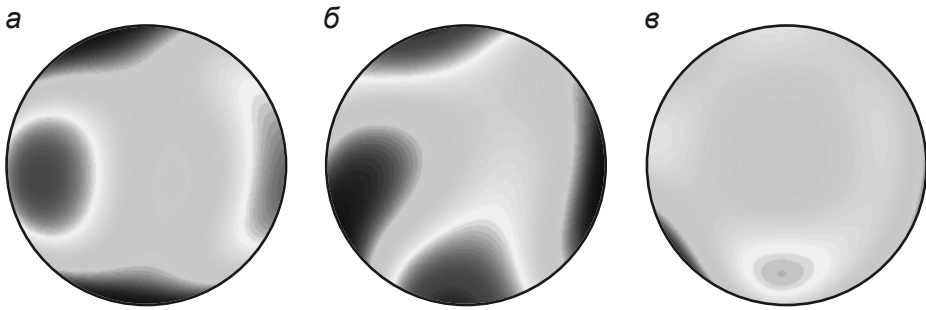


Рис. 2.20. Компенсация aberrаций роговицы aberrациями хрусталика в здоровом глазу при ширине зрачка 5 мм: а — карта волнового фронта aberrаций роговицы; б — карта aberrаций хрусталика; в — итоговая суммарная карта [иллюстрация из работы Artal P. и соавт. Compensation of corneal aberrations by internal optics in the human eye // J. Vis. — 201. — Vol. 1. — № 1].

- при обычном диаметре зрачка до 3 мм в дневное время величина aberrаций пренебрежимо мала, а при диаметре от 2,5 до 3,22 мм (по разным данным) они практически не влияют на качество изображения;
- дисторсия не замечается, поскольку для зрительного анализатора имеет значение только центральная часть поля зрения;
- так же успешно зрительный анализатор «исправляет» незначительные сферические и хроматические aberrации.

Несмотря на все свои оптические недостатки, глаз человека работает почти как апланатическая система. (Апланатизмом называется полное отсутствие сферической aberrации. Искусственная оптическая система считается строго апланатической, если в ней исправлены и сферическая aberrация, и кома.) У здоровых людей при расслабленной аккомодации наблюдается сферическая aberrация  $Z^0_4 \approx 0,13$  мкм. Она приводит к пренебрежительно малой рефракционной ошибке в 0,12 дптр.

Столь низкий уровень сферической aberrации в глазу объясняется взаимодействием двух несовершенных оптических компонентов — роговицы и хрусталика. Сегодня общепризнано, что хрусталик компенсирует умеренный роговичный астигматизм и сферическую aberrацию (рис. 2.20).

Недавние исследования показали, что хрусталик может компенсировать и кому. С возрастом, когда хрусталик начинает стареть и терять эластичность, оптическое равновесие между ним и роговицей нарушается, и суммарные aberrации растут. Поэтому молодой глаз более апланатичен, чем старый. После достижения возраста 30 лет aberrации высших порядков начинают усиливаться, и к 60 годам их общая величина удваивается.

Кроме возраста, на величину сферической aberrации влияют диаметр зрачка и уровень освещенности, рефракция, степень напряжения аккомодации (чем сильнее аккомодирует глаз, тем выше сферическая aberrация) и даже моргание или смена направления взора. Такая изменчивость aberrаций высшего порядка заставляет задуматься, насколько вообще возможно исправлять их оптическими средствами коррекции.

В 2000-е годы технологию волнового фронта начали применять для изготовления контактных и очковых линз по индивидуальным заказам. Некоторые ведущие производители представили свои варианты линз, исправляющих aberrации высшего порядка. Разумеется, если оптический дизайн линзы точно подогнан под картину волнового фронта глаза, ее подвижность нужно максимально ограничить. Иначе при малейшем сдвиге очковой оправы или ротации контактной линзы возникнет масса новых, индуцированных aberrаций.

Такие индивидуальные линзы по-настоящему необходимы лишь в некоторых случаях. При выраженной иррегулярности формы роговицы уровень aberrаций очень велик, так как оптическая поверхность сильно искажена. Линзы с учетом данных волнового фронта также помогают пациентам с повышенным уровнем сферических aberrаций. Вечером, когда зрачок расширен, у таких людей заметно падает острота зрения.

Итак, сферическими aberrациями высших порядков в большинстве случаев можно пренебречь. А вот продольные хроматические aberrации довольно заметно влияют на рефракцию. При прохождении света через хрусталик наблюдается дисперсия: лучи разного цвета преломляются по-разному (рис. 2.21). В результате фокусное расстояние глаза возрастает вместе с длиной волны. Разница в силе рефракции между крайними границами видимого диапазона — фиолетовыми и красными лучами достигает 2 дптр! При эметропии точный фокус на сетчатке образуют именно лучи из желто-зеленой части спектра. Красные лучи фокусируются за сетчаткой, а синие — перед ней. Очки и контактные линзы корректируют глаз с учетом только одной длины световой волны. Однако в повседневной жизни мы постоянно сталкиваемся с разноцветными объектами, поэтому испускаемые ими световые волны не могут фокусироваться на сетчатке одновременно.

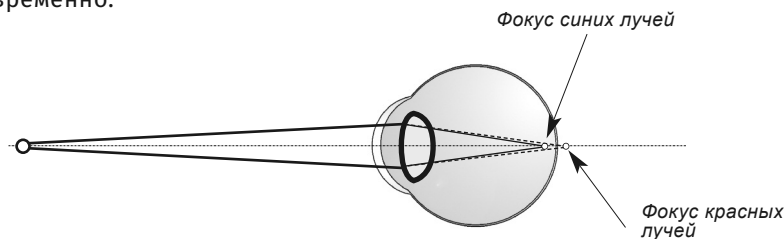


Рис. 2.21. Дисперсия света в глазу человека. Разноцветные лучи, идущие от наблюдаемого объекта, фокусируются на разном расстоянии от сетчатки.

Сейчас считается, что исправлять хроматические aberrации не стоит. Они стимулируют аккомодацию, помогая быстрее сфокусировать глаз на нужном объекте. Однако необходимо учитывать, что **окрашенные линзы влияют на рефракцию**. Например, достоверно установлено, что желтые светофильтры улучшают остроту зрения, контрастную чувствительность и зрительную работоспособность. Напротив, использование фиолетовых светофильтров приводит к заметной миопизации до 0,75 дптр. Влияние светофильтров на рефракцию используется в **спектральной коррекции зрения**.

## § 2.9. Аккомодация

Глаз способен изменять свою оптическую силу, что позволяет четко фокусироваться на предметах, находящихся на разном расстоянии. Этот процесс называется **аккомодацией**. У людей он осуществляется в первую очередь за счет изменения кривизны хрусталика.

Уточнение «в первую очередь» важно: в процессе эволюции у живых организмов сформировалось несколько биологических механизмов аккомодации. Все они в разной степени работают и в человеческом глазу. Подробная схема эволюционного развития аккомодации была предложена в докторской диссертации проф. С. Л. Шаповалова. Кратко перечислим **основные механизмы аккомодации**.

Древнейший из них — изменение формы глазного яблока под воздействием наружных глазных мышц. При взгляде вблизи склера уплощается, передне-задняя ось (ПЗО) удлиняется, сетчатка слегка отдалается от роговицы и хрусталика. У человека этот механизм сохранился лишь отчасти, а у некоторых рептилий (например, у аллигаторов) остается основным.

Следующим этапом стала возможность смещения хрусталика вдоль ПЗО глаза. Этот механизм аккомодации характерен для рыб, земноводных, головоногих моллюсков. Например, у осьминога хрусталик имеет форму шара, и при аккомодации меняется не его кривизна, а расположение на ПЗО.

На третьем этапе развилась способность изменять оптическую силу глаза за счет кривизны поверхности хрусталика. Хрусталиковый механизм аккомодации реализуется по-разному. У птиц и рептилий цилиарная мышца (ЦМ) сдавливает хрусталик. У позвоночных ЦМ ослабляет натяжение волокон, которыми хрусталиковая капсула крепится к цилиарному кольцу.

Именно хрусталиковый механизм аккомодации является основным у людей. При этом частично сохраняются более ранние (слабое удлинение ПЗО под действием наружных мышц, слабое смещение хрусталика вперед). Как уже отмечалось, важные дополнительные механизмы — сужение зрачка, дающее от 0,5 до 1,2 дптр оптической силы, и сужение век (прищуривание).

В РФ растет популярность антинаучных теорий, пропагандирующих отказ от средств оптической коррекции зрения. Все они основаны на книгах американского офтальмолога Уильяма Бейтса (1860—1931). Он утверждал, что важнейший механизм аккомодации у людей — изменение формы склеры и роговицы под действием наружных глазных мышц. По Бейтсу, к аномалиям рефракции приводит спазм ЦМ и/или наружных глазных мышц. На этом и основан его метод лечения, сводящийся к разным формам глазодвигательной гимнастики и психологического тренинга. Все популярные «нетрадиционные» методики лечения аномалий рефракции, включая метод Норбекова, являются лишь пересказом идей Бейтса.

Клинические исследования на Западе не подтвердили эффективность методик Бейтса. В самой его теории есть очевидные неувязки. Чтобы изменить рефракцию глаза на 3 дптр только за счет изменения длины глазного яблока, необходимо изменить длину ПЗО на 1 мм. Таким образом, аккомодация на 10 дптр должна удлинять глазное яблоко на 3 мм. Разумеется, в реальности столь заметных изменений формы глаз не наблюдается. Кроме того, если причина миопии

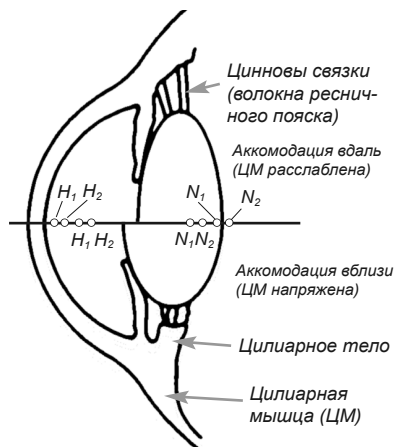


Рис. 2.22. Влияние аккомодации на форму, положение, главные и узловые точки хрусталика

пии в постоянном перенапряжении ЦМ, ее можно было бы излечить с помощью полного расслабления. Это и происходит при атропинизации, но она вовсе не улучшает зрение, а выявляет «истинную» рефракцию глаза.

Хотя Бейтс утверждал, что его доказательства «непреодолимы», он сам вынужден был признать: эффект атропинизации в 9 случаях из 10 подтверждает «ортодоксальную» теорию Гельмгольца. Она нуждается в уточнениях, но в главном Гельмголец не ошибался: глаз человека аккомодирует прежде всего за счет изменения кривизны поверхности хрусталика. Все остальные дополнительные механизмы позволяют увеличить оптическую силу глаза не более чем на 2,5 дптр.

Хрусталиковая капсула прикреплена к цилиарной мышце (ЦМ) посредством цинновых связок — волокон ресничного пояска. Эти волокна всегда в той или иной степени натянуты, а при взгляде вдаль натянуты максимально. В этом случае ЦМ расслаблена, хрусталиковая капсула растянута, и хрусталик максимально уплощен. Таким образом, по умолчанию зрительная система человека настроена вдаль. **Механизм аккомодации включается при необходимости рассмотреть близкие предметы.** ЦМ активируется, цилиарное кольцо сжимается, натяжение волокон ослабевает, и хрусталик становится более выпуклым (рис. 2.22).

При взгляде вдаль радиус кривизны передней поверхности хрусталика равен 10 мм, а при максимальном напряжении аккомодации вблизи уменьшается до 5,33 мм. Слабее увеличивается кривизна более выпуклой задней поверхности хрусталика: диапазон изменений радиуса ее кривизны составляет всего 0,5 мм (от 6 мм при взгляде вдаль до 5,5 мм при максимальной аккомодации вблизи).

Реакция ЦМ на зрительный стимул, выраженная в диоптриях, называется **аккомодационным ответом**. Заметное сокращение ЦМ происходит начиная с расстояния в 5—10 метров. Чем ближе предмет, тем сильнее напряжена ЦМ и тем более выпуклым становится хрусталик, прежде всего с передней стороны. Он также немного смещается вперед под воздействием стекловидного тела. Поскольку натяжение цинновых связок при взгляде вблизи ослабляется, хрусталик провисает вниз примерно на 0,25 мм и может слегка подрагивать при движениях глаза.

Это очень упрощенное и схематичное описание процесса аккомодации, который до сих пор недостаточно изучен. Важно понимать, что даже когда ЦМ максимально напряжена при взгляде вблизи, полного расслабления и провисания цинновых связок не происходит. Еще Герман Гельмголец, который впервые открыл и описал хрусталиковый механизм аккомодации, говорил только об *ослаблении* их натяжения. Проф. О. В. Светлова, И. Н. Кошиц и проф. А. И. Горбань

отмечают, что даже при максимальной аккомодации вблизи остаточное натяжение цинновых связок должно сохраняться. Благодаря этому уменьшаются колебания хрусталика; эту же роль выполняет стекловидное тело, постоянно подпирающее хрусталик сзади. Поскольку натяжение цинновых связок присутствует всегда, эти исследователи предложили вместо устоявшегося ошибочного термина **покой аккомодации** использовать термин **предустановка аккомодации**, правильный с позиций физиологии и биомеханики.

Рефракция глаза при работе аккомодации изменяется и поэтому называется **динамической клинической рефракцией**. Статическая рефракция при условном «покое», вернее, предустановке аккомодации означает, что система «хрусталик — цинновы связки — ЦМ» находится в состоянии динамического равновесия, а не полного расслабления. При этом, по мнению указанных авторов, тонус ЦМ минимален (но не равен нулю!) именно при взгляде вдаль, а не на некой средней дистанции. Наличие этого минимального тонуса нужно, чтобы ЦМ в любой момент могла среагировать на зрительный стимул.

При свободном, ненапряженном взгляде вдаль на сетчатке здорового глаза возникают резкие изображения далеких предметов. Самое дальнее положение предмета, который можно рассмотреть при расслабленной ЦМ, называется **дальней точкой ясного видения**. Для эметропического глаза она расположена в условной бесконечности. Клиническим эквивалентом бесконечности считается расстояние начиная с 6 метров от глаза.

Стоит отметить, что каждый глаз в отдельности является природным широкоугольным объективом с апертурой, сравнительно узкой даже при предельно расширенном зрачке. Этим обусловлена очень большая глубина резкости. К. м. н. А. А. Стахеев и д. м. н. проф. Л. И. Балашевич подсчитали, что при установке глаза на бесконечность все предметы должны казаться резкими уже начиная с расстояния 52,5 см от глаза. Эти авторы определяют аккомодацию как **«процесс временной миопизации глаза для обеспечения ясного зрения на расстоянии ближе гиперфокального»**.

По мере приближения рассматриваемого предмета фокус необходимо сместить вперед, чтобы он оставался на сетчатке. Это происходит благодаря увеличению кривизны хрусталика. Поскольку объем и эластичность хрусталика ограничены физически, ограничена и его способность аккомодировать вблизи. Поэтому при сильном приближении предмета к глазу наступает момент, когда уже нельзя получить резкое изображение на сетчатке. Минимальное расстояние от глаза, на котором предмет еще можно четко рассмотреть, называется **ближайшей точкой ясного видения**. У молодых эметропов в возрасте 20 лет она находится на расстоянии 10 см от глаза. При настройке аккомодации на ближайшую точку ясного видения напряжение ЦМ максимально.

Положение дальней и ближней точек ясного видения и соответствующие формы хрусталика схематично показаны на *рис. 2.23*. Для миопического глаза они смещены ближе, а для гиперметропического — дальше, чем при эметропии.

Расстояние между дальней и ближней точками ясного видения (в метрах) называется **диапазоном**, или **областью аккомодации**. Разница в показателях рефракции (в дптр) при взгляде на дальнюю и ближнюю точку ясного видения

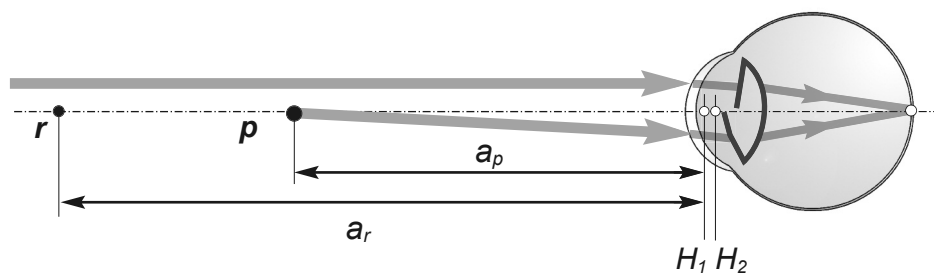


Рис. 2.23. Дальняя ( $r$ ) и ближняя ( $p$ ) точки ясного зрения и соответствующие им установки аккомодации

называется **объемом аккомодации** (в зарубежной литературе чаще используется термин **амплитуда аккомодации**). Когда предмет находится в ближайшей точке ясного видения, напряжение ЦМ и кривизна хрусталика максимальны. По сути, амплитуда аккомодации — это разница между максимальной динамической и статической рефракцией. При фиксации взгляда дальше ближней точки ясного зрения глаз задействует не весь объем аккомодации. Неиспользованная часть объема аккомодации (дптр) называется **запасом аккомодации**.

После 10 лет жизни дальняя точка ясного видения почти не смещается. Но ближняя точка ясного зрения отодвигается от глаза все дальше, так как по мере старения хрусталик теряет эластичность. Объем аккомодации уменьшается, и примерно с возраста 45 лет человек уже не может рассматривать предметы на близком расстоянии. Развивается старческая дальнозоркость, или пресбиопия. Примерно к 65 годам хрусталик полностью теряет способность изменять свою кривизну.

Для оптической коррекции пресбиопии эмметропам подбирают положительные линзы разной силы в зависимости от возраста (табл. 2.4), поскольку необходимо учитывать ослабление аккомодации. Подбор оптической коррекции пресбиопам всегда индивидуален и зависит от многих факторов, в том числе от профессии и зрительных задач. Если у пациента есть миопия или гиперметропия, эти аномалии рефракции и их степень также учитываются. При миопии и гиперметропии ближняя и дальняя точки ясного видения смещены (см. § 2.11), из-за чего требуется большее усилие для успешной аккомодации, причем не только вблизи, но и вдаль.

**Расстояние наилучшего зрения** — такое расстояние от предмета до глаза, при котором напряжение аккомодации невелико и глаз не устает. Минимальное расстояние наилучшего зрения для здорового глаза составляет приблизительно 25—30 см. Здоровым считается глаз с хорошо сохранившейся способностью к аккомодации.

Аккомодация, определяемая для одного глаза, называется **абсолютной**, а сразу для двух глаз — **относительной**. Обычно в процессе зрения участвуют оба глаза, поэтому процесс аккомодации обязательно сопровождается **конвергенцией**: зрительные оси глаз сводятся на объекте фиксации. Это отчасти помогает

Таблица 2.4. Возрастное ослабление объема аккомодации и подбор очков эмметропам при пресбиопии [цит. по: Katz M., Kruger Ph.B. The human eye as an optical system // Duane's Ophthalmology. – 2013]

Возраст	Амплитуда аккомодации (дптр)	Ближайшая точка ясного зрения (расстояние от глаза в см)	Оптическая сила линз для коррекции пресбиопии (дптр)
10	14,0	7,0	—
15	12,0	8,3	—
20	10,0	10,0	—
25	8,5	11,7	—
30	7,0	14,2	—
35	5,5	18,2	—
40	4,5	22,2	+0,75
45	3,5	28,5	+1,5
50	2,5	40,0	+2,0
55	1,75	57,0	+2,5
60	1,00	100,0	+3,0
65	0,50	200,0	+3,25
70	0,25	400,00	+3,5

ослабить напряжение ЦМ, поэтому относительная аккомодация всегда немного меньше абсолютной. Для измерения аккомодации используют различные методы, как объективные, так и субъективные.

У эмметропов без нарушений бинокулярного зрения аккомодация и конвергенция совершаются одновременно и согласованно. При переводе взгляда с близких предметов на дальние происходит **дивергенция**: зрительные оси глаз вновь расходятся. Между аккомодацией и бинокулярностью существует тесная связь. Только благодаря стереозрению мозг может определять расстояние до объекта фиксации (см. § 2.10). Поэтому проф. О. В. Светлова, И. Н. Кошиц и проф. А. И. Горбань считают механизм конвергенции — дивергенции одним из экстраокулярных механизмов аккомодации.

Если запас аккомодации при зрительной работе вблизи слишком мал (меньше половины напряжения, уже затраченного на аккомодацию), быстро возникает **зрительное утомление**. Глаза устают после длительной работы вблизи, поскольку ЦМ постоянно напряжена. Усталость и **слабость аккомодации** выражаются в затрудненной фокусировке на близком расстоянии — буквы начинают расплываться перед глазами. Это состояние часто возникает у школьников и студентов. На фоне длительного эмоционального напряжения или стресса оно может перейти в **спазм аккомодации** — хроническое избыточное напряжение ЦМ. При спазме аккомодации наблюдается миопическая рефракция от -5 до -10 дптр и значительно ухудшается острота зрения.

Постоянный напряженный зрительный труд, особенно при некорригированных аномалиях рефракции или неправильно подобранной оптической коррекции, ведет к астинопии. Это сложный комплекс симптомов: зрительная усталость, слабость и неустойчивость аккомодации, сухость в глазах, эмоциональные проблемы, головная боль. Лечение всегда подбирается индивидуально. Если у пациента есть нарушения рефракции, назначение правильной оптической коррекции очень важно для профилактики астинопии.

## § 2.10. Поле зрения и бинокулярность

**Поле зрения** — часть пространства, которую видит глаз (или оба глаза) при неподвижной голове и фиксации на одной точке. Различаются монокулярное и бинокулярное поле зрения, а также поле взора (с учетом вращения глаз).

**Монокулярное поле зрения** — область, видимая одним глазом при неподвижной фиксации взора. **Бинокулярное поле зрения** — область, видимая одновременно двумя глазами. **Поле взора** — область, видимая при неподвижной голове и движениях глаз. Глазодвигательные мышцы позволяют смещать зрительные оси каждого глаза и, соответственно, поле зрения в среднем на  $45^\circ$  в разные стороны.

Исследование поля зрения осуществляется с помощью различных приборов. В повседневной врачебной практике чаще всего применяется периметр. Важно не только определить границы поля зрения, но и выявить проблемные участки с пониженной чувствительностью — **скотомы**. Они не только плохо сказываются на качестве зрения, но и являются симптомом патологий сетчатки и зрительного нерва.

**Границы поля зрения** зависят от индивидуальных особенностей, таких как межзрачковое расстояние (от 56 до 74 мм у взрослых людей) и границы подвижности глаз, состояние рефракции. При миопии, в условиях плохого освещения, после долгой зрительной работы поле зрения сужается по сравнению с нормой. Сужение поля зрения связано также с возрастом — оно начинается после 24 лет. Поле зрения для черно-белых предметов шире, чем для цветных.

Входной зрачок глаза можно увидеть со стороны виска под углом более  $90^\circ$  к оптической оси. Как показано на *рис. 2.24*, свет может входить в него даже при угле около  $105^\circ$ . Однако на самом деле монокулярное поле зрения ограничено размерами сетчатки и выступающим носом. С височной стороны сетчатка меньше, а с другой стороны нос заслоняет свет. Оба этих фактора отнимают примерно  $60^\circ$  из потенциальных  $210^\circ$ . Границы поля зрения по горизонтали — около  $60^\circ$  в носовую сторону и около  $90^\circ$  в височную (итого  $\approx 150^\circ$ ); по вертикали меньше — в среднем около  $125^\circ$ .

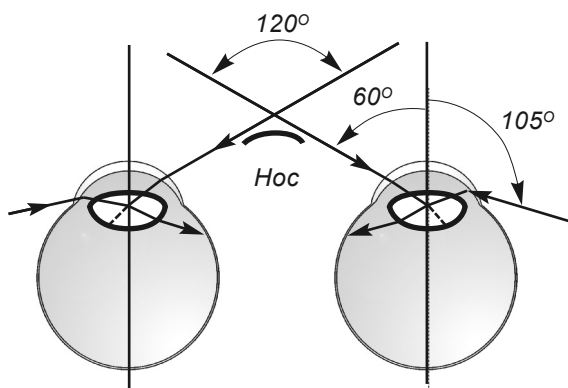


Рис. 2.24. Горизонтальное поле зрения при монокулярном и бинокулярном зрении



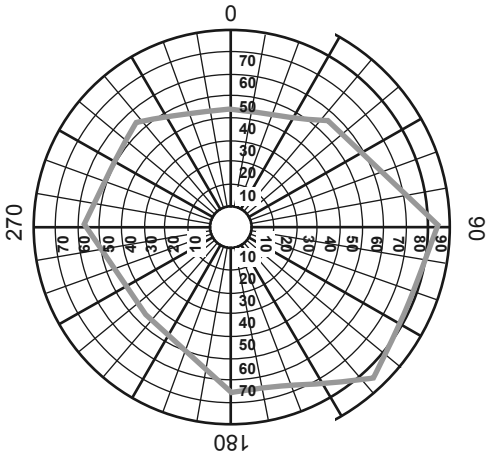


Рис. 2.25. Упрощенная карта нормального поля зрения правого глаза

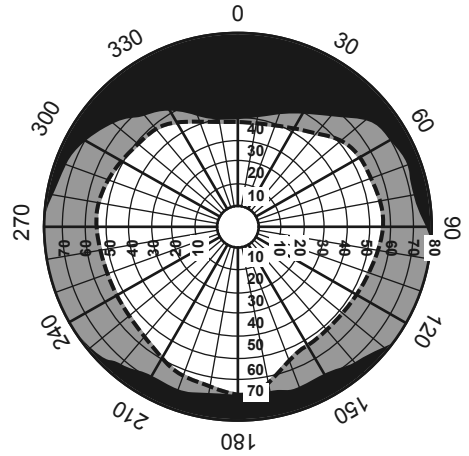


Рис. 2.26. Карта нормального поля бинокулярного зрения

Суммарное поле зрения парных глаз в зоне бинокулярного перекрытия достигает  $120\text{--}130^\circ$ . Это большое поле зрения для оптической системы. Обычно его трудно получить, если экран, на который проецируется изображение, имеет плоскую форму (как, например, в фотоаппарате). Если каждому отдельному глазу соответствует широкоугольный фотообъектив с фокусным расстоянием 23 мм, то зрению двумя глазами одновременно — сверхширокоугольный объектив «рыбий глаз» (англ. *fish-eye*) с ФР около 14 мм. В глазу человека кривизна поля компенсируется сферической формой сетчатки. Кроме того, практическое значение для процесса зрительного восприятия имеет лишь узкая центральная зона.

**Карты полей зрения** строятся в полярных координатах (рис. 2.25). В монокулярном поле зрения можно выделить 3 зоны:

1. Центральная зона самого ясного зрения. Она очень узка: всего  $1,5\text{--}2^\circ$ . Именно здесь окажется изображение небольшого объекта, на котором зафиксирован взор, именно здесь обеспечивается максимальное разрешение и острота зрения. Центральному зрению соответствует область фовеолы (центральной ямки) на сетчатке.

2. Зона ясного зрения без различения мелких деталей объектов (примерно  $30^\circ$  по горизонтали и  $22^\circ$  по вертикали).

3. Зона периферийного зрения (примерно от  $20$  до  $60^\circ$ ; свыше  $60^\circ$  — дальняя периферия), в которой предметы не различаются. Однако периферийное зрение дает важную информацию для ориентации в пространстве.

**Бинокулярное зрение** — зрение одновременно двумя глазами, результатом которого становится зрительный образ, совмещенный из двух ретинальных изображений в зоне центральных ямок сетчатки. Бинокулярное поле зрения делится на 3 зоны: похожую на круг центральную зону с диаметром около  $70^\circ$ , образованную наложением полей зрения парных глаз, и две периферийные зоны для левого и правого глаза (рис. 2.26).

**Условия, необходимые для нормального бинокулярного зрения:**

- достаточная острота зрения обоих глаз (при остроте зрения любого из них менее 0,4 бинокулярность утрачивается);
- формирование сходных по четкости и размерам изображений объекта на сетчатке обоих глаз; анизометропия и анизийкония плохо сказываются на бинокулярном зрении, вплоть до полной его потери;
- **моторная фузия** — согласованное движение парных глаз, итогом которого становится одновременная ориентация зрительных осей на объект фиксации;
- **сенсорная фузия** — слияние ретинальных изображений в единый зрительный образ в зрительной коре головного мозга;
- определение положения объектов в поле зрения и пространственных соотношений (размеров и расстояний).

**Бинокулярные движения глаз** делятся на 2 типа: верзионные и вергентные. Верзионные движения обеспечивают синхронный перевод взгляда, а вергентные движения — **конвергенцию** и **дивергенцию**, сведение и разведение зрительных осей. При взгляде вдаль оптические оси парных глаз параллельны. Конвергенция произвольно включается (практически одновременно с аккомодацией) при переводе взгляда с дальних объектов на близкие, начиная с расстояния 6 метров. Точка пересечения зрительных осей называется **точкой бификсации**. Угол между зрительными осями глаз называется **углом конвергенции**. Его величина зависит от положения объектов *A*, *B* и *C* и расстояния между точками  $O_1$  и  $O_2$  — центрами вращения глазных яблок (рис. 2.27). Максимальное возможное значение угла конвергенции равно  $32^\circ$ .

Важная характеристика бинокулярного зрения — **фузионные резервы**, то есть предельная амплитуда движений глаз, при которой возможна **фузия** (слияние двух ретинальных изображений в одно).

Правильное бинокулярное зрение невозможно без баланса силы наружных мышц-антагонистов, управляющих движениями глазных яблок. Этот баланс на-

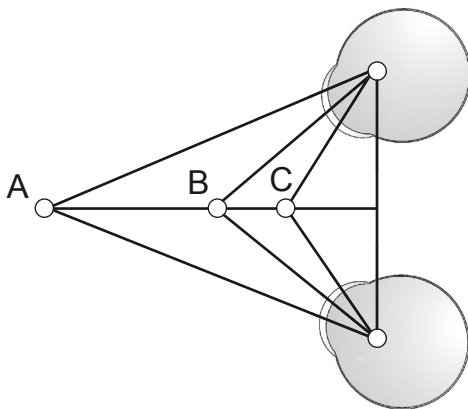


Рис. 2.27. Зависимость угла конвергенции от расстояния до предмета

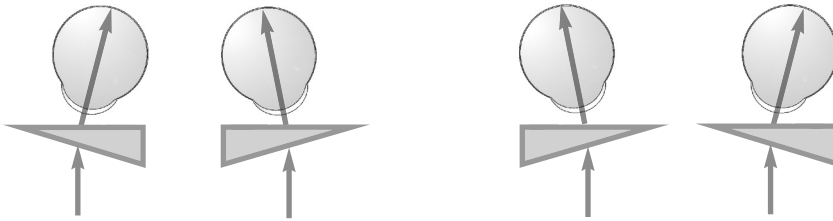


Рис. 2.28. Схема коррекции призмами расходящегося (а) и сходящегося (б) косоглазия

зывается **форией**. Правильное положение глаз и идеальный баланс глазодвигательных мышц-антагонистов называется **ортофорией**.

При нарушении бинокулярного баланса зрительные оси направлены неправильно и отклоняются от точки бификсации. Эта патология называется **косоглазием**. Следствие косоглазия — **диплопия**, двоение зрительных образов. Для коррекции косоглазия у эметропов применяют призматические очковые стекла (рис. 2.28). Если косоглазие осложнено аномалиями рефракции, применяют сферопризматические очковые стекла. Косоглазие часто развивается у детей в результате некорригированной аметропии: мозг попросту отключает управление плохо видящим глазом, чтобы не тратить энергию на работу мышц.

Двумя глазами внешний мир воспринимается гораздо лучше, чем одним. Бинокулярные острота зрения и контрастная чувствительность выше, чем измеренные монокулярно. Благодаря наличию одновременно двух «точек зрения» — правого и левого глаза возможно трехмерное восприятие мира.

Способность оценивать относительную удаленность объектов называется **стереопсисом**, или **стереоскопическим зрением**. Стереопсис возможен благодаря тому, что предметы, расположенные на разном расстоянии от глаз, проецируются на разные точки сетчаток парных глаз (рис. 2.29). Если объект *A* расположен за объектом *B*, то для левого глаза он смещен чуть влево, а для правого — чуть вправо (с учетом инверсии перевернутого изображения в головном мозге). При этом ретинальные изображения *A* ближе друг к другу, чем изображения *B*. Это смещение видимых объектов и является основой стереозрения.

Отмеченные на том же рисунке парные точки *A-A* и *B-B* сетчаток левого и правого глаза называются **корреспондирующими**. Благодаря их строго симметричному положению относительно центральной ямки зрительный анализатор осуществляет слияние двух ретинальных изображений в бинокулярное. Несимметричные точки сетчаток называются **диспаратными**, попавшие на них изображения не сливаются. Горизонтальная **диспаратность** двумерных ретинальных изображений позволяет головному мозгу создавать ощущение глубины пространства.

Степень стереопсиса отчасти зависит от величины межзрачкового расстояния, которая может отличаться в зависимости от возраста, пола, расовой принадлежности и индивидуальных особенностей посадки глаз. Стереоскопическое зрение можно значительно улучшить с помощью специальных оптических устройств — например, дальномеров, увеличивающих эффективное межзрачковое расстояние.

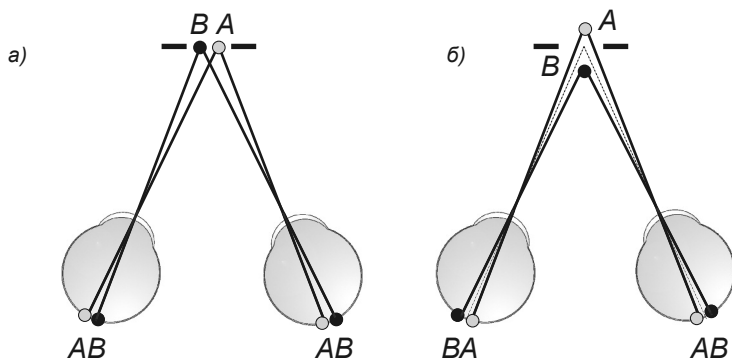


Рис. 2.29. Механизм стереоскопического зрения — положение изображений двух объектов на сетчатке: а — объекты А и В расположены рядом, на одинаковом расстоянии от глаз; б — объекты А и В расположены друг за другом

Как уже говорилось в разделе об аккомодации, только стереозрение позволяет мозгу определять расстояние до объекта фиксации. Этим объясняется огромная важность бинокулярного и стереоскопического зрения для аккомодации. Аккомодация очень тесно связана с механизмом конвергенции, а следовательно, с бинокулярным балансом. Поэтому **при подборе оптической коррекции, особенно сложных очков, необходимо проверять форию и фузионные резервы. Проверять только рефракцию и остроту зрения недостаточно.**

Дело в том, что для правильного подбора крайне важно учитывать **гетерофорию** — скрытое косоглазие, которое наблюдается гораздо чаще (в 70–85% случаев), чем ортофория. Необходимые тесты подробно описаны в литературе по офтальмологии и оптометрии. Для исследования фории применяют Cover Test, пробу с цилиндром Мэддокса, тест Шобера с красным и зеленым фильтром, тест Геринга и некоторые другие методы. Исследование фузионных резервов проводят на синоптофоре, с помощью призмённых компенсаторов, призм из набора пробных линз, призматической линейкой с 5 метров.

### § 2.11. Аномалии рефракции и принципы их оптической коррекции

Отсутствие аномалий рефракции, способность без напряжения четко различать удаленные объекты называют эмметропией. Согласно схеме Гульстранда, приведенной в § 2.1 на рис. 2.3, типичный эмметропический глаз взрослого человека обладает преломляющей силой 58,64 дптр при длине передне-задней оси (ПЗО) 24,4 мм. Это усредненные идеальные значения. На практике возможны разные величины длины ПЗО и физической рефракции и разные их соотношения. Особенно заметно эти параметры меняются у детей и подростков до 15 лет, когда глаз растет.

Физическая рефракция, зависящая от преломляющей силы роговицы и хрусталика, и длина ПЗО определяют **клиническую рефракцию** — положение главного (заднего) фокуса оптической системы глаза относительно сетчатки.

При **эмметропии** (греч. *emmetros* — *отмеренный, соразмерный; ops, opos* глаз) задний фокус совпадает с сетчаткой. Дальняя точка ясного видения расположена в бесконечности, и входящие в глаз параллельные лучи собираются в фокусе на поверхности сетчатки. В результате резкое изображение бесконечно удаленных объектов образуется без аккомодационного усилия. Эмметропы не нуждаются в оптической коррекции, но, как уже отмечалось, идеальная эмметропия практически не встречается.

При **аметропиях**, или **аномалиях рефракции** (миопии и гиперметропии) резкое изображение бесконечно удаленных объектов можно получить только напрягая аккомодацию. Иначе на сетчатке вместо точки получается **дефокус** — пятно размытия. Чем сильнее выражена аметропия, тем сильнее размытие, тем хуже острота зрения на разных дистанциях. Аметропия до 3 дптр оценивается как слабая, от 3,25 до 6 дптр — как средняя, свыше 6 дптр — как высокая.

Аномалии рефракции выявляются и оцениваются с помощью различных субъективных и объективных методов диагностики — демонстрации опто типов, статической и динамической ретиноскопии (скиаскопии), авторефрактометрии, автокератометрии, примерки пробных линз (в пробной оправе или форопторе). По результатам диагностики пациенту подбирается переносимая оптическая коррекция, восстанавливающая нормальное зрение на всех дистанциях.

При близорукости, или **миопии** задний фокус глаза находится перед поверхностью сетчатки. Световые лучи после преломления собираются перед сетчаткой, а не точно на ней. Это обусловлено либо слишком большой преломляющей силой глаза, либо слишком длинной ПЗО, либо обоими факторами. Для миопического глаза дальняя точка ясного зрения всегда лежит на определенном конечном расстоянии, а не в условной бесконечности. Такой глаз плохо видит все предметы, расположенные дальше этой точки. Для коррекции миопии необходима отрицательная (рассеивающая) линза (рис. 2.30б).

При дальнозоркости, или **гиперметропии** задний фокус глаза находится за сетчаткой. Это обусловлено либо слишком слабой преломляющей силой глаза, либо

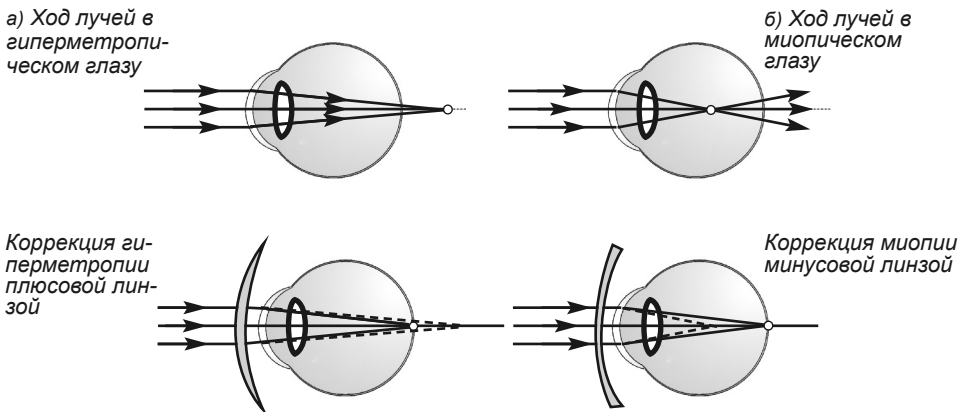


Рис. 2.30. Гиперметропия (а) и миопия (б), их оптическая коррекция с помощью линз

слишком малой осевой длиной глазного яблока, либо обоими факторами. Гиперметропия приводит к удалению от глаза ближней точки ясного зрения. Гиперметропический глаз плохо видит все близкие предметы, расположенные перед этой точкой. Приходится также делать усилие, чтобы рассмотреть удаленные объекты. Поэтому, как отмечал проф. Ю. З. Розенблюм, русскоязычный термин «дальнозоркость» некорректен: возникает ошибочное впечатление, будто дальнозоркому человеку легче смотреть вдаль. На самом деле у гиперметропа нет никаких преимуществ, он одинаково плохо видит и вдаль, и вблизи. Для коррекции гиперметропического глаза необходима положительная (собирающая) линза (рис. 2.30а).

Процесс формирования клинической рефракции в связи с ростом глаза называется **рефрактогенезом**. Универсальный механизм рефрактогенеза довольно прост: глаз ребенка растет одновременно с телом и другими органами. Однако в зависимости от наследственности и условий зрительной работы биометрические особенности глаза и скорость его роста могут заметно отличаться.

Большинство детей (за исключением 6–15% младенцев с врожденной миопией) рождаются с гиперметропией +2,0–3,0 дптр. Затем происходит **эмметропизация**: глазное яблоко растет, ПЗО удлиняется, и фокус постепенно смещается все ближе к сетчатке. Примерно к 10 годам этот процесс завершается. Как отмечает д. м. н. Н.Ю. Кушнаревич, сам термин **эмметропизация** не совсем точен, поскольку итогом в норме становится не эмметропия, а слабая гиперметропия +0,5–1,0 дптр. По мнению Н.Ю. Кушнаревич, в наше время повышенных зрительных нагрузок нормой можно считать слабую миопию до -0,25 дптр.

В связи с наследственностью часть детей в указанном возрасте 10 лет приходят либо к средней и высокой гиперметропии, либо к миопии, которая со временем усиливается, в первую очередь из-за постоянной зрительной работы вблизи. У детей без генетической предрасположенности миопия возникает и точно так же прогрессирует из-за зрительной нагрузки (так называемая **школьная близорукость**).

**Гиперметропия**, в отличие от миопии, со временем не прогрессирует, а уменьшается. У гиперметропов ПЗО короче, глубина передней камеры глаза меньше, поэтому гиперметропический глаз иногда называют «коротким». Это увеличивает вероятность нарушений циркуляции и оттока внутриглазной жидкости в зрелом возрасте, а также вероятность глаукомы. Среднюю и высокую гиперметропию необходимо корректировать, так как иначе она быстрее переходит в миопию при школьных зрительных нагрузках. Без коррекции практически неизбежны астенопические жалобы и зрительное утомление; у детей очень велик риск амблиопии и косоглазия.

Трудность субъективной диагностики гиперметропии связана с тем, что такому глазу приходится аккомодировать постоянно (при взгляде как вблизи, так и вдаль). Из-за этого сохраняется напряжение цилиарной мышцы даже после подбора удобной положительной линзы, и часть гиперметропии остается скрытой. У детей и молодых людей большой запас аккомодации, поэтому **скрытая гиперметропия** протекает без жалоб. Острота зрения остается в норме и снижается только при сильной зрительной усталости. Для точной диагностики скрытой гиперметропии необходимо проводить циклоплегию — искусственно парализовать цилиарную мышцу с помощью медикаментозных средств. Когда в возрасте за 40 лет аккомодация ослабевает, скрытая гиперметропия становится явной.

Оптимальное средство оптической коррекции гиперметропии — прогрессивные очковые линзы, обеспечивающие четкое зрение на всех дистанциях. По мнению профессора С. Э. Аветисова, это средство первого выбора. Высокая гиперметропия, анизометропия и астигматизм — показания к подбору контактных линз. При сочетании сильного астигматизма с гиперметропией очковая коррекция непереносима из-за разных размеров изображений в плоскости главных меридианов.

Для **миопии** характерны слабость аккомодации и увеличенные размеры глаза по ПЗО. Задний полюс склеры растянут, возможны отслоение сетчатки и другие витреоретинальные осложнения. Проф. Е. Н. Иомдина отмечает у миопов биомеханическую слабость склеры и различные нарушения здоровья, вплоть до гормонального дисбаланса. Это позволяет многим специалистам считать миопию системным заболеванием. Однако еще в советское время проф. Э. С. Аветисов предложил рассматривать миопию *«как следствие приспособительной реакции»*.

Это позволяет по-новому взглянуть на проблему прогрессирующей приобретенной миопии, которой, согласно прогнозам, к 2050 году будут страдать 5 миллиардов людей. Биофизик И. Н. Кошиц, офтальмолог М. Г. Гусева, профессора О. В. Светлова, Л. И. Балашевич и Ф. Н. Макаров полагают, что *«приобретенная миопия – это не болезнь, а нормальное адаптационное приспособление к зрительной среде обитания! И тогда болезнью следует считать только высокую степень миопии, в том числе с осложнениями»*. Согласно их теории, развитие миопии, которое начинается у многих школьников с 10 лет, — это природный *«механизм подстройки величины ПЗО под зрительную нагрузку»*.

**Огромный вред здоровью детей наносят популярные в России антинаучные рекомендации отказа от коррекции зрения при аномалиях рефракции.** К прогрессированию миопии ведет не оптическая коррекция, а ее отсутствие или неправильный подбор. На сегодняшний день доказано, что постоянный дефокус на сетчатке ослабляет аккомодацию и нарушает обмен веществ, тем самым вызывая рост глаза по ПЗО. Кроме того, полное отсутствие оптической коррекции у детей-аметропов, особенно в период рефрактогенеза, ведет к астигматизму, амблиопии и косоглазию.

**При аметропиях необходима полная переносимая оптическая коррекция.** Недокоррекция детской миопии пропагандировалась в СССР начиная с 1970-х годов. Считалось, что причиной приобретенной миопии является спазм аккомодации (§ 2.9), а недокоррекция снижает нагрузку на аккомодацию. Но спазм бывает не у всех миопов. И сейчас доказано, что миопия прогрессирует из-за ускоренного роста глаза по ПЗО, а недокоррекция лишь провоцирует это.

При миопии контактные линзы часто предпочтительнее очков, если пациент готов соблюдать режим ношения и ухода. КЛ не создают призматического эффекта, усиливают аккомодацию, улучшают качество ретинального изображения, увеличивают поле зрения. С их помощью можно также избавиться от анизейконии. Доказана эффективность ортокератологических КЛ в борьбе с прогрессирующей миопией.

В целом выбор средства коррекции при аномалиях рефракции зависит от стратегии и тактики лечения. Например, необходимо учитывать, как очки повлияют на величину ретинального изображения: от этого будет зависеть переносимость коррекции. При некоторых глазодвигательных нарушениях нужно добиваться призматического эффекта, а в других случаях он нежелателен. При высоких степенях

миопии и гиперметропии использование очков затруднено, поскольку минусовые линзы будут очень сильно уменьшать ретинальное изображение.

Важно помнить, что диагностика и подбор коррекции всегда осуществляется отдельно для каждого глаза. Рефракция парных глаз часто отличается. Более того, один глаз может оказаться близоруким, другой — дальноруким. Сильная анизометропия более 2 дптр, как отмечалось в § 2.3, делает очковую коррекцию непереносимой и является показанием к подбору контактных линз.

Для успешной очковой коррекции имеет значение высокое качество материала и оптических поверхностей, просветления линз, так как это позволяет снизить индуцированные аберрации и повысить качество зрения.

Чем ближе очковые линзы расположены к глазам, тем шире поле зрения без искажений (особенно для линз небольшого диаметра), тем меньше влияние очков на размер ретинального изображения. Оптимальное расстояние — передний фокус оптической системы глаза (около 15 мм перед вершиной роговицы).

**Рациональная и физиологически обоснованная коррекция миопии и гиперметропии — полная переносимая коррекция.** Только при оптической коррекции, обеспечивающей наибольшую остроту зрения, создаются условия для нормальной работы аккомодации, циркуляции внутриглазной жидкости и питания тканей глаза.

Существуют также **индуцированные аметропии**, которые не связаны с рефрактогенезом или влиянием напряженной зрительной работы вблизи. Дефокус может быть вызван изменениями рефракции хрусталика глаза, роговицы, инволюционными процессами и заболеваниями. Например, индуцированные аметропии развиваются при афакии, кератоконусе и кератоглобусе. В подобных случаях оптимальное средство оптической коррекции — склеральные и роговичные жесткие контактные линзы. Миопия и гиперметропия могут быть результатом неудачных рефракционных операций.

**Пресбиопия**, или старческая дальнорукость, — также пример индуцированной аметропии. Это неспособность глаза аккомодировать вблизи из-за того, что хрусталик по мере старения теряет свою эластичность. Для коррекции пресбиопии применяются положительные линзы. Проще всего подобрать монофокальные плюсовые очки для близи. Они возвращают на место ближнюю точку ясного видения, которая отодвигается от глаза все дальше, начиная примерно с 45 лет. Недостаток очков-монофокалов — невозможность зрительной работы в них на средней и дальней дистанции. Эта проблема успешно решается с помощью би-, трифокальных и прогрессивных очков, а также мультифокальных контактных линз. Еще один способ — так называемое моновидение, одновременное использование на обоих глазах двух сферических КЛ с разной оптической силой, для близи и для дали (см. в гл. 3). Самым популярным и удобным способом оптической коррекции пресбиопии стали прогрессивные очковые линзы. Рефракция плавно изменяется при вертикальном движении глаза вдоль так называемого коридора прогрессии (см. в гл. 4).

К аномалиям рефракции относят и **астигматизм**, при котором лучи не могут точно сойтись в одном фокусе из-за разных значений преломляющей силы роговицы в главных (центральных) меридианах — вертикальном и горизонтальном (§ 1.1.6). В зависимости от типа астигматизма и наличия других аметропий фокальные линии могут находиться как перед сетчаткой, так и на сетчатке или за ней. Как и дефокус, астигматизм относится к аберрациям 2-го порядка и вызы-



вадет заметное размытие ретинального изображения. Астигматизм измеряется в диоптриях. В диапазоне от 1,75 до 2,5 дптр он считается умеренным, свыше 2,5 дптр — высоким.

Для оптической коррекции астигматизма применяются цилиндрические и сфероцилиндрические очки, торические мягкие и жесткие контактные линзы.

Астигматизм, как не раз говорилось выше, связан с формой роговицы, а иногда также с формой и положением хрусталика. Он может быть врожденным или приобретенным (в результате дистрофических заболеваний и рубцов роговицы, подвывиха хрусталика).

При **правильном** астигматизме преломляющая сила обоих главных сечений постоянна на всем их протяжении. При **неправильном** астигматизме рефракция отличается на разных отрезках одного сечения. Неправильный астигматизм встречается достаточно редко, он всегда связан с серьезными искажениями формы роговицы из-за рубцов, кератэктазий, кератоконуса.

Астигматизм называется **прямым**, если в вертикальном сечении свет преломляется сильнее, чем в горизонтальном, и **обратным**, если в горизонтальном сечении свет преломляется сильнее, чем в вертикальном. При астигматизме с **косыми осями** главные сечения не перпендикулярны друг другу и значительно (более чем на 30°) отклоняются от горизонтали и/или вертикали.

В зависимости от рефракции выделяют следующие **виды правильного астигматизма**:

1) **простой** астигматизм, миопический или гиперметропический: в одном главном меридиане наблюдается эмметропия, в другом — миопия или гиперметропия; одна из фокальных линий находится на сетчатке

2) **сложный** астигматизм, миопический или гиперметропический: в обоих главных меридианах наблюдается миопия или гиперметропия;

3) **смешанный** астигматизм: в одном главном меридиане — гиперметропия, в другом — миопия.

Простой астигматизм корригируется с помощью цилиндрической линзы с осью, параллельной эмметропическому меридиану. Сложный и смешанный астигматизм лучше всего корригировать торическими контактными линзами.

Оптическая коррекция астигматизма уменьшает напряжение аккомодации, астигматизм, снижает вероятность развития амблиопии у детей. Снижаются аберрации, повышается контраст. Астигматизм высокой степени (свыше 2,5 дптр) необходимо корригировать, иначе он может привести к нарушениям бинокулярного и стереоскопического зрения, косоглазию, аккомодационной астигматизму, рефракционной амблиопии.

В любом глазу есть **физиологический прямой астигматизм** примерно 0,5 дптр. Традиционно считалось, что коррекция такого астигматизма не нужна. По мнению И.Н. Кошица, профессоров О.В. Светловой, А.И. Горбаня, Л.И. Балашевича и Ф.Н. Макарова, физиологический астигматизм до 1,5 дптр необходим для работы важного дополнительного механизма аккомодации, позволяющего быстро определять вертикальные размеры объекта. Современные зарубежные специалисты рекомендуют корригировать практически любой астигматизм, чтобы улучшить качество зрения и избежать зрительной утомляемости (астигматизма).

## Контактная коррекция зрения

### § 3.1. Некоторые ключевые понятия контактной коррекции зрения

Начиная разговор о контактных линзах (КЛ), следует прежде всего усвоить некоторые ключевые термины. Здесь в алфавитном порядке приводятся термины, определения которым даны в российском ГОСТе Р 53941-2010 (ИСО 18369-1:2006) «Оптика офтальмологическая. Линзы контактные». Толкования и сами термины при необходимости уточняются или дополняются.

**Биосовместимость** — способность материала КЛ не вызывать каких-либо аллергических, сверхчувствительных, раздражающих или токсических реакций при его контакте с тканью глаза человека или слоем слезной жидкости.

**Влагосодержание КЛ W** — количество воды (выраженное в процентном отношении по массе), присутствующее в гидратированной КЛ в заданных температурных условиях. Это понятие наиболее часто применяют в отношении гидрогелевых (гидрогельных) материалов. Влагосодержание влияет на многие физические характеристики гидрогелевых материалов, а также на различные параметры готовых контактных линз.

**Геометрическая ось КЛ** — линия, проведенная через геометрический центр перпендикулярно к плоскости, проходящей через края КЛ.

**Геометрический центр КЛ** — центр окружности, содержащей край КЛ.

**Гидрогелевая (гидрогельная) КЛ** — КЛ, изготовленная из водопоглощающего (гидрофильного) материала, обладающего равновесным содержанием воды не менее 10% в стандартном солевом растворе при температуре 20°С.

**Дезинфекция КЛ** — химический или физический процесс, направленный на сокращение числа жизнеспособных микроорганизмов на КЛ до уровня, безвредного как для здоровья глаз, так и для качества КЛ и принадлежностей. Споры бактерий и некоторые вирусы не обязательно дезактивируются в процессе дезинфекции КЛ.

**Диаметр КЛ (общий, габаритный) D, DIA** — наибольший наружный размер готовой контактной линзы или оболочки, измеряемый через центр. Наряду с радиусом базовой кривизны и оптической силой является одним из важнейших параметров при подборе КЛ. Диаметр стандартных МКЛ составляет от 13,0 до 15,0 мм. Чаще всего применяются МКЛ с диаметром от 13,8 до 14,5 мм. Выбор диаметра КЛ зависит от размера роговицы пациента.

**Дневное ношение** — самый распространенный режим ношения КЛ, при котором их носят только во время бодрствования.

**Жесткая газопроницаемая контактная линза (ЖГКЛ, твердая газопроницаемая контактная линза)** — жесткая КЛ, в полимерном материале которой содержится один или несколько компонентов в достаточной концентрации для того, чтобы пропускать кислород.

**Жесткая КЛ (ЖКЛ, твердая КЛ)** — КЛ, которая в готовом виде при значительных механических воздействиях сохраняет свою форму без опоры.

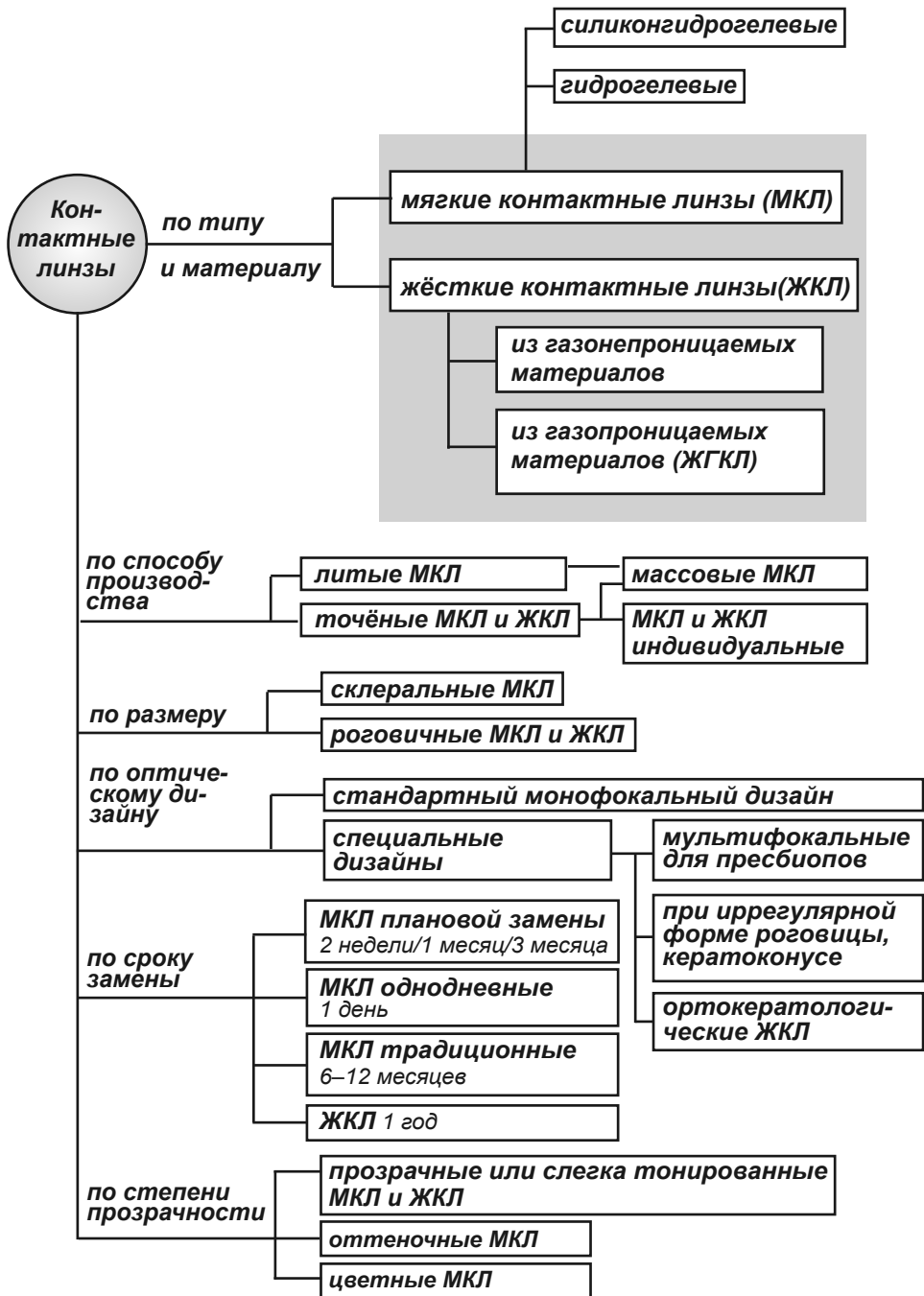


Схема 3.1. Классификация контактных линз

**Задняя (вогнутая) поверхность КЛ** – поверхность любой КЛ, обращенная к глазу пациента. Задняя поверхность КЛ может быть гладкой асферической или состоять из совокупности сферических (торических) сегментов, пересекающихся друг с другом на «стыках».

**Кислородный поток** – см. поток кислорода.

**Кислородопроницаемость КЛ  $Dk$**  – значение потока кислорода  $J$  через материал КЛ единичной толщины, подвергнутый единичной разности давлений при заданных условиях. Это наиболее общепринятый вид газопроницаемости материалов КЛ. Кислородопроницаемость  $Dk$  выражают в единицах  $10^{-11}$  ( $\text{см}^2/\text{с}$ ) [ $\text{мл O}_2 / (\text{мл} \cdot \text{гПа})$ ] или, что эквивалентно, в единицах  $10^{-11}$  ( $\text{см}^3 \text{O}_2 \cdot \text{см}) / (\text{см}^2 \cdot \text{с} \cdot \text{гПа})$ . Для простоты единицы измерения  $Dk$  называются единицами  $Dk$ . Чтобы выразить  $Dk$  в миллиметрах ртутного столба вместо гектопаскалей (760 мм рт. ст. = 1013,25 гПа), следует умножить полученное значение на 1,33322. Кислородопроницаемость является физической характеристикой материала, а не функцией формы или толщины контактной линзы или образца материала.

**Комбинированная КЛ** – контактная линза, состоящая из двух и более разных материалов. Примеры: ламинированная линза, линза с впаиваемым сегментом или линза с жестким центром и гибкой периферией.

**Контактная линза (КЛ)** – офтальмологическая линза, предназначенная для ношения на передней поверхности глазного яблока. К контактным линзам относятся также КЛ с нулевой рефракцией.

**Контактная линза плановой замены** – КЛ, для которой изготовитель рекомендовал определенную периодичность замены.

**Контактная линза повторного использования** – КЛ, рассчитанная на промежуточную обработку для повторного использования в соответствии с инструкциями изготовителя между периодами ношения. Промежуточная обработка КЛ повторного использования традиционно включает в себя ее чистку и дезинфекцию.

**Контактная линза с высоким влагосодержанием** – гидрогелевая КЛ, влагосодержание  $W$  которой превышает 65%.

**Контактная линза с низким влагосодержанием** – гидрогелевая КЛ, влагосодержание  $W$  которой не менее 10%, но не превышает 50%.

**Контактная линза со средним влагосодержанием** – гидрогелевая КЛ, влагосодержание  $W$  которой составляет от 50 до 65% включительно.

**Контактная линза частой плановой замены** – КЛ плановой замены, периодичность замены которой не превышает одного месяца.

**Корнеальная (роговичная) КЛ** – КЛ, полный диаметр которой меньше видимого диаметра радужной оболочки, рассчитанная на ношение целиком на роговице глаза.

**Косметическая КЛ** – КЛ, специально предназначенная для изменения или маскирования внешнего вида глаза. Косметические линзы могут быть использованы и с лечебными целями.

**Коэффициент пропускания кислорода КЛ  $Dk/t$**  (кислородная пропускаемость, кислородная проводимость) – отношение кислородопроницаемости  $Dk$  к толщине  $t$  измеряемого образца, в см, при заданных условиях. Коэффициент пропускания кислорода  $Dk/t$  выражают в единицах  $10^{-9}$  ( $\text{см}/\text{с}$ ) [ $\text{мл O}_2 / (\text{мл} \cdot \text{гПа})$ ] или, что эквивалентно, в единицах  $10^{-9}$  ( $\text{см}^3 \text{O}_2$ ) / ( $\text{см}^2 \cdot \text{с} \cdot \text{гПа}$ ). Для простоты единицы

измерения  $Dk/t$  называются единицами  $Dk/t$ . Чтобы выразить  $Dk/t$  в миллиметрах ртутного столба вместо гектопаскалей (760 мм рт. ст. = 1013,25 гПа), нужно умножить полученное значение на 1,33322. В отличие от кислородопроницаемости коэффициент пропускания кислорода зависит от толщины и, следовательно, от формы сечения или конструкции КЛ или образца материала.

**Лечебная КЛ** – мягкая КЛ, предназначенная не для оптической коррекции зрения, а для банджа роговицы или доставки лекарств в передний отрезок глаза.

**Многофокальная (мультифокальная) КЛ** – КЛ, предназначенная для обеспечения двух и более зон с различной корригирующей способностью. Используется для коррекции пресбиопии.

**Многоцелевой раствор (многофункциональный раствор, МФР)** – жидкий препарат, обладающий более чем одной заявленной функцией при гигиеническом уходе за контактными линзами.

**Модуль упругости КЛ** – измеряемая в МПа способность материала КЛ упруго (не постоянно) деформироваться при приложении к нему силы. Эта величина используется для описания жесткости мягких КЛ. Чем выше модуль упругости, тем более тверда МКЛ; чем ниже, тем более она эластична. Модуль упругости КЛ вместе с толщиной определяют ее жесткость.

**Мягкая контактная линза (МКЛ)** – КЛ, которая легко деформируется под воздействием собственного веса и принимает форму оболочки, на которую она надевается.

**Одноразовая (однодневная) КЛ** – КЛ, рассчитанная на одноразовое использование (период ношения). Одноразовая КЛ не предназначена для повторного использования, после снятия с глаза предусмотрена ее ликвидация.

**Ополаскивание** – действие для удаления физических и химических загрязнителей с КЛ путем пропускания потока подходящей жидкости по поверхностям линзы. Изготовитель обычно указывает на этикетке ополаскивающей жидкости минимальное время ополаскивания линз, необходимое для обеспечения предусмотренного назначения.

**Оптическая зона КЛ** – часть КЛ, которая обладает предписанным оптическим действием. В случае поверхности одного оптического компонента этот термин допускается уточнять прилагательным «задняя» или «передняя». В случае бифокала с переменным визированием этот термин допускается уточнять прилагательным «дальняя» или «ближняя». В случае концентрической многофокальной линзы этот термин допускается уточнять прилагательным «центральная» или «периферийная».

**Ортокератология (ночная ортокератология, ОК-коррекция)** – метод оптической коррекции зрения, заключающийся в моделировании формы роговицы с помощью ортокератологических контактных линз (ОК-линз), надеваемых на ночь и снимаемых после пробуждения. Во время сна эпителий роговицы принимает форму внутренней поверхности ОК-линз, что изменяет оптические свойства роговицы.

**Передняя (выпуклая) поверхность КЛ** – поверхность любой КЛ, обращенная от глаза пациента. Передняя поверхность КЛ может быть сферической или состоять из нескольких сферических (торических) сегментов.

**Периодичность замены КЛ** – период времени, рекомендуемый изготовителем

для утилизации КЛ. Периодичность замены определяют, начиная с первого применения КЛ и до достижения момента, рекомендованного для ее ликвидации.

**Периферийная зона КЛ** – область определенных размеров, окружающая оптическую зону (зоны), которая не обладает предписанной рефракцией.

**Поток кислорода J** – чистый объем газообразного кислорода, проходящий через единицу площади образца материала КЛ в единицу времени при заданных условиях, включающих температуру, толщину образца и парциальные давления кислорода с обеих сторон образца. Удобной единицей измерения потока кислорода для материалов КЛ является  $\text{мкл}/(\text{см}^2 \cdot \text{с})$ .

**Призмный балласт КЛ** – вертикальная призма, применяемая для получения клиновидной конструкции, облегчающей вращательную стабилизацию торической КЛ на глазу.

**Пробная КЛ** – КЛ, применяемая только офтальмологом или его ассистентом для определения требуемых параметров КЛ потенциального пациента.

**Продолжительное (расширенное, пролонгированное) ношение КЛ** – режим ношения КЛ, при котором ее носят непрерывно в следующие друг за другом периоды бодрствования и сна.

**Радиус базовой кривизны КЛ BC, BCR** – кривизна центральной части задней поверхности линзы. Должна соответствовать кривизне роговицы глаза. Это один из важнейших для подбора КЛ параметров: плохая посадка линзы из-за несоответствия радиуса кривизны линзы форме роговицы может стать причиной отказа от ношения КЛ. Радиус базовой кривизны измеряется в миллиметрах и обычно составляет 8,1–8,9 мм. Чем меньше его величина, тем круче будет посадка КЛ, и наоборот. Радиус базовой кривизны можно определить на современных авторефрактометрах, в которых обычно предусмотрена данная функция.

**Режим ношения КЛ** – предписанные производителем способ ношения КЛ. При дневном режиме ношения КЛ можно носить в течение дня, при продолжительном – непрерывно до 7 суток, не снимая на ночь, при гибком – 1–2 дня не снимая. Непрерывный режим ношения (в течение 30 суток не снимая) в настоящее время не рекомендуется, поскольку связан с высоким риском кератита.

**Силиконгидрогелевая КЛ (СГКЛ)** – КЛ, изготовленная из материала, состоящего из двух фаз, силиконовой и гидрогелевой. Гидрофобный силикон, обеспечивающий высокий  $Dk/t$ , и гидрофильный гидрогель, обеспечивающий смачиваемость и комфорт, смешаны в матрице линзы в различных пропорциях.

**Склеральная КЛ** – КЛ, покрывающая всю видимую часть склеры и удерживаемая на глазу веками.

**Толщина в геометрическом центре КЛ** – толщина КЛ или оболочки в ее геометрическом центре, измеренная вдоль геометрической оси.

**Торическая КЛ** – КЛ с передней или задней оптической зоной тороидальной формы.

**Форма края КЛ** – профиль края в плоскости, содержащей геометрическую ось КЛ.

**Чистка КЛ** – процесс удаления с КЛ поверхностных загрязнений. Чистка обычно бывает первой стадией гигиенического ухода за многоцветными КЛ. В материалах для чистки КЛ часто применяют химические агенты (например, поверхностно-активные вещества) для облегчения удаления посторонних веществ.

### § 3.2. Контактные линзы как средство оптической коррекции зрения

КЛ используются для коррекции всех аномалий рефракции — миопии, гиперметропии, пресбиопии, астигматизма, а также при врожденной или приобретенной катаракте, афакии, если по каким-либо причинам невозможна имплантация интраокулярной линзы (ИОЛ) вместо хрусталика.

Главная оптическая плоскость КЛ почти совпадает с главной (преломляющей) плоскостью глаза, проходящей через вершину роговицы, так как линза надевается прямо на роговицу. Разница между этими плоскостями соответствует толщине слезного слоя и контактной линзы, то есть не превышает 0,15 мм даже при высоких рефракциях (рис. 3.1). Роговица и КЛ, разделенные лишь тончайшим слезным слоем, работают практически как склейка из двух линз, удерживаемых вместе силами капиллярного притяжения. В отличие от очковой линзы, расположенной на определенном расстоянии от роговицы, контактная линза надевается непосредственно на поверхность глаза и таким образом напрямую встраивается в его оптическую систему.

Этим обусловлены как значительные оптические преимущества метода контактной коррекции зрения, так и ключевая проблема: КЛ — инородное тело, помещенное в глаз. КЛ практически не влияют на размер ретинального изображения, однако влияют на физиологические процессы в роговице, лимбе и конъюнктиве, оказывают механическое воздействие и создают преграду между воздухом и роговицей, что может приводить к гипоксии. На решение этих проблем и были направлены усилия производителей. В результате контактная коррекция стала достаточно комфортной и безопасной.

Свыше 130 миллионов людей во всем мире успешно носят КЛ, постоянно или время от времени. Средний возраст пользователей составляет 31 год, две трети из них — женщины. Только в США сейчас насчитывается почти 33 миллиона пользователей КЛ; 75% из них — люди в возрасте 18–45 лет. Мировой рынок контактной коррекции к концу 2014 года оценивался примерно в 7 с половиной миллиардов долларов. Согласно статистике GfK, в России рынок контактных линз за 2014 год составил более 10 миллиардов рублей только в салонах оптики (без учета онлайн-продаж), то есть почти в 3 раза превысил рынок солнцезащитных очков.

По данным за 2004 год, осложнения возникали лишь у 5% пользователей и в основном были связаны с нарушениями правил эксплуатации — перенашиванием линз или неправильным уходом за ними. Более важен дискомфорт при ношении, который до сих пор остается главной причиной отказа от КЛ. В 2010 году при поддержке компании Alcon в социальной сети Facebook был проведен опрос пользователей КЛ из Канады. В нем приняли участие более 4000 человек. Чаще всего причинами отказа от КЛ были дискомфорт, сухость и покраснение глаз, необходимость постоянных финансовых расходов. Итоговая доля «отказников» составила 23% — такие же результаты наблюдались в Канаде еще в 1990-е годы. С тех пор были изобретены «дышащие» линзы, которые помогли избавиться от гипоксии роговицы, но оказались менее удобными. Такие итоги опроса заставили

специалистов и производителей вновь сосредоточить внимание на проблеме дискомфорта. В результате к 2016 году на мировом рынке появился целый ряд многообещающих инновационных продуктов, которые наверняка помогут как удержать старых пользователей, так и привлечь новых.

При любой степени **миопии** КЛ переносятся очень хорошо, в отличие от очков, поскольку не влияют на размер ретинального изображения и не создают призматического эффекта (рис. 3.2). Установлено, что зрительная работоспособность миопов в КЛ на 11% выше, чем в очках, и астенопических жалоб не возникает. КЛ улучшают остроту зрения и состояние аккомодации, помогают восстановить бинокулярное зрение. Улучшается работоспособность и кровоснабжение цилиарной мышцы, почти в 2 раза увеличивается запас относительной аккомодации. Поэтому у близоруких детей, носящих КЛ, близорукость прогрессирует значительно медленнее. Единственный недостаток заключается в том, что миопам в КЛ требуется более сильная конвергенция вблизи.

Отдельное перспективное направление контактной коррекции для борьбы с **прогрессирующей миопией** — **ортокератология**. Сейчас делаются и ортокератологические КЛ (ОК-линзы) для коррекции гиперметропии и астигматизма, но чаще всего этот метод используется при близорукости. ОК-линзы сами по себе не являются оптическим средством коррекции. Фактически это не корригирующие линзы, а специальные шаблоны, которые надеваются на роговицу, чтобы модифицировать ее форму, пока пациент спит. За ночь роговичный эпителий принимает форму внутренней поверхности ОК-линз (не за счет давления на роговицу, как часто ошибочно думают, а за счет миграции эпителиальных клеток, постепенно заполняющих пустоты в подлинзовом пространстве). Дизайн ОК-линз рассчитывается так, что при коррекции миопии центральная оптическая зона роговицы становится более плоской, а при коррекции гиперметропии — более выпуклой. Утром пациент снимает линзу, но роговица сохраняет новую форму до самой ночи. Это очень удобно, поскольку в активное время суток пациентам совершенно не нужны никакие средства коррекции зрения. По результату ортокератология напоминает кераторефракционную хирургию, но эффект ОК-линз временный и полностью обратимый. Важным побочным эффектом

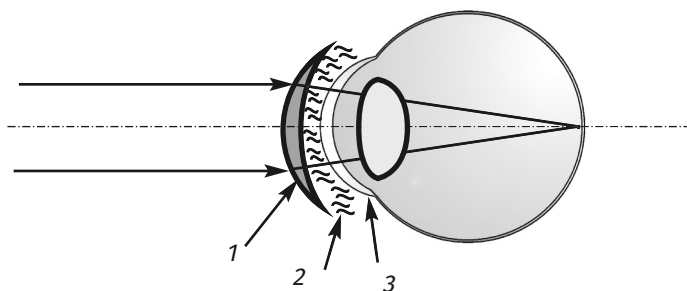


Рис. 3.1. Ход лучей при контактной коррекции зрения: 1 — контактная линза; 2 — слезная жидкость в подлинзовом пространстве («слезная линза»); 3 — роговица [из книги: Киваев А.А. Контактная коррекция зрения. — М., 2000].



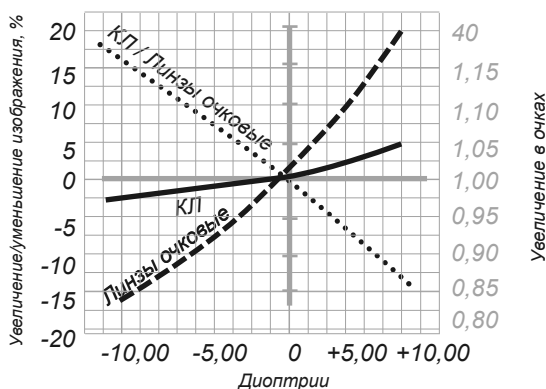


Рис. 3.2. Сравнение изменения ретинального изображения в очках и КЛ [по книге: Benjamin W.I. Visual optics of contact lens wear (1991)].

ортокератологии, который подтвержден многочисленными исследованиями в РФ и за рубежом, оказалось торможение прогрессирования близорукости. ОК-линзы не только заметно улучшают функциональные показатели миопических глаз, но и существенно (в 3–4 раза) замедляют осевой рост глаз у детей-миопов.

Гиперметропы, успевшие привыкнуть к очкам, после подбора КЛ поначалу испытывают зрительный дискомфорт. Дело в том, что при **гиперметропии** плюсовые очки увеличивают размер ретинального изображения. После перехода на КЛ людям кажется, что окружающие предметы стали меньше. И все же после периода адаптации гиперметропы часто предпочитают КЛ очкам из-за более четкого и контрастного зрения. Кроме того, при зрении вблизи в КЛ гиперметропам требуется меньшая конвергенция.

При коррекции **пресбиопии** контактными линзами применяется либо метод **моновидения** (англ. monovision), либо **ЖГКЛ** различных специальных дизайнов, либо **мультифокальные МКЛ**. Моновидение — давний и проверенный способ контактной коррекции пресбиопии; до начала 2000-х годов он оставался более популярным. Пациенту подбирают две обычные сферические КЛ с разной оптической силой. Один глаз настраивается на ближнюю дистанцию, другой — на дальнюю. Изображения от разных глаз поступают в мозг одновременно, и пациент постепенно приучается выбирать одно из них в соответствии со зрительными задачами. Недостаток моновидения заключается в том, что при этом сильно страдает восприятие глубины пространства, поэтому для водителей этот метод не подходит. По сравнению с моновидением мультифокальные ЖГКЛ и МКЛ обеспечивают намного лучшую стереоостроту зрения. В то же время они усиливают aberrации высшего порядка и тем самым снижают низкоконтрастную бинокулярную остроту зрения. Однако в целом специальные КЛ для пресбиопов, особенно жесткие, дают более высокое качество зрения, чем моновидение. Сейчас в России доступно несколько мультифокальных МКЛ массового производства (табл. 3.1).

Таблица 3.1.

Мультифокальные мягкие контактные линзы для коррекции пресбиопии.

Название	Производитель	Тип линзы
AIR OPTIX® AQUA MULTIFOCAL	Alcon (США)	МКЛ ежемесячной замены
Clariti® 1 day multifocal	Sauflon (Великобритания)*	Одноразовая СГКЛ
Proclear® Multifocal	CooperVision (США)	МКЛ ежемесячной замены
PureVision® Multi-Focal	Bausch + Lomb (США)**	СГКЛ ежемесячной замены
Rythmic UV Multifocal	CooperVision (США)	МКЛ ежемесячной замены

Примечания:

\* С 2015 года английская компания Sauflon входит в состав американской компании CooperVision.

\*\* С 2013 года американская компания Bausch + Lomb входит в канадский международный концерн Valeant Pharmaceutical.

Очковая коррекция астигматизма является довольно сложной задачей, она может вызывать нежелательные побочные эффекты, такие как анизопория и анизейкония. Поэтому именно контактная коррекция — оптимальный выбор при **астигматизме**, как роговичном, так и хрусталиковом. Только КЛ позволяют в подобных случаях получить максимальную достижимую остроту зрения. КЛ для коррекции астигматизма имеют торическую форму и потому называются также торическими. Они слегка растянуты в одном меридиане, зависящем от оси астигматизма. Чтобы такой способ коррекции был успешным, необходимо точно зафиксировать линзу в одном положении, не допуская ее ротации. Для этого производители применяют разные дизайны — призматический балласт, перибалласт, заднюю торику и другие. Чтобы оптометрист при осмотре со щелевой лампой легко мог проверить ориентацию линзы на глазу, на торические КЛ наносятся специальные лазерные метки.

Для успешного подбора торических КЛ требуется как обширный банк линз с разными параметрами, так и высокий уровень подготовки оптометриста. При астигматизме в пределах 0,5–0,75 дптр применение торических КЛ обязательно. С таким же успехом можно добиться более высокой остроты зрения, назначив сферические КЛ с задней асферической поверхностью.

На российском рынке в 2014 году было доступно более 20 МКЛ для коррекции астигматизма из разных материалов и с разными режимами замены. Главными новинками последних лет стали однодневные торические линзы *Focus DAILIES® Toric (Alcon)*, *Clariti® 1 day toric (Sauflon – CooperVision)* и *1-DAY ACUVUE® MOIST FOR ASTIGMATISM (Johnson & Johnson)*, а также линзы ежемесячной замены *Pure Vision 2 for astigmatism, SoftLens Toric (Bausch + Lomb)* и *Proclear® Toric XR (CooperVision)* с высокими значениями силы цилиндра — от 2,75 до 5,75.

При врожденной катаракте или афакии у детей в возрасте от 1 года именно КЛ являются оптимальным средством первого выбора. Это связано с тем, что глаз ребенка растет, особенно в раннем возрасте, и подобрать оптическую силу ИОЛ очень сложно. При односторонней афакии очковая коррекция в принципе непереносима из-за слишком большой анизейконии. Для афакичного глаза необходимо подбирать очень сильные плюсовые линзы, от +8 или 17 дптр до +30 дптр. Даже при такой оптической силе КЛ размер ретинального изображения остается практически нормальным. Как отмечает А. А. Киваев, остаточная анизейкония после контактной коррекции односторонней афакии достигает 9% при норме

в 5–6%, чем и объясняется успешное восстановление бинокулярного зрения в 60–80% случаев.

КЛ — идеальное средство оптической коррекции при рефракционной анизометропии, однако при осевой анизометропии они не позволяют выправить разницу в размере ретинальных изображений.

КЛ, в том числе ортокератологические, используются перед рефракционными операциями как средство, позволяющее заранее смоделировать оптический эффект хирургии, дать прогноз и при необходимости скорректировать степень вмешательства. После рефракционных лазерных операций лечебные КЛ используются в качестве бандежа для быстрого заживления роговицы.

### § 3.3. Преимущества и недостатки контактной коррекции зрения

**Преимущества** КЛ по сравнению с очками — более широкое поле зрения, более четкое и контрастное зрение, отсутствие нежелательных призматических эффектов, которые возникают при движениях глаз у пользователей очков. КЛ очень слабо влияют на размер ретинального изображения, что особенно важно при рефракционной анизометропии. КЛ сводят к минимуму оптические aberrации, обеспечивают хорошую остроту зрения при неправильной форме роговицы. На состояние поверхности КЛ не влияют ни дождь, ни туман, ни снег. В отличие от очков, КЛ позволяют скрыть проблемы со зрением от окружающих, что особенно важно для детей. КЛ также намного удобнее при занятиях спортом. Цветные и декоративные МКЛ позволяют изменить цвет глаз или рисунок радужки. Этот эффект часто используется не только в косметических, но и в профессиональных целях. Например, актеры театра и кино, певцы иногда носят цветные или *srazu* линзы, чтобы создать яркий сценический образ.

Но у контактной коррекции есть и некоторые **недостатки**. Для успешного подбора и адаптации к новым линзам нужно время. Необходимо регулярно, раз в полгода проходить профилактический осмотр у оптометриста. Если пользователь не появляется в кабинете врача хотя бы раз в год, это почти наверняка чревато осложнениями. Массовые продажи МКЛ в супермаркетах, уличных автоматах и интернете отрицательно сказываются как на бизнесе оптических салонов, так и на общей культуре контактной коррекции, поскольку все это постепенно разрушает связь между пациентом и врачом.

Пользователи должны учиться правильно обращаться с КЛ, а если их линзы не однодневные, регулярно проводить дезинфекцию и очистку. При опросах регулярно отмечается, что контактная коррекция — дополнительная и довольно ощутимая статья расходов. Пользователям КЛ любых типов необходимо покупать средства ухода, иногда и увлажняющие капли для улучшения комфорта, а при ношении линз плановой замены и однодневных регулярно пополнять их запас. Технические параметры МКЛ плановой замены постепенно ухудшаются по мере их использования. Наконец, пользователи часто повреждают или теряют свои линзы. Поэтому все более популярны одноразовые, или однодневные МКЛ,

несмотря на сравнительно высокую стоимость. Они автоматически избавляют от многих из перечисленных проблем: уход за такими линзами не нужен, их надевают утром и выбрасывают в конце дня.

В зависимости от состояния здоровья глаз, чувствительности роговицы, качества самих КЛ время ношения может быть ограничено. Регулярное длительное ношение МКЛ по разным причинам может приводить к повреждению роговицы. Например, линзы из устаревших материалов, которые слабо пропускают воздух к роговице и плохо влияют на слезообмен, как правило, вызывают хроническую гипоксию и симптомы сухости. В результате клетки роговичного эпителия испытывают постоянный стресс, что в конце концов делает ношение КЛ невозможным.

Механическое воздействие при заостренном дизайне края МКЛ вызывает ощущение линзы на глазу, раздражает, а иногда слегка травмирует периферию эпителия роговицы, особенно если МКЛ изготовлены из твердого материала с большим содержанием силикона. Возникает дискомфорт, в крайних случаях – механические повреждения. Чаще всего с механическим воздействием КЛ связаны бессимптомные вмятины и повреждения, прокрашивание роговицы. В крайних случаях возможно развитие гигантского папиллярного конъюнктивита (ГПК). Большинство современных МКЛ выпускается с оптимизированной формой края специально для того, чтобы улучшить комфорт и слезообмен, уменьшить механическое воздействие линзы на роговицу.

ГПК — серьезное осложнение, связанное прежде всего с ношением силикон-гидрогелевых КЛ первого поколения, которые отличались высоким модулем упругости (большинство из них уже снято с производства). Существует 2 основных фактора риска возникновения ГПК: токсико-аллергический (в ответ на отложения денатурированного белка на линзе) и механический (реакция на сочетание высокого модуля упругости, неоптимальной для данного пациента формы края и механического контакта с плохо смачиваемой поверхностью КЛ). ГПК может привести к долговременной или постоянной непереносимости КЛ.

Проф. Брайен Холден предположил, что ГПК возникает из-за сочетания ряда факторов – дизайна края, модуля упругости и других характеристик материала и поверхности линзы. В случае ГПК необходимо прервать ношение КЛ до исчезновения всех симптомов. Затем можно попробовать перейти на контактные линзы, обладающие повышенной устойчивостью к белковым отложениям (I или II класса по классификации FDA), с плазменной обработкой поверхности. Также стоит обратить внимание на линзы с низким модулем упругости.

Некоторые средства ухода способны поддерживать белки слезы в активном состоянии, за счет чего происходит меньшая их денатурация. Это также важно для профилактики ГПК.

Неаккуратное снятие или надевание линз ведет к повреждению их краев или поверхности. В этих местах возникают эрозии роговицы, для заживления которых необходимо прервать ношение и заменить линзы.

Случайно попавшее под край КЛ инородное тело может привести к серьезным травмам и заболеваниям роговицы, особенно при ортокератологической коррекции. Перед надеванием КЛ необходимо тщательно мыть руки, вытирать их полотенцем, не оставляющим ворсинок, и внимательно осматривать линзы.

### § 3.4. Показания и противопоказания к ношению КЛ

Несмотря на определенные сложности, связанные с контактной коррекцией, в некоторых случаях назначение КЛ вместо очков — вынужденная мера.

#### **Медицинские показания к ношению КЛ**

1. Рефракционная анизометропия — разница в оптической силе левого и правого глаза. Выправить ее можно только с помощью контактной коррекции, поскольку очковая в подобных случаях в принципе непереносима (этот вопрос подробно разбирался в § 2.3).

2. Высокая степень миопии или афакия. В этих случаях необходимы очень сильные минусовые линзы. Очковые линзы будут слишком уменьшать ретинальное изображение.

3. Проблемы с формой или общим состоянием роговицы: иррегулярные роговицы, кератоконус и кератоглобус. По данным А. А. Киваева и Т. Д. Абуговой, у пациентов с кератоконусом, носящих КЛ, средняя острота зрения примерно в 2 раза выше, чем в очках; у всех больных наблюдается устойчивое бинокулярное зрение, тогда как при ношении очков — только у 74%.

4. Лечебные мягкие КЛ либо применяются в качестве биндажа для заживления роговицы после травм, либо пропитываются лекарствами, которые постепенно высвобождаются из материала линзы в ткани переднего отрезка глаза (при различных глазных заболеваниях).

5. Серьезные ошибки рефракционной хирургии, ведущие к рефракционным нарушениям, которые невозможно исправить с помощью очковой коррекции.

6. В редких случаях — физическая невозможность носить очки, например, из-за отсутствия или деформации наружного носа.

Кроме того, КЛ — незаменимое средство оптической коррекции для спортсменов и военных, особенно летчиков, так как при занятиях активными видами спорта, в противогазах, специальных шлемах или защитных очках использование очков невозможно или очень затруднительно.

Перед подбором КЛ пациенту следует оценить ряд факторов — зрительных, косметических, медицинских и возрастных, профессиональных, психологических, а также факторов окружающей среды. Зрительными противопоказаниями являются слабые (до 1 дптр) рефракционные ошибки, высокий астигматизм (современные торические КЛ позволяют корригировать астигматизм до 5,75 дптр). Что касается профессии, то, например, явно не стоит назначать КЛ пожарному. Или, например, в некоторых случаях профессия требует высокой остроты зрения в темное время суток (дальнобойщики, штурманы). Тогда лучше использовать КЛ, особенно с асферической оптикой. Иногда очки помогают скрыть дефекты лица или сильное косоглазие и потому более предпочтительны.

#### **Медицинские противопоказания к подбору КЛ**

1. Активная инфекция или патология.
2. Рецидивные эрозии роговицы.
3. Сильный насморк, катар дыхательных путей.
4. Аллергии.
5. Весенний кератоконъюнктивит.

6. Диабет (из-за слабости эпителия и нарушения трофики роговицы).
7. Анатомические (например, потеря века).
8. Повышенная чувствительность роговицы, век или краев век.
9. Низкий объем или качество слезы.
10. Редкое моргание, снижение чувствительности роговицы.
11. Симптомы сухости, вызванные приемом некоторых лекарств (такой эффект, например, дают антигистаминные препараты).
12. Возрастные изменения: ухудшение качества слезы и уменьшение слезопродукции, пониженный тонус век.
13. Синдром сухого глаза с временем разрыва слезной пленки меньше 5 секунд.
14. Нарушение координации движений или тремор рук, затрудняющие манипуляции с линзами.
15. Курение.

***Неблагоприятные для пользования КЛ факторы окружающей среды***

1. Сухой климат.
2. Значительная высота над уровнем моря.
3. Постоянная сухость в рабочем или жилом помещении (в частности, из-за кондиционеров, центрального отопления).
4. Постоянная работа за компьютером.
5. Пыльная местность, большое количество пыли в рабочем или жилом помещении.

Не все из перечисленных противопоказаний абсолютны, но все заслуживают того, чтобы учитывать их перед назначением КЛ. Например, почти все люди сейчас активно пользуются мобильными цифровыми устройствами с дисплеями, что вызывает риск компьютерного зрительного синдрома. Кроме того, стационарные компьютеры и ноутбуки всегда создают статический электрический заряд. Поэтому в рабочую зону неизбежно притягивается пыль, разгоняемая кулерами по воздуху. Поскольку роговичные КЛ удерживаются на глазах по принципу присоски, эта пыль легко может оказаться у края линзы и попасть под нее. Конечно, все это не означает, что кандидатов на контактную коррекцию не осталось. Просто при работе с пациентами, подолгу работающими за компьютером, стоит уделять повышенное внимание увлажнению и комфорту. Необходимо подбирать им самые лучшие в этом отношении КЛ, средства ухода с пролонгированным увлажняющим действием, слезозаменители.

Большое значение для успешного и здорового ношения КЛ имеют условия жизни и работы — подходящий климат, чистота в помещении, нормальная температура и влажность.

Не менее важны психологические противопоказания. Например, некоторые люди в принципе не выносят присутствия инородного тела в глазу, остро реагируют на малейший дискомфорт, не могут научиться надевать и снимать КЛ. Бессмысленно подбирать КЛ недисциплинированному человеку, не готовому взять на себя ответственность за собственное здоровье и не понимающему, что нарушение правил эксплуатации грозит серьезными глазными осложнениями.

Разумеется, абсолютно дисциплинированный пациент — идеал, который встречается довольно редко, особенно сейчас, когда КЛ все чаще покупаются

через интернет, иногда даже без первичного осмотра у специалиста. Оптометристы и производители понимают это и стараются облегчить жизнь пользователей КЛ, по возможности переводя их на линзы с высокой кислородной проницаемостью и однодневные, чтобы свести к минимуму возможные риски. Разрабатываются антибактериальные линзы, которые скоро сделают ненужными дезинфицирующие растворы для КЛ.

Но никакие продвинутые материалы и технологии сами по себе не могут защитить пользователя, сознательно или по небрежности нарушающего правила эксплуатации. Одна из проблем, особенно актуальная в РФ, — перенашивание линз. Двухнедельные КЛ иногда носят в течение месяца, однодневные — целую неделю. Встречаются еще более вопиющие случаи нарушения режима ношения, когда линзы не снимают так долго, что они врастают в роговицу или веко. Работник оптики должен дать понять потенциальным нарушителям, что перенашивание — их личный рискованный эксперимент, и ответственность за результаты будет лежать на них, а не на производителе или продавце.

### § 3.5. История контактных линз и материалов

У контактной коррекции довольно долгая история. Еще в 1823 году Джон Гершель впервые описал принцип действия роговичных линз и показал, что эта идея вполне осуществима. В 1888 году швейцарский офтальмолог Адольф Т. Фик опубликовал статью о практическом применении роговичных и склеральных КЛ, которые он также называл «стеклянной роговицей». В его опытах линзы были изготовлены по слепкам с трупных глаз человека и использовались для коррекции неправильного астигматизма и кератоконуса. В том же году французский медик Эжен Каль описал применение КЛ при кератоконусе и для стабилизации миопии. Через год офтальмолог из Германии Август Мюллер защитил диссертацию на тему «роговичных линз». Для их изготовления он впервые использовал слепки с живых глаз. У всех пионеров контактной коррекции линзы были на самом деле не роговичными, а склеральными, поскольку покрывали всю видимую часть склеры.

Затем в течение 60 лет по-прежнему применялись **склеральные КЛ** из стекла, массовое производство которых наладило предприятие Carl Zeiss. Отдельные попытки немецких оптиков сделать роговичные линзы потерпели неудачу, поскольку КЛ из стекла были слишком тяжелы, чтобы прочно держаться на роговице. К концу 1930-х годов в США стали выпускать склеральные КЛ из оргстекла — полиметилметакрилата (ПММА). Сначала это были комбинированные линзы из стекла и пластмассы по краям, а затем сплошные. С 1943 года в склеральных КЛ начали сверлить отверстия для свободной циркуляции слезы. Склеральные линзы — исторически самый старый тип КЛ, но сейчас специалисты снова стали часто подбирать их. Возрождение интереса к склеральным линзам объясняется их универсальностью: они позволяют решить множество клинических проблем (рис. 3.3). К тому же появились новые материалы.

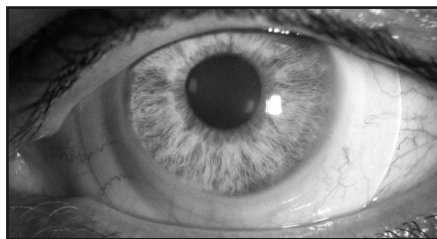


Рис. 3.3. Склеральная контактная линза на глазу

В 1947 году были выпущены первые роговичные линзы из ПММА, которые переносились гораздо лучше, чем склеральные, и давали лучшее качество зрения. Это сразу резко ускорило развитие контактной коррекции. Дизайны жестких КЛ и методы подбора постоянно совершенствовались на основе новых данных о топографии роговицы. Немного позже, в 1960-е годы в оргстекло стали добавлять силикон для улучшения кислородопроницаемости. Так появились **жесткие газопроницаемые контактные линзы (ЖГКЛ или ГПКЛ)**. Материалы и дизайны ЖГКЛ с тех пор значительно улучшились, жесткие линзы стали намного комфортнее. Если недостатком чистого ПММА была очень низкая кислородопроницаемость, то недостатки силикона — жесткость и слабая устойчивость к липидным отложениям. Силиконовые акрилаты (силоксаны) — сополимеры ПММА и силикона по-прежнему широко применяются, но появляются и новые материалы без силикона, также обеспечивающие хороший доступ кислорода к роговице.

В конце 1950-х годов чешские химики Отто Вихтерле и Драгослав Лим совершили революцию в контактной коррекции. Они изготовили первую партию **мягких контактных линз (МКЛ)** методом литья в открытой форме. Для этого применялся новый, гидрофильный, прозрачный и стабильный по форме полимер — гидроксиэтилметакрилат (ГЭМА). Новый материал мог впитывать влагу до 38,5% собственной массы. Через несколько лет Отто Вихтерле изобрел более совершенный метод ротационной полимеризации, при котором вогнутая форма с полимером быстро вращается по вертикальной оси. В 1966 году знаменитая оптическая компания Bausch & Lomb (США) заинтересовалась изобретениями Вихтерле, закупила патенты и впервые приступила к массовому производству МКЛ. Наступила эпоха гидрогелевых материалов и мягких линз (рис. 3.4).



Рис. 3.4. Надевание роговичной МКЛ на глаз



Комфортность ношения КЛ зависит от **гидрофильности** материала — его смачиваемости и способности впитывать влагу. Плохая смачиваемость КЛ ведет к быстрому высыханию надлинзовой слезной пленки и симптомам сухости (этот механизм описан в § 2.4). Поэтому производители долгое время стремились увеличить влагосодержание гидрогелевых материалов, пока не выяснилось, что у высокой гидрофильности есть и обратная сторона. Во-первых, гидрогелевые КЛ с влагосодержанием более 50% оказались менее прочными. Во-вторых, такие линзы хуже сохраняют форму и менее устойчивы к дегидратации: при ношении они теряют влагу намного быстрее. В течение дня это вызывает те самые симптомы сухости, от которых надеялись избавиться, доведя влагосодержание до 60% и выше. Сами же линзы в течение дня из высокогидрофильных превращаются в средне- или низкогидрофильные прямо на глазу.

Однако технологии не стоят на месте. Химические свойства материалов многих современных МКЛ препятствуют испарению влаги и сохраняют возможность носить линзы долго и комфортно. Это позволило значительно увеличить долю воды в материалах линз. Например, гидрогелевые МКЛ *Biotrue ONEday (Bausch + Lomb)* из материала *HyperGel™* к концу дня теряют всего лишь 1,5% влаги. При этом у них очень высокое влагосодержание 78%, соответствующее влагосодержанию роговицы глаза. В силиконгидрогелевой МКЛ *DAILIES TOTAL1 (Alcon)* влагосодержание увеличивается от 33% в центре до 80 и почти до 100% у поверхности и удерживается на том же уровне спустя 14 часов ношения. Высоким влагосодержанием (свыше 50%) отличаются силиконгидрогелевые МКЛ *MyDay* и *CLARITI 1 day (CooperVision)*.

Другая важная характеристика материала КЛ — **кислородопроницаемость (Dk/t)**. При регулярном ношении гидрогелевых линз старого образца неизбежно развивается хроническая гипоксия. «Кислородное голодание» роговицы ведет к тяжелым последствиям. За несколько лет существенно утончается эпителий и строма роговицы, появляется много микроцист, в течение дня наблюдается выраженный отек роговицы, покраснение лимба и неоваскуляризация. Кроме того, изменениям подвергаются и клетки эндотелия (особенно при ношении линз дольше 10–15 лет), уменьшается количество клеток и меняется их размер. Поэтому при стаже ношения КЛ от 10–15 лет очень желательно проводить эндотелиоскопию в ходе планового осмотра или при подборе новых линз.

Исследования показали, что отрицательные симптомы в роговичном эпителии сохраняются на протяжении месяца после снятия линз. Изменения в строме и эндотелии оказались еще более устойчивыми: нужно минимум полгода, чтобы избавиться от этих симптомов. Все они вызваны гипоксией.

Известные исследователи Холден и Мерц вывели величину  $Dk/t = 24,1$  для дневного ношения КЛ и  $Dk/t = 87$  для ночного ношения, то есть при sne в контактных линзах (так называемый **критерий Холдена – Мерца**). Такой уровень пропускания кислорода гарантирует, что у пользователя линз не будет развиваться отек роговицы. Затем критическое значение для открытого глаза (при дневном ношении КЛ) было уточнено: для предупреждения гипоксии необходима кислородопроницаемость  $Dk/t = 35$ . Для сохранения нормальной физиологии роговицы в контактных линзах глаза должны получать не менее 90% от обычного

(в отсутствие линз) количества кислорода. В 90-е годы гидрогелевые МКЛ не могли обеспечить такой высокий уровень кислородопропускаемости. В результате проблема гипоксии при ношении МКЛ приобрела очень широкие масштабы.

Группа исследователей во главе с проф. Брайеном Холденом и в тесном сотрудничестве с компанией CIBA Vision создала материал принципиально нового типа – полимерную матрицу, в которой гидрофильный гидрогель объединен с гидрофобным силиконом. Силиконгидрогель значительно улучшил способность линз пропускать кислород. Первая «дышащая» МКЛ Focus NIGHT & DAY была выпущена в 1999 году компанией CIBA Vision. Вскоре появилась и МКЛ Pure Vision от другого лидера рынка – компании Bausch & Lomb, которая с тех пор развивает эту линейку для специализированных сегментов рынка (коррекция астигматизма и пресбиопии, повышение чекости зрения благодаря коррекции аберраций). Разработка разных силиконгидрогелевых материалов стала очередной технологической революцией в контактной коррекции. **Силиконгидрогелевые МКЛ (СГКЛ)** помогли победить гипоксию и обеспечить здоровое ношение. Именно поэтому уже к началу 2007 года на СГКЛ приходилось более 90% подборов контактных линз по всему миру.

Однако СГКЛ принесли с собой новые проблемы, связанные с принципиальными недостатками силикона – одного из компонентов полимерной матрицы. Из-за силикона СГКЛ притягивали липидные отложения. Кроме того, новые линзы оказались жесткими и гидрофобными, что плохо сказывалось на комфорте и биосовместимости линз с тканями переднего отрезка глаза. Упомянутые выше первые СГКЛ сначала рекомендовались для непрерывного ношения в течение 30 дней. Вскоре выяснилось, что не снимать линзы на ночь все-таки слишком опасно: риск развития кератита возрастает многократно. Сейчас под «расширенным режимом ношения» понимают скорее возможность не снимать линзы 2–3 дня в определенных ситуациях, например, во время командировок и путешествий.

С гидрофобностью силиконгидрогелевых материалов 1-го и 2-го поколения производители боролись с помощью различных увлажняющих агентов, пропитывающих материал и выделяемых при моргании либо напрямую включенных в матрицу линзы (последний подход характерен для компании Johnson & Johnson). Поверхность некоторых СГКЛ на завершающем этапе производства подвергалась плазменной обработке, чтобы улучшить гладкость поверхности, сделать линзы более комфортными и устойчивыми к отложениям. Например, обе технологии использовала компания CIBA Vision (ныне подразделение Alcon) в своей линейке AIR OPTIX, которая до сих пор успешно развивается.

Поначалу производители стремились увеличить кислородопроницаемость материала за счет повышения доли силикона. Скоро выяснилось, что чем больше силикона, тем хуже увлажнение и комфорт. А при достижении  $Dk/t$  от 40 до 54 дальнейшее улучшение кислородопропускаемости фактически уже не помогало провести больше кислорода к роговице. В итоге наметилась новая тенденция: искать оптимальный баланс, уменьшать долю силикона, чтобы линза была более комфортной, но при этом все же отвечала критерию Холдена – Мерца для дневного ношения. Появилось 2-е, а затем и 3-е поколение силиконгидрогелевых материалов с более низким модулем упругости и улучшенной смачиваемостью.

В 2015 году компания CooperVision представила новую СГКЛ MyDay™ из так называемого «умного силикона» Stenfilcon A. Это стало новым шагом в химии полимеров и принципиально новым этапом развития силиконгидрогелевых линз. Впервые вода стала интегрированной частью материала, что обеспечивает его увлажнение на молекулярном уровне – так называемую естественную смачиваемость, без специальных увлажнителей и покрытий. Кроме того, впервые удалось в силиконгидрогелевой линзе достичь уровня мягкости гидрогелевого материала (модуль упругости MyDay™ равен 0,4 МПа).

Контактные линзы с высоким уровнем Dk/t стали стандартом здорового ношения. Недавно силиконгидрогелевые материалы начали проникать даже в сегмент косметических КЛ, которые не всегда нужно носить в течение всего дня. Но химия гидрогелей тоже не стоит на месте: линзы Biotrue ONEday от Bausch + Lomb изготавливаются из гидрогелевого материала с Dk/t = 42. Этот показатель кислородопропускаемости не просто отвечает критерию Холдена – Мерца для дневного ношения, а даже превышает его.

Гонка технологий между компаниями-производителями делает МКЛ все более комфортными и простыми в обращении. Важнейшие достижения последних лет – массовое производство МКЛ плановой замены, изобретение и постоянное улучшение материалов с высокой кислородопроницаемостью, широкое применение торических КЛ для коррекции астигматизма и мультифокальных для коррекции пресбиопии. Улучшение биосовместимости МКЛ с тканями переднего отрезка глаза повышает комфорт для пользователей.

Ожидается, что **однодневные МКЛ** постепенно вытеснят линзы с другими плановыми режимами замены (двухнедельным и месячным) и так называемые традиционные МКЛ (срок замены – от 6 до 12 месяцев). Это объясняется как большей физиологичностью однодневных линз, так и тем, что пользователю не нужно покупать средства ухода. Долгое время высокая стоимость была препятствием для широкого распространения однодневных КЛ, но разница в цене между ними и линзами плановой замены постепенно уменьшается, особенно с учетом стоимости растворов для очистки и дезинфекции. Сегмент одноразовых КЛ на рынке контактной коррекции растет быстрее всех, и, по прогнозам, к 2020 году именно они будут доминировать на рынке. К этому же времени должны появиться и КЛ с антибактериальным покрытием. Ожидается, что «умные» МКЛ от Google и Novartis можно будет использовать для слежения за температурой и уровнем сахара, а также вместо шлемов виртуальной реальности и цифровых экранов.

Бывают случаи, когда МКЛ массового производства не отвечают потребностям пациентов: дистрофия роговицы, кератоконус, синдром сухого глаза, повышенная чувствительность роговицы, эктазии, неправильная форма роговицы и так далее. В этих случаях назначаются **индивидуальные КЛ**, изготовленные по спецзаказу, – как МКЛ, вытачиваемые из заготовок, так и ЖГКЛ, гибридные и склеральные контактные линзы.

**Роговичные и склеральные жесткие линзы** остаются важным и самым дорогим сегментом бизнеса контактной коррекции. Если лаборатория по изготовлению жестких КЛ находится в другом городе, приходится ждать заказа. Привыкать к ним приходится дольше, чем к мягким, – около недели, причем каж-

дый раз заново после перерыва в ношении. Размер роговичных ЖГКЛ меньше, чем МКЛ, и линзы могут выпасть из глаз при резких движениях, например, во время занятий спортом. Это и есть все недостатки жестких линз, наряду со сравнительно высокой ценой. Зато они вытачиваются по индивидуальному заказу, в точном соответствии с формой роговицы пациента, и при правильном уходе служат до полутора лет. Жесткость материала обеспечивает более высокое качество оптической поверхности. Зрительное изображение получается более качественным, с уменьшенными абберациями высшего порядка.

У **склеральных КЛ** довольно долгая история. Как уже говорилось выше, именно склеральные линзы – исторически первый тип КЛ, они выпускаются уже более 100 лет. Современные склеральные КЛ, как и ЖГКЛ, делаются из более качественных материалов с очень высокой кислородопроницаемостью. Об увеличении интереса к склеральным линзам говорит рост числа и популярности учебных курсов, семинаров и конференций по этой технологии.

Склеральные линзы очень универсальны и помогают в самых разных случаях. Например, если пациент не переносит обычную контактную коррекцию из-за повышенной чувствительности роговицы, ему вполне подойдут склеральные линзы, так как они опираются краями не на роговицу в зоне лимба, а на куда менее чувствительную склеру. Слезная жидкость свободно обволакивает всю поверхность глаза под линзой, что резко уменьшает риск синдрома сухого глаза. При кератоконусе склеральные линзы предпочтительнее, чем роговичные ЖГКЛ.

### § 3.6. Косметические контактные линзы

Большинство мягких и жестких контактных линз слегка тонированы для удобства в обращении (полностью бесцветную линзу очень трудно заметить в растворе, когда она находится в блистере, флаконе или кейсе для хранения). Следовательно, согласно действующему российскому ГОСТу, практически все КЛ можно назвать «окрашенными», что создает ненужную путаницу.

Окрашенные МКЛ, на которые наносится полупрозрачный или непрозрачный рисунок, перекрывающий радужку, называют **косметическими**, или **цветными**. Цветные МКЛ используются для украшения или маскировки дефектов глаза. В зависимости от целей плотность и вид окраски бывают разными. Цветные контактные линзы можно разделить на 3 группы.

**1. Цветные МКЛ для изменения природного цвета радужки.** Самая распространенная и популярная разновидность косметических контактных линз. На них наносится рисунок, имитирующий рисунок радужной оболочки. Такие КЛ изменяют цвет глаз и при этом смотрятся естественно. Эффект зависит от интенсивности и плотности рисунка. Цветные МКЛ делятся на 2 подгруппы:

- собственно **цветные МКЛ**, перекрывающие естественный цвет радужки (полностью меняют цвет глаз, как светлых, так и темных);
- **оттеночные МКЛ**, которые подчеркивают или усиливают естественный цвет светлых глаз (оттеночные линзы можно носить и на темных глазах, чтобы придать взгляду особую выразительность).

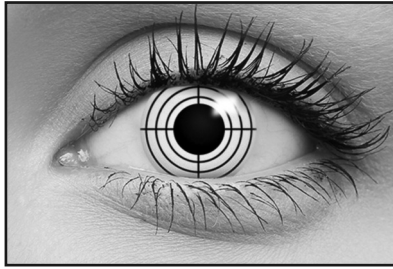


Рис. 3.5. Декоративные (crazy) МКЛ с неестественным рисунком

Нередко эти разновидности цветных КЛ выпускаются в рамках одной линейки брендов, чтобы можно было подобрать либо оттеночные, либо цветные линзы в зависимости от потребностей пользователя.

Иногда используются дополнительные выразительные средства — блестки, золотое или черное кольцо вокруг радужки, из-за которого глаза кажутся очень большими и сразу притягивают внимание, и т. п.

**2. Декоративные, или крейзи-линзы** (англ. *crazy* «безумный, сумасбродный, чудаковатый, потрясающий, волнующий») с неестественным рисунком, который не просто меняет цвет радужки, а полностью перекрывает ее. Для этого наносится до 3 цветных слоев, что значительно снижает кислородопроницаемость таких линз. Используются самые разные рисунки: вертикальный зрачок, красный глаз, «волчий глаз», бельмо, спираль, мишень, паутина, футбольный мяч, знак доллара и т. п. Линзы крейзи не просто изменяют имидж, а делают его очень броским и вызывающим. Такие КЛ пользуются популярностью у рок-музыкантов, артистов, молодежи. Их также называют карнавальными и дискотечными.

**3. Маскирующие КЛ**, с помощью которых можно улучшить внешний вид при косметических дефектах глаза — помутнениях и рубцах роговицы, бельмах, аниридии (отсутствии радужки) и т. д. Не выпускаются массово, а изготавливаются вручную в частных лабораториях контактной коррекции. Преимущество маскирующих КЛ — возможность обойтись без удаления глазного яблока и протезирования, то есть сохранить глаз в ожидании лечения. Иногда для косметической маскировки могут успешно применяться и те цветные МКЛ массового производства, которые полностью меняют цвет любых глаз, в том числе темных.

Большинство цветных и оттеночных МКЛ выпускаются со сроком замены в 1 месяц, хотя встречаются и однодневные косметические линзы, и ежеквартальные, и традиционные (срок замены — от 6 до 12 месяцев). Однодневные цветные МКЛ очень удобны для эпизодического ношения. Маскирующие КЛ обычно изготавливают под заказ из традиционных гидрогелевых линз или заготовок. Часть брендов цветных МКЛ выпускается с разными диоптриями, чтобы обеспечить возможность оптической коррекции.

С самой технологией изготовления цветных КЛ связаны возможные проблемы, о которых должны знать как специалисты, так и пользователи.

**Снижение кислородопроницаемости.** Поскольку у цветных КЛ есть дополнительный красочный слой, возникает логичный вопрос: как это влияет на

кислородопроницаемость? На самом деле красочный слой очень тонок, а иногда наносится в виде отдельных линий и точек. Поэтому цветные линзы от ведущих производителей пропускают кислород к роговице не хуже, чем обычные МКЛ из аналогичных материалов. Соответственно, все рекомендации и ограничения по времени ношения должны быть такими же. В середине 2014 года компания Alcon выпустила Air Optix® Colors — первые в мире «дышащие» цветные МКЛ из силиконгидрогелевого материала. При необходимости их можно даже не снимать перед сном.

Все это не относится к линзам crazy с очень высокой плотностью красочных слоев. При ношении таких КЛ для сохранения здоровья роговицы необходимы жесткие ограничения: не более 2–3 часов в сутки!

**Перекрытие зоны зрачка.** Чтобы пользователь цветных КЛ мог видеть, при нанесении красочного слоя в центре контактной линзы оставляют прозрачную зону, соответствующую зрачку. Однако при расширении зрачка или децентрации линзы край окрашенной зоны напоздаст на зрачок. Это вызывает затуманивание зрения и зрительный дискомфорт. Для борьбы с этим нежелательным эффектом производители стремятся обеспечить стабильную посадку цветных линз на глазу и по возможности расширить диаметр оптической зоны. Вполне достаточно 4–5 мм, чтобы большинство пользователей не испытывали дискомфорта при умеренном комнатном освещении.

**Отрицательное влияние красителей на ткани переднего отрезка глаза.** Эта проблема характерна только для низкокачественных цветных МКЛ. Например, проведенные в Японии исследования показали, что дешевые крейзи-линзы от малоизвестных производителей действительно могут представлять угрозу для здоровья глаз. Пигментный слой, нанесенный на внутреннюю сторону КЛ, входит в контакт с роговицей и содержит потенциально опасные вещества.

Крупные производители цветных МКЛ — Johnson & Johnson, Alcon, Cooper-Vision, Bausch + Lomb, Adria (линейка Interjo) — используют только безопасные красители, причем рисунок наносится на линзу в процессе полимеризации. Эта технология стала практически стандартом. В результате красочный слой заключен внутри материала линзы и вообще не соприкасается с роговицей.

### § 3.7. Средства ухода за КЛ

Важнейшие задачи ухода за контактными линзами: промывка и очистка, дезинфекция, увлажнение и безопасное хранение линз в контейнере, включая его дезинфицирующую обработку. В последнее время к этому добавилось улучшение комфорта в начале ношения и в течение дня. Раньше почти для каждой из этих целей применялись специальные средства ухода.

Сейчас стандартом ухода стали **многофункциональные растворы (МФР)** для мягких и/или жестких линз, совмещающие все необходимые функции. Обязательные компоненты МФР – консерванты, буферные вещества и дезинфектанты. Подбирая пациенту с ГКЛ подходящий МФР, следует обратить внимание на дезинфицирующие свойства и способность удалять с линзы белки и липиды, не ухудшая ее смачиваемость. В идеальном случае раствор должен уничтожить все

резистентные микроорганизмы при минимальной токсичности для роговицы и обеспечивать комфорт в течение всего дня.

МФР идеально подходят для линз плановой замены и очень просты в использовании. Однако встречаются аллергические реакции на содержащиеся в МФР консерванты. Поэтому **средство ухода должен подобрать врач-офтальмолог**. Если пациент испытывает дискомфорт, это достаточно часто можно исправить, просто предложив ему другой раствор. Важно помнить об этом, так как дискомфорт – главная причина отказа от КЛ. Важнейшие факторы при выборе МФР: совместимость раствора с материалом КЛ, которые носит пациент, очищающий и дезинфицирующий эффект, повышенный комфорт при ношении линз, удобство использования и доступная для пациента цена.

По статистике, от 40 до 90% пользователей нарушают как минимум одно из правил очистки КЛ. Неправильная очистка снижает эффект раствора. Три четверти пациентов не протирают и не промывают линзы раствором. Часто бывает, что пациенты не оставляют линзы в растворе на всю ночь, не используют ежедневно свежий раствор, не сушат и не заменяют вовремя контейнер для контактных линз. По некоторым данным, более трети пользователей даже не моют руки перед надеванием КЛ. Перевоспитывать потребителей бесполезно, поэтому производители стараются сделать новые МФР как можно более эффективными (даже с учетом возможных нарушений) и простыми в использовании.

Все дезинфицирующие растворы для КЛ должны соответствовать международным стандартам. В ходе испытаний проводятся тесты на различные бактерии и грибки *Candida albicans* и *Fusarium solani*. После рекомендуемой производителем процедуры ухода за КЛ количество жизнеспособных микроорганизмов на линзе должно быть на безопасном уровне. Растворы также должны уничтожать акантамебу – очень распространенную бактерию, которая обитает в почве и пресной воде. По дезинфицирующему эффекту некоторые современные МФР практически достигли уровня *пероксидных систем* (см. ниже) и при этом очень долго сохраняют антимикробную активность. В растворах *Biotrue* (*Bausch & Lomb*), *CyClean* и *Synergi* (*CooperVision*), «ОПТИ-ФРИ® *PureMoist*» (*Alcon*) и *COMPLETE RevitaLens* (*Abbott Medical Optics*), а также «ЛИКОСОЛ-2000» и «ЛИКОНТИН-УНИВЕРСАЛ» (НПФ «Медстар») можно безопасно хранить КЛ на протяжении 30 дней.

Ежедневная очистка поверхности КЛ необходима, чтобы удалить слизь, липидные, белковые и неорганические отложения, нерастворимые загрязняющие вещества. Все это ухудшает оптические свойства линз и комфорт, может причинить вред роговице или стать питательной почвой для бактерий. Отложения также мешают химической дезинфекции.

Некоторые МФР содержат очищающие вещества – предполагалось, что это позволит обойтись вообще без механической очистки линз. Само по себе хранение в современных МФР в течение нескольких часов действительно очищает КЛ. Раствор *Biotrue* позволяет добиться полноценной дезинфекции за 4 часа. И все-таки, чтобы обеспечить наилучшую очистку и дезинфекцию, необходимо также вручную протирать линзы с раствором. В 2010 году американская контролирующая организация FDA официально постановила, что производители должны

убрать с упаковок надписи по rub (англ. «не протирать») и по rinse (англ. «не промывать»). Специальный раствор «ЛИКОНТИН-С»® (НПФ «Медстар») предназначен как раз для ежедневной очистки КЛ от загрязнений («шампунь» для линз).

В составе многофункциональных растворов, кроме дезинфектантов, есть увлажняющие и смазывающие компоненты. Они добавляются для улучшения комфорта при ношении КЛ. Увлажняющие вещества (например, поливинилпирролидон) способствуют распределению раствора по всей поверхности линзы. Смазывающие вещества добавляются в раствор, чтобы улучшить смачиваемость поверхности линз. Это особенно важно для пользователей СГКЛ, обычно испытывающих дискомфорт из-за гидрофобности линз.

Например, в состав МФР «ОПТИ-ФРИ® PureMoist» входит увлажняющий агент *HydraGlyde*®. Он встраивается в поверхность линзы после обработки раствором и сохраняет ее увлажненной в течение 16 часов. В некоторых МФР — например, *Biotrue* (Bausch + Lomb), *Hu-Care* (Sauflon/CooperVision), *DenIQ Unihyal* (Soleko S.p.A.), *UNICA SENSITIVE* (Avizor) и *OPTIMED pro Active* («Оптимедсервис») — для увлажнения применяется гиалуроновая кислота. Это природный лубрикант, содержащийся в тканях глаза. Один грамм гиалуроновой кислоты способен удерживать один литр воды. В растворе *Biotrue* гиалуроновая кислота поддерживает непрерывное увлажнение КЛ 20 часов после надевания. Этот МФР также способен поддерживать белки слезы в активном состоянии, за счет чего происходит меньшая их денатурация. Это очень важно для профилактики ГПК. МФР *DenIQ Unihyal* помимо непрерывного увлажнения в течение 24 часов обеспечивает стопроцентную биосовместимость при отсутствии аллергических реакций и других побочных эффектов. МФР «ЛИКОНТИН-УНИВЕРСАЛ», «ЛИКОСОЛ-2000» и «ЛИКОНТИН-НЕО-МУЛЬТИ» (НПФ «Медстар») содержат специальные увлажняющие полимеры, которые обладают еще и смазывающим эффектом, облегчая скольжение линзы.

Для комфортного ношения контактных линз также важен параметр pH раствора. У слезы здорового глаза этот показатель колеблется в пределах 7,3–7,7. Выход за эти рамки зачастую может быть причиной дискомфорта при ношении КЛ, хотя пользователи часто не связывают его с самим раствором. Кроме того, чем точнее pH раствора соответствует pH слезы, тем более эффективной оказывается дезинфекция.

Компании НПФ «Медстар» и «Оптимедсервис» обеспечили российский рынок контактной коррекции доступными и качественными средствами ухода, не уступающими импортным. Линейка МФР *OPTIMED* часто обновлялась и сейчас представлена сразу четырьмя растворами для ухода за МКЛ. НПФ «Медстар» выпускает целый ряд универсальных и специальных растворов для мягких и/или жестких линз. Например, МФР «ЛИКОНТИН-ФОРТЕ» предназначен для жестких линз, а «ЛИКОНТИН-УНИВЕРСАЛ», «ЛИКОСОЛ-2000» и «ЛИКОНТИН-НЕО-МУЛЬТИ» — для всех видов МКЛ и ЖКЛ. НПФ «Медстар» также выпускает МФР *OKVision® SILVER* и *OKVision® Gold* (с антиоксидантом таурином, защищающим роговицу от отека и повреждений) для ухода за всеми видами мягких линз. Все МФР производства НПФ «Медстар» используются для очистки и хранения КЛ, а также улучшают переносимость линз, смазывая их и увлажняя.



**Для промывки и ополаскивания КЛ можно использовать только предназначенные для этого средства ухода (например, специальный раствор «ЛИКОСОЛ» от НПФ «Медстар» или различные МФР), но ни в коем случае не водопроводную воду!** Она может содержать микробы, следы солей и микроэлементов. Есть исключение: перед дезинфекцией жесткие КЛ можно промывать водой от остатков энзимного очистителя (см. ниже).

Такой же уход необходим и для контейнеров. Контакт контейнера для хранения КЛ с водопроводной водой не допускается, чтобы избежать инфицирования акантамебой. Для его мытья разрешается использовать кипяченую воду, но в любом случае нужна дезинфекция. После надевания КЛ контейнер следует промыть многофункциональным раствором и высушить.

Стоит помнить, что даже погибшие микроорганизмы остаются токсинами, способными вызвать воспалительную реакцию. Лучший способ избавиться от них – просушить перевернутый контейнер сухим воздухом (например, с помощью фена). В идеале контейнер для КЛ надо заменять каждый месяц, чтобы он не стал источником заражения. Некоторые контейнеры в последние годы специально выпускаются с антибактериальными нанопокровтиями из полимеров или ионов серебра.

В США к началу 2014 года четверть пациентов использовала не МФР, а **пероксидные системы** на основе 3-процентного раствора перекиси водорода. Их популярность в последние годы немного выросла. Пероксидные системы очень универсальны и эффективны, они предназначены для очистки, дезинфекции, хранения, удаления белковых и липидных отложений с КЛ всех типов. На российском рынке представлены 4 бренда: *AOSEPT PLUS (Alcon)*, *One Step (Sauflon)*, *теперь в составе компании CooperVision*, *EVER CLEAN (Avizor)* и *PIILOSET* (две разновидности — для МКЛ и ЖГКЛ).

Недостаток пероксидных систем по сравнению с многофункциональными растворами – необходимость нейтрализации перекиси водорода. Иногда это занимает длительное время. После того как дезинфекция завершена, надо применить нейтрализующие вещества, чтобы перекись превратилась в безопасный нейтральный раствор. Если пациент ошибется и на линзах останется немного перекиси, можно получить ожог тканей глаза.

**Важнейшее преимущество пероксидных систем ухода – полное отсутствие риска аллергии.** После разложения перекиси в растворе не остается действующих веществ. Другие преимущества – максимальная эффективность очистки и дезинфекции, отсутствие консервантов, совместимость с любыми материалами КЛ. При этом пероксидные системы все же более дороги и сложны в пользовании, чем МФР. Еще раз отметим, что по эффективности очистки и дезинфекции многие современные многофункциональные растворы уже не уступают пероксидным системам.

Для гарантированного удаления с поверхности КЛ всевозможных отложений используют растворимые **энзимные очистители**, которые обычно выпускаются в форме таблеток. Энзимные очистители содержат биологические катализаторы химических реакций, ведущих к распаду белков, жиров и муцина. В РФ доступны четыре бренда: импортные *TRIZYME (Sauflon)* и *ENZYME TABLETS (Avizor)*, а также

отечественные аналоги в жидкой, быстрорастворимой форме «ЛИКОНТИН-Ф» («Медстар») и OPTIMED («Оптимедсервис»).

Таблетки или жидкие очистители растворяются в физиологическом растворе или используются вместе с дезинфицирующим раствором. В составе современных МФР, как правило, есть очищающие вещества, так что при их использовании можно обойтись без энзимных очистителей. И все же это важное дополнительное средство очистки МКЛ. Для некоторых материалов ЖГКЛ энзимные очистители незаменимы.

Данный метод очистки линз рассчитан на еженедельное применение. Пользователи пероксидных систем при очистке ЖГКЛ могут использовать энзимные очистители реже, так как в этом случае линзы дольше сохраняют чистоту. Таблетку или несколько капель жидкого энзимного очистителя растворяют в любом многофункциональном растворе для ухода за КЛ. Линзы выдерживают в полученной жидкости от 2 до 9 часов, а затем, в соответствии с инструкцией производителя, ополаскивают их в МФР или выдерживают в нем несколько часов. Нужно тщательно промывать КЛ многофункциональным или специальным раствором, чтобы следы энзимного очистителя не попали в глаза!

**Увлажняющие и смазывающие капли** используются для дополнительного увлажнения и смазывания КЛ всех типов во время ношения, особенно в сухом помещении или климате. В их составе обычно есть увлажняющее вещество, консерванты и хелатообразующий агент. Некоторые из увлажняющих капель теперь производят без консервантов в форме разовой дозы или в виде дозирующей системы с неизменной монодозой. Капли для комфорта уменьшают механическое воздействие линзы на роговицу, восполняют недостаток слезы, помогают сохранить целостность слезной пленки и тем самым предотвратить развитие синдрома сухого глаза, вызванного ношением КЛ.

Применять подобные капли необходимо всем пользователям КЛ при пониженной слезопродукции или в неблагоприятных условиях внешней среды (повышенная температура и сухость, сильный ветер, значительная высота над уровнем моря, кондиционированный воздух, сигаретный дым и т. п.). На рынке РФ доступно около 25 брендов, в том числе несколько отечественных разработок. Это OPTIMED и OPTIMED pro Active с гиалуронатом натрия от «Оптимедсервис», а также серия продуктов «Медстар» «ЛИКОНТИН КОМФОРТ» и OKVision Aqua (с таурином). Причем «ЛИКОНТИН-КОМФОРТ-ФОРТЕ» — единственные увлажняющие капли, доступные на российском рынке, которые предназначены специально для пользователей жестких КЛ.

Важно отметить, что **увлажняющие и смазывающие капли специально разрабатываются для применения с контактными линзами и этим отличаются от других глазных смазок и препаратов «искусственной слезы»**. Не все подобные средства, предназначенные прежде всего для профилактики или лечения синдрома сухого глаза, совместимы с КЛ! Некоторые из них содержат вещества, разрушающие материал контактных линз, а некоторые отличаются высокой вязкостью, что влияет на качество зрения в линзах. Поэтому глазные лубриканты и искусственные слезы можно использовать при ношении КЛ только в том случае, если это указано производителем в инструкции к препарату.

## Глава 4 ОЧКОВЫЕ ЛИНЗЫ

### Введение

Подбор наилучшего типа линз для каждого назначения очков определяется:

- **выбором материала линзы;**
- **выбором формы поверхности (например, сферическая или асферическая);**
- **выбором покрытия;**
- **выбором вида и дизайна очковых линз.**

Рекомендации должны исходить не только от оптика-консультанта, но и от врача-офтальмолога, подбирающего коррекцию. Особенно это оправдано в случае высоких рефракций, сложной коррекции или наличия глазных патологий. В некоторых случаях, когда в оптику обращается «технически подкованный» заказчик, стоит обсудить с ним будущую толщину линз и возможности ее оптимизации. Обязательно надо рассказать об особенностях различных материалов и покрытий.

Оптик-консультант, хорошо ориентирующийся в ассортименте очковых линз, знающий достоинства и недостатки линз разных типов, легко решит задачу выбора оптимального варианта для клиента и будет способствовать продвижению современных высококачественных очков.

### § 4.1. Материалы и характеристики очковых линз

Очковые линзы изготавливаются из минерального стекла и пластика с различными показателями преломления (см. § 1.1.4).

#### 4.1.1. Виды материалов

**Минеральное стекло** получают путем плавления. Стекло для очковых линз состоит из следующих компонентов: 70% – заготовка для стекла (кварц), 20% – флюсующий материал (поташ и сода), 10% – отвердитель стекла (оксиды). Добавляя оксиды и фториды различных металлов (1%), можно изменить оптические свойства и цвет стекла. Например, добавление оксидов свинца, титана и лантана повышает показатель преломления, а добавление оксида и фторида бария уменьшает дисперсию. В процессе плавления стекло можно окрасить с помощью железа, кобальта, ванадия и марганца и получить солнцезащитные линзы. Для придания стеклу фотохромных свойств при его варке добавляются соединения различных металлов с фтором, хлором и бромом (галогениды).

**Оптические пластмассы (полимеры).** Для изготовления большинства линз из термоактивных полимеров используют процесс полимеризации. Будучи отвержденными под воздействием тепла и УФ-излучения, линзы не способны впоследствии изменять свою форму при повышении температуры. Основные преимущества пластиковых линз – надежность, малый вес, высокая прочность и максимальная безопасность, включая 100% защиту от УФ-излучения у линз из пластика с высоким показателем преломления.

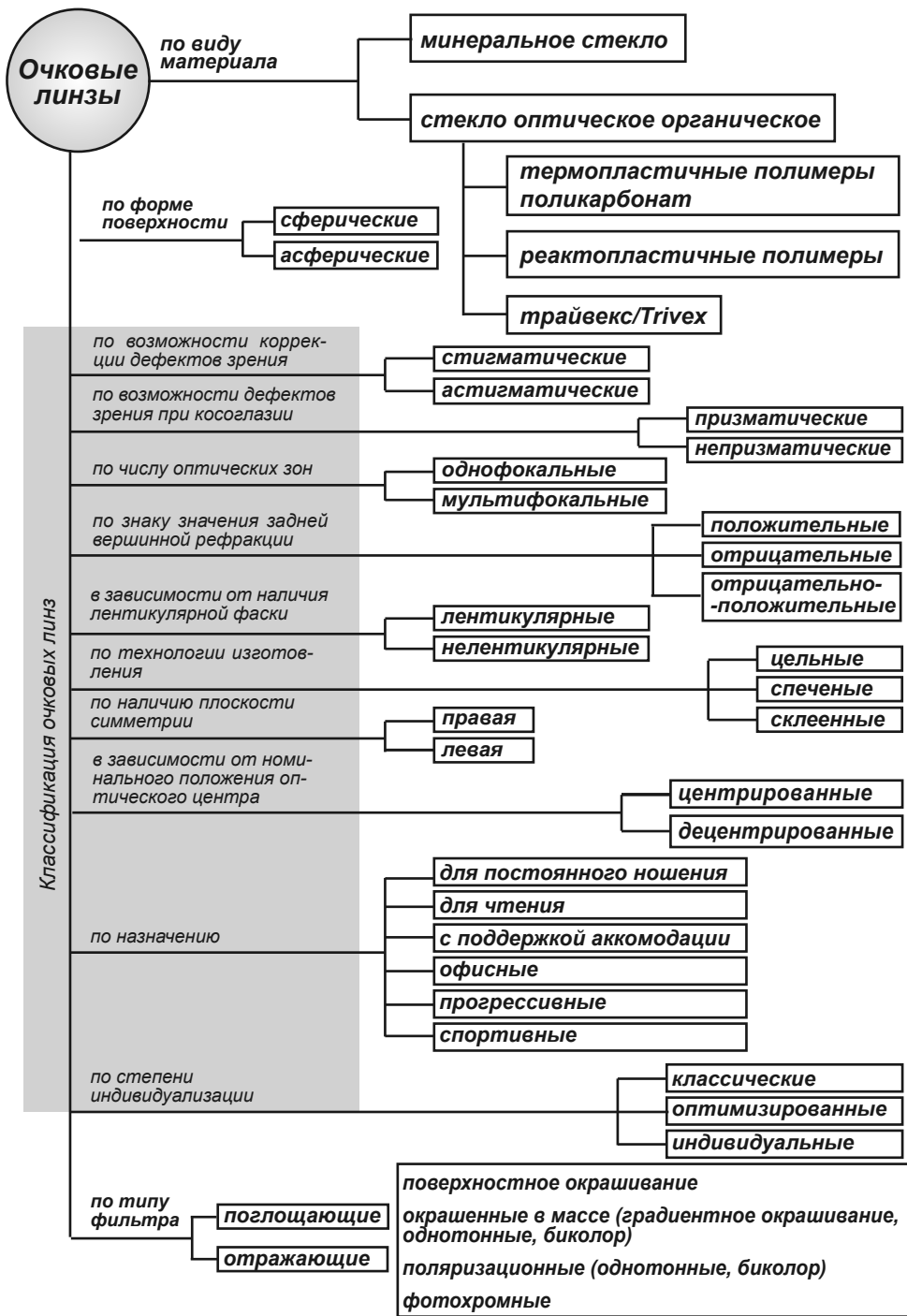


Схема 4.1. Основные типы очковых линз

**Термопластичные полимеры. Поликарбонат.** Поликарбонатные линзы отличаются повышенной прочностью, устойчивы к воздействию температур и идеально подходят для спортивных очков как наиболее ударостойкие и безопасные для сборки в оправы безободковых конструкций. В отличие от минеральных линз они полностью поглощают УФ-лучи, не требуя для этого дополнительного покрытия или окраски. Показатель преломления поликарбоната равен 1,586, но это не обязательно означает, что линзы из него получаются более тонкими, чем из CR-39: чтобы линзы из поликарбоната оставались травмобезопасными, их толщина по центру не должна быть ниже определенного минимума. Ввиду популярности этого материала некоторые лаборатории могут изготавливать поликарбонатные линзы с толщиной по центру всего 1,0 мм. При такой малой толщине можно при обработке по краю получить линзу большего размера, чем требуется, из-за прогиба линзы.

У поликарбоната низкое *число Аббе* (см. § 1.2.4), что заставляет осторожно относиться к использованию этого материала для изготовления линз со средними и высокими значениями рефракции. Обработка поликарбоната отличается от обработки других полимеров. Обычно передняя поверхность заготовки изготавливается методом литья под давлением, а вторую поверхность линзы доводят путем механической обработки.

**Трайвекс/Trivex** идеально совмещает в себе несколько важных свойств: прекрасные оптические характеристики, хорошую устойчивость и малый вес (на 10% меньше по сравнению с поликарбонатными линзами). С химической точки зрения трайвекс является промежуточным материалом между термопластами (поликарбонат, полиметилметакрилат) и реактопластами (CR-39 и высокопреломляющие материалы на его основе), что позволяет ему сочетать положительные свойства обоих типов оптических материалов. По величине показателя преломления трайвекс относится к материалам со средними значениями этого параметра ( $n_d = 1,53$ ). Интерес к данному материалу обусловлен триадой его положительных свойств: высокой устойчивостью к ударным нагрузкам; высоким *числом Аббе* – от 43 до 46; низким удельным весом – всего 1,11 г/см<sup>3</sup>, что делает трайвекс одним из самых легких на сегодняшний день материалов. Следует также отметить, что трайвекс надежно блокирует ультрафиолетовое излучение до 394 нм. Благодаря безопасности, малому весу и полной блокировке УФ-излучения этот материал идеально подходит для детей, пожилых людей, водителей, а также для установки в оправы с креплением линз на винтах и дюбелях (втулках).

#### 4.1.2. Характеристики материалов

Чтобы решить, какой материал линз следует выбрать для установки в очки, необходимо знать его оптические и физические характеристики.

Так, например, толщина, форма поверхности, вес линзы определяются показателем преломления.

Основными характеристиками материалов очковых линз считаются:

- **показатель преломления;**
- **плотность;**
- **число Аббе;**
- **отражение.**

Таблица 4.1. Показатель преломления  $n$  для различных сред

Материал	Воздух	Вода	Спирт	Кварц	Стекло	Алмаз
Показатель преломления, $n$	1,0003	1,33	1,33	1,46	1,52	2,42

**Показатель преломления** – оптическая характеристика среды, связанная с преломлением света на границе раздела двух прозрачных оптически однородных и изотропных сред при переходе его из одной среды в другую и обусловленная различием фазовых скоростей распространения света в этих средах. В настоящее время показатель преломления измеряется для длины волны е-линии ртути 546 нм (см. также § 1.1.4).

Кривизна поверхности линзы заданной силы обратно пропорциональна показателю преломления материала. Поэтому, чем выше показатель преломления материала, тем меньше кривизна и стрелка прогиба поверхности для заданного диаметра. Следовательно, чем выше показатель преломления материала, тем тоньше линза.

Наиболее часто встречающаяся классификация материалов очковых линз по показателю преломления выглядит таким образом:

- с обычным показателем преломления  $n > 1,48$ , но  $< 1,54$ ;
- со средним показателем преломления  $n > 1,54$ , но  $< 1,64$ ;
- с высоким показателем преломления  $n > 1,64$ , но  $< 1,74$ ;
- с очень высоким показателем преломления  $n > 1,74$ .\*

В настоящее время явное предпочтение при заказе очков отдают линзам из материалов с высокими показателями преломления из-за их эстетичности и высокого комфорта при ношении. Преимущества и недостатки таких линз приведены ниже.

#### **Преимущества линз из высокопреломляющих материалов**

- При любой рефракции линза будет тоньше и легче.

Таблица 4.2. Значения показателей преломления материалов очковых линз, где  $n_d$  – показатель для лучей середины спектра (длина волны желтой линии спектра  $\lambda_d=587,6$  нм),  $n_e$  – для лучей зеленой линии спектра (длина волны  $\lambda_e=546,1$  нм),  $n$  – относительный.

Стекло	$n$	$n_d$	$n_e$
	1,5	1,523	1,525
	1,6	1,600	1,604
	1,7	1,701	1,705
	1,8	1,802	1,807
	1,9	1,885	1,893
Пластик	CR-39	1,498	1,500
	trivex	1,532	1,534
	mid-index	1,560	1,589
	polycarbonate	1,586	1,589
	high-index	1,600	1,603
	high-index	1,670	1,674
	high-index	1,710	1,715
	super high-index	1,740	1,745

\* Мо Джали, «Очковые линзы и их подбор».

- Более легкие очки обеспечат более комфортное ношение.
- С увеличением показателя преломления снижается собственное увеличение линзы.

• Имеют оптимальные оптические свойства для линз асферического дизайна.

**Недостатки линз из высокопреломляющих материалов**

- Высокое отражение.
- Минеральные стекла тяжелее при малых рефракциях.
- Линзы из минеральных материалов более хрупкие.
- Большая дисперсия из-за низкого числа Аббе (см. §§1.2.3–1.2.4).
- Меньшая поверхностная прочность для линз из органических материалов (без специальных упрочняющих покрытий).
- В некоторых случаях пластиковые линзы получаются толще минеральных.

**Плотность** определяется как вес 1 см<sup>3</sup> материала. Для очковых линз выбираются материалы с минимальной плотностью **D** для обеспечения максимальной легкости и линз, и готовых очков.

Самую низкую плотность и, соответственно, вес из оптических материалов имеет трайбек. Плотность его составляет всего 1,11 г/см<sup>3</sup>

Таблица 4.3.

Сравнение толщины края и веса линз различного диаметра силой -5,0 дптр

n <sub>d</sub> / плотность	Ø40			Ø50	
	Толщина по центру, мм	Толщина по краю, мм	Вес, г	Толщина по краю, мм	Вес, г
1,498 / 1,32*	2,0	4,1	5,1	5,4	9,5
1,523 / 2,54	1,0	3,0	6,4	4,2	12,9
1,600 / 2,63	1,0	2,7	6,1	3,8	12,2
1,600 / 1,34*	1,0	2,7	3,1	3,8	6,2
1,660 / 1,35*	1,0	2,6	3,0	3,5	5,9
1,700 / 3,21	1,0	2,5	7,0	3,3	13,5
1,740 / 1,40*	1,0	2,3	2,9	3,1	5,6
1,802 / 3,65	1,0	2,3	7,5	3,0	14,3
1,885 / 4,00	1,0	2,2	7,9	2,8	14,9

n <sub>d</sub> / плотность	Ø60		Ø70	
	Толщина по краю, мм	Вес, г	Толщина по краю, мм	Вес, г
1,498 / 1,32*	7,2	16,7	9,5	27,8
1,523 / 2,54	5,9	23,9	8,0	41,8
1,600 / 2,63	5,1	22,2	6,8	38,2
1,600 / 1,34*	5,1	11,3	6,8	19,6
1,660 / 1,35*	4,7	10,6	6,1	18,1
1,700 / 3,21	4,1	22,8	5,8	41,0
1,740 / 1,40*	3,9	9,9	4,8	16,2
1,802 / 3,65	3,9	25,3	5,1	42,1
1,885 / 4,00	3,6	26,1	4,7	43,0

\* Пластиковая линза

Таблица 4.4.

Сравнение физических и оптических свойств материалов очковых линз

Свойства	Материалы серии MR			
	MR-8	MR-7	MR-10	MR-174
Показатель преломления	1,6	1,67	1,67	1,74
Число Аббе	41	31	31	32
Температура начала размягчения	118	85	100	78
Окрашиваемость	Хорошая	Отличная	Хорошая	Удовлетворительная
Устойчивость к ударной нагрузке	Хорошая	Хорошая	Хорошая	Удовлетворительная
Устойчивость к статической нагрузке	Хорошая	Хорошая	Хорошая	Удовлетворительная

Таблица 4.5. Значение плотности  $D$  для материалов очковых линз различных показателей преломления

Стекло	$n$	$n_d$	$D$ , г/см <sup>3</sup>
	1,5	1,523	2,61
	1,6	1,600	2,63
	1,7	1,701	3,21
	1,8	1,802	3,65
	1,9	1,885	3,99
Пластик	CR-39	1,498	1,32
	mid-index	1,560	1,23
	polycarbonate	1,586	1,20
	mid-index	1,595	1,36
	high-index	1,670	1,32
	high-index	1,710	1,40
	high-index	1,740	1,40

**Число Аббе** (величина, обратная относительной дисперсии материала  $\nu$ ) (см. § 1.2.4) помогает понять оптические свойства материала, а не его механические характеристики. Число Аббе определяет дисперсионные свойства материала и показывает степень ПХА – поперечных хроматических aberrаций (см. § 1.2.3), которые ощущаются в очках. Материалы по числу Аббе классифицируются как низкодисперсионные ( $\nu \geq 45$ ), среднедисперсионные ( $\nu \geq 39$ , но  $< 45$ ), высокодисперсионные ( $\nu < 39$ ).

Чем выше число Аббе, тем меньше дисперсионность материала, тем меньшее влияние хроматических aberrаций на зрение будет наблюдаться в очках. С повышением показателя преломления число Аббе высокопреломляющих материалов снижается, увеличивая дисперсионность и хроматические aberrации.

В случае, если изображение имеет низкую контрастность, цветной ореол может быть незаметным. Вместо этого высокие хроматические aberrации при-



<i>Другие оптические материалы</i>				
<i>поли-карбонат</i>	<i>акрилаты</i>	<i>материалы со средним показателем преломления</i>	<i>CR-39</i>	<i>крон</i>
1,59	1,6	1,55	1,5	1,52
28–30	32	34–36	57	59
142–148	88–89	–	57	59
<i>Не окрашивается</i>	<i>Хорошая</i>	<i>Хорошая</i>	<i>Хорошая</i>	–
<i>Хорошая</i>	<i>Удовлетворительная</i>	<i>Удовлетворительная</i>	<i>Удовлетворительная</i>	<i>Плохая</i>
<i>Хорошая</i>	<i>Плохая</i>	<i>Плохая</i>	<i>Хорошая</i>	<i>Хорошая</i>

ведут к снижению четкости изображения. Этот эффект часто называют внеосевой размытостью, из-за которой возникают жалобы такого рода: «Когда смотрю сквозь центр линзы, все вижу четко, а посмотрю чуть в сторону – и изображение становится размытым».

*Таблица 4.6. Оптические и физические характеристики некоторых полимерных материалов зарубежных фирм для изготовления очковых линз*

<i>Наименование материала (фирма)</i>	<i>Показатель преломления</i>	<i>Число Аббе</i>	<i>Плотность, г/см<sup>3</sup></i>
<i>Perfalit 1.5 (Rodenstock)</i>	<i>1,502</i>	<i>58,2</i>	<i>1,32</i>
<i>Orma 1.5 (Essilor)</i>	<i>1,502</i>	<i>58</i>	<i>1,32</i>
<i>Unor 1.5 (BBGR)</i>	<i>1,502</i>	<i>58</i>	<i>1,32</i>
<i>Trivex (PPG)</i>	<i>1,530</i>	<i>43–45</i>	<i>1,11</i>
<i>Perfalit 1.6 (Rodenstock)</i>	<i>1,600</i>	<i>40,5</i>	<i>1,30</i>
<i>Unor 1.6 (BBGR)</i>	<i>1,610</i>	<i>42</i>	<i>1,30</i>
<i>Ormix 1.61 (Essilor)</i>	<i>1,610</i>	<i>42</i>	<i>1,31</i>
<i>Eynoa (Hoya)</i>	<i>1,670</i>	<i>31</i>	<i>1,37</i>
<i>Unor 1.67 (BBGR)</i>	<i>1,665</i>	<i>32</i>	<i>1,36</i>
<i>EYRY (Hoya)</i>	<i>1,700</i>	<i>36</i>	<i>1,41</i>
<i>Asphor 1.74 (BBGR)</i>	<i>1,733</i>	<i>33</i>	<i>1,46</i>
<i>Hellplast 1,74 (Rupp&amp;Hubrach)</i>	<i>1,740</i>	<i>33</i>	<i>1,47</i>
<i>Plastic 1.76 (Tokai)</i>	<i>1,760</i>	<i>30</i>	<i>1,49</i>

**Отражение.** Коэффициент отражения материала линзы зависит от показателя преломления и рассчитывается по формуле:

$$R[\%] = \left( \frac{n_1 - n_2}{n_1 + n_2} \right)^2 \cdot 100 ,$$

где  $n_1$  – показатель преломления среды 1 (для воздуха равен 1),  $n_2$  – показатель преломления среды 2 (материала линзы).

Таким образом, для материала с показателем преломления 1,5 коэффициент отражения составит  $(0,5/2,5)^2 \times 100 = 4\%$  от каждой поверхности.

Количество света, пропускаемого линзой из материала с показателем преломления 1,5, можно рассчитать.

**Пример:**

*После потери 4% падающего света на первой поверхности линзы 96% света начальной интенсивности доходит до ее задней поверхности. Здесь на отражение теряется тоже 4% света, что дает еще 3,84% ( $0,04 \times 96$ ). Таким образом, линза пропускает 92,16% света без учета многократных полных внутренних отражений.*

### 4.1.3. Форма очковых линз

Есть еще два параметра, важных для понимания характеристик очковой линзы. Они связаны с формой линз и определяются производителем на этапе расчета поверхностей или изготовления полузаготовки, часто представляя собой ноу-хау и гордость для их создателей. Речь идет о кривизне поверхности и применяемой технологии ее обработки. Самой продвинутой на современном этапе является так называемая технология **FreeForm**, позволяющая осуществлять подбор наиболее физиологичной для человеческого глаза конструкции и базовой кривизны линзы. *Так, например, концерн Rodenstock в 2010 году практически полностью перешел на изготовление линз по технологии FreeForm в различных категориях, оставив в традиционном исполнении лишь две позиции из более чем двух десятков. Это линзы с названиями Perfalit и Cosmolit, производимые с классическими сферическими и асферическими поверхностями по традиционной технологии. Компания BBGR использует метод расчета и обработки поверхностей Digital Surfacing, разработанный для оборудования марки Satisloh.*

Теперь стоит обратиться к основам физиологии зрения и дать определение «очковым линзам оптимальной формы», потому что именно они обеспечивают не только минимум погрешностей, но также могут минимизировать отличия в форме линз с различной оптической силой. Кроме того, хорошо известны случаи, когда людям, привыкшим к линзам традиционной формы, трудно было переходить на новые сложные конструкции, например, с двойной асферикой.

#### **Очковые линзы оптимальной формы**

Очковыми линзами оптимальной формы называют линзы, у которых преломление поверхностей рассчитано из условия минимума искажений изображения. Так, например, хроматизм положения, который состоит в том, что изображения точки, образуемые лучами разной длины волны, лежат на различных расстояниях и положения главных фокусов на оптической оси не совпадают для лучей разного цвета (см. § 1.2.3), зависит от числа Аббе и может быть уменьшен. Нужно выбрать материал с максимально высоким числом Аббе. Астигматизм наклонных пучков и кривизна поля (см. § 1.1.6) могут быть уменьшены подбором формы поверхности, выбором оптимальной базовой кривизны. *Линзы такой формы принято называть **пунктальными** от немецкого слова Punktal, которое в переводе*

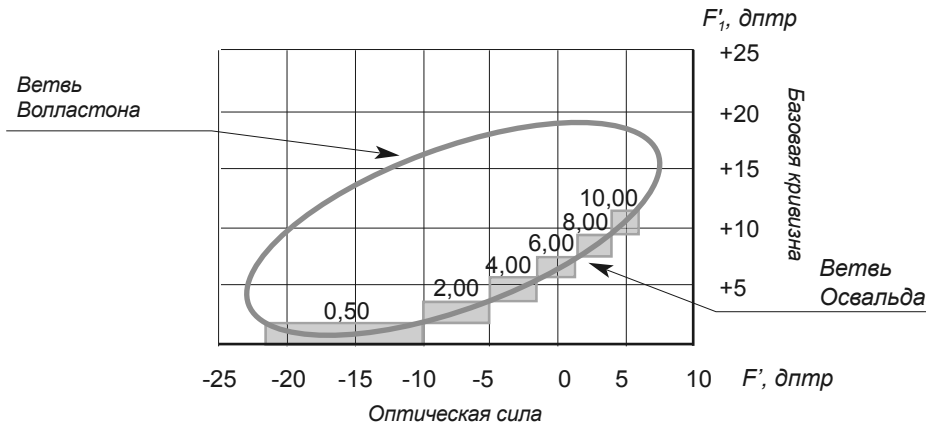


Рис. 4.1. Эллипс Чернинга для пунктальных линз из материала с  $n = 1,523$  представляет значения кривизны линз разной оптической силы при условии минимальных астигматических aberrаций

означает «формирующий точку», Такие линзы можно найти в каталогах немецких производителей Rodenstock (линза Punktulit) и Carl Zeiss (линза Punktal).

Эллипс Чернинга (рис. 4.1) графически описывает решения для конструкций линз с наименьшими астигматическими aberrациями. Принцип использования пунктальных поверхностей заложен в конструкцию первой в мире индивидуальной прогрессивной линзы Impression, выпущенной компанией Rodenstock в 2000 году. Она представляет собой конструкцию, сочетающую переднюю пунктальную сферическую поверхность подобранной базовой кривизны с прогрессивной асферической задней поверхностью (FreeForm). Самым прогрессивным методом расчета средств коррекции на сегодня является их расчет совместно с оптической системой глаза, то есть с учетом положения линзы перед глазом.

### Практические замечания

#### Особенности работы с высокопреломляющими очковыми линзами

Увеличение показателя преломления материала очковых линз всегда приводит к уменьшению их толщины и объема. Обычно вместе с ними снижается и вес, однако далеко не всегда, и это следует иметь в виду при выборе очковой линзы. Например, для минеральных очковых линз характерно значительное увеличение удельного веса (плотности) с возрастанием показателя преломления. В результате очковая линза вполнину тоньше обычной может весить столько же, сколько очковая линза из стандартного очкового стекла. Органические материалы с высоким показателем преломления характеризуются более стабильной плотностью при разных  $n_e$ , которая относительно мала. Кроме того, очковые линзы из органических материалов, особенно трайвекса и поликарбоната, гораздо более устойчивы к ударным нагрузкам. Поэтому специалисты рекомендуют назначать именно их в тех случаях, когда требуется повышенная травмобезопасность очков.

Некоторые оптики озабочены более низким значением коэффициента Аббе у высокопреломляющих очковых линз. Следует отметить, что хроматическая aberrация проявляется при отклонении зрачка от оптического центра очковых линз, и последние исследования показывают, что с этим явлением следует считаться начиная с оптической силы  $\pm 7,0$  дптр. Решить проблему хроматической aberrации помогут также оправы с небольшими проемами, несколько ограничивающими периферическую часть линзы.

При выборе больших оправ следует отдавать предпочтение материалам с коэффициентом Аббе выше 39. Данные об оптических свойствах материалов линз можно найти в каталогах производителей.

Более значимым для качества очков является увеличение отражения света от поверхностей линз из высокопреломляющих материалов. Применение антирефлексных, или просветляющих, покрытий в этом случае обязательно. Следует отметить, что практически все готовые очковые линзы из материалов с высоким показателем преломления имеют многослойные просветляющие покрытия.

**Ниже приведены рекомендации по выбору материала и дизайна линз, которые дает одна из крупных оптических сетей России с целью облегчить работу начинающих оптиков-консультантов:**

#### **При гиперметропии**

1. Низкая рефракция (от +1,00 до +3,00 дптр) – рекомендуются материалы со средним показателем преломления (1,54–1,57). В зависимости от оправы возможен асферический дизайн.

2. Средняя рефракция (от +3,00 до +6,00 дптр) – рекомендуются материалы с показателем преломления 1,60 и асферический дизайн.

3. Высокая рефракция (свыше +6,00 дптр) – рекомендуются линзы с показателем преломления более 1,60 только асферического дизайна.

#### **При миопии**

1. Низкая рефракция (от -1,00 до -3,00 дптр) – рекомендуются материалы с показателем преломления 1,54–1,59.

2. Средняя рефракция (от -3,00 до -6,00 дптр) – рекомендуются материалы с показателем преломления от 1,54–1,60. Возможно применение асферического дизайна.

3. Высокая рефракция (свыше -6,00 дптр) – рекомендуются линзы асферического дизайна с показателем преломления более 1,60. Это обеспечивает большую эстетичность при установке линз в оправу, особенно при высоких степенях аметропии.

## **§ 4.2. Классификация очковых линз. Контроль параметров**

В соответствии с национальным действующим стандартом РФ ГОСТ Р 53950-2010 «Линзы очковые нефацетированные готовые», который в п. 4 дает ссылку

на классификацию очковых линз в ГОСТ Р ИСО 13666, очковые линзы подразделяют:\*

- **по числу оптических зон;**
- **по возможности коррекции дефектов зрения** – на стигматические и астигматические.

Последние представляют собой менисковые линзы, передняя выпуклая поверхность которых имеет сферическую форму, а задняя вогнутая – торическую. Астигматическая линза имеет два значения задней вершинной рефракции в главных сечениях, расположенных в линзе взаимно перпендикулярно. Подбор значений базовой кривизны осуществляется производителем. В результате линза может быть выполнена с конструкцией так называемого плюсового цилиндра (большее значение ВС и меньшая разнотолщинность по краю линзы) или минусового цилиндра;

- **по возможности дефектов зрения при косоглазии** – на призматические и непризматические.

У призматических линз оптическая ось не проходит через полюс поверхности, вследствие чего линза приобретает характерную форму призмы. Такие линзы обладают заданным призматическим действием и положением основания призмы;

- **по знаку значения задней вершинной рефракции** – на положительные, отрицательные и отрицательно-положительные (например, для коррекции смешанного астигматизма, когда линза имеет и положительную и отрицательную рефракцию в разных сечениях);
- **в зависимости от наличия лентиккулярной фаски** – на лентиккулярные и нелентиккулярные.

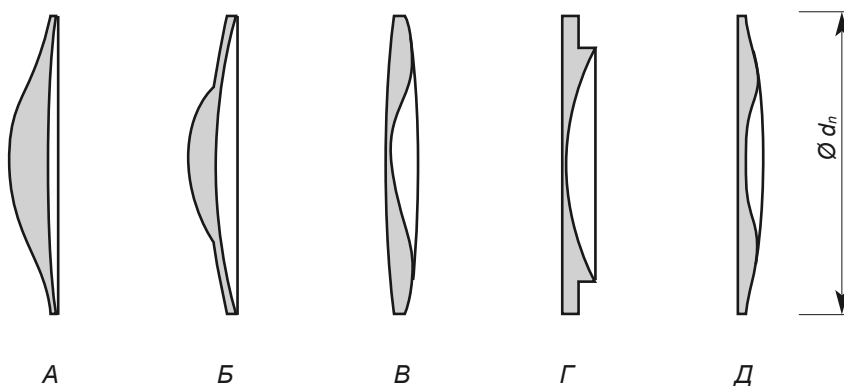


Рис 4.2. Примеры однофокальных лентиккулярных линз. А – лентиккулярно-полиномиальная асферическая линза *Perfastar*; Б – лентиккулярная линза для высоких гиперметропий *Starlenti*; В – смешанная лентиккулярная линза *Lentilux*; Г – профилированная лентиккулярная линза *Formlenti Plan*; Д – линза с выпуклым цилиндрическим лентиккулярном *Lenti concave*.

\*В данном параграфе рассматриваются наиболее актуальные пункты классификации очковых линз и даются краткие пояснения к ним. С подробной классификацией можно ознакомиться в ГОСТ Р ИСО 13666-2009 «Линзы очковые. Термины и определения»

Лентикулярные линзы имеют относительно маленькую оптическую зону, окруженную несущей частью. Для сверхвысоких рефракций, как плюсовых, так и минусовых, это часто единственно возможный тип конструкции линзы. Оптическая зона таких линз может быть как сферической, так и асферической. Современная альтернатива лентикулярным линзам – линзы смешанного лентикурно-полиномиального асферического типа. *Примером такого решения служит линза Perfaster (Rodenstock) для коррекции высоких гиперметропий до +22,0 дптр с возможностью коррекции астигматизма до 4,0 дптр, а также Specio Cristall Unifocal (BBGR) в которых при наружном диаметре 67 мм линза имеет внутренний полезный диаметр на 30% меньше, что позволяет дополнительно увеличить рефракцию оптической зоны на 2,0–3,0 дптр и пропорционально уменьшить вес линзы.* Смешанные лентикулярные линзы имеют оптическую зону, плавно переходящую в несущую. Линзы более эстетичны, размер оптической зоны зависит от силы линзы и уменьшается с ее увеличением. *Примером такой конструкции служит также линза Lentilux (Rodenstock) для коррекции высоких миопий до -24,0 дптр с цилиндром до 4,0 дптр.*

Другой тип лентикулярных конструкций – профилированные лентикулярные линзы, оптическая зона которых повторяет форму проема оправы. Каждая такая линза изготавливается под оправу индивидуально. *Примером может служить линза Formlenti Plan (Rodenstock); линзы Specio Concave и Specio Convexe (BBGR) с диапазоном силы от -22,0 до +28,0 дптр и цилиндром до 12,0 дптр.* Благодаря применению различных дополнительных опций (оптическая апертура, двояковогнутые, двояковыпуклые, специальная овальная форма, оптимизация базовой кривизны и толщины) данные линзы могут быть максимально адаптированы к оправе при условии высокого качества зрения и эстетики очков.

- **по технологии изготовления** – на цельные, спеченные, клеенные;
- **по наличию плоскости симметрии** – на правую и левую (многие линзы со сложными расчетными поверхностями сегодня изготавливаются отдельно для коррекции правого глаза и для коррекции левого глаза);
- **в зависимости от номинального положения оптического центра** – на центрированные и децентрированные.

Традиционно все линзы прогрессивного действия изготавливаются в децентрированном варианте. *Так, новейшая прогрессивная линза с моделируемым дизайном Impression FreeSign 3 (Rodenstock) может предложить любую пре-децентрацию в диапазоне от 0 до 5 мм, при этом величина децентрации в правой и левой линзе может быть разной.*

Технологически децентрация, или смещение оптического центра либо ссылочной (базовой) точки, осуществляется за счет введения в линзу призматического действия. Призматическую очковую линзу, с другой стороны, можно рассматривать как децентрированную оптическую систему, причем значение призматического действия очковой линзы определяется углом отклонения луча, идущего вдоль ее геометрической оси, после выхода из линзы. Призматический эффект  $P$ , выраженный в призматических диоптриях, в точке, находящейся на расстоянии  $C$  в сантиметрах от оптического центра линзы с силой  $F'$ , задается соотношением

децентрирования  $P = F' \times C$  (**правило Прентиса**). Таким образом, призматический эффект в точке, расположенной на 6 мм ниже оптического центра линзы с рефракцией +5,00 дптр, равен  $0,6 \times 5,00 = 3 \Delta$  (основание призмы направлено вверх). Призматический эффект в точке, расположенной на 8 мм правее оптического центра линзы с рефракцией -4,00 дптр, равен  $0,8 \times 4,00 = 3,2 \Delta$  (основание справа).

Направление основания призм в этих двух случаях можно определить, установив, где располагается более толстая часть линзы относительно рассматриваемой точки. При оптической силе +5,00 дптр самая толстая часть линзы находится в оптическом центре, и он всегда выше точки, в которой определяется призматический эффект; здесь основание призмы направлено вверх. При силе -4,00 дптр оптический центр линзы находится в самой тонкой ее части и располагается на вершине призмы. Так направление основания призмы совпадает с направлением смещения точки относительно оптического центра.

Использование компьютерных программ по расчету децентрированных оптических систем позволяет существенно упростить расчет.

### **Технические требования к линзам**

Предельно допустимые отклонения оптических характеристик от их значений задаются в конструктивных базовых точках очковых линз. Для линз прогрессивного действия соответствие значения рефракции проверяется в зоне установочного креста, в ссылочной точке для дали, указанной производителем, а для офисных линз – в ссылочной точке для близи, указанной производителем. Контроль величины и положения базы призматического действия производится в ссылочной точке призмы, положение которой также определяет производитель.

Значения предельно допустимых отклонений рефракции однофокальных очковых линз, зон для дали многофокальных и прогрессивных очковых линз приведены в таблице 1 ГОСТ Р 53950-2010 (см. ниже).

В соответствии с предельно допустимыми отклонениями рефракции, указанными в таблице, нормируются только значение рефракции в первом главном меридиане и значение цилиндра, и только при отклонении в одну сторону (увеличении или уменьшении). В результате получаем гораздо более широкий диапазон действительных (измеренных) значений рефракции годной линзы.

#### *Предельно допустимые отклонения рефракции однофокальных линз и зон для дали многофокальных линз от номинальных значений \**

*В диоптриях*

Рефракция поверхности на втором главном меридиане	Предельное отклонение на первом главном меридиане	Предельное отклонение абсолютного значения астигматической разности (цилиндра)			
		от 0,00 до 0,75 включ.	от 0,75 до 4,00 включ.	от 4,00 до 6,00 включ.	более 6,00
От 0,00 до 3,00 включ.	±0,09	±0,09	±0,12	±0,18	-
От 3,00 до 6,00 включ.	±0,12	±0,12	±0,12	±0,18	±0,25
От 6,00 до 9,00 включ.	±0,12	±0,12	±0,18	±0,18	±0,25
От 9,00 до 12,00 включ.	±0,18	±0,12	±0,18	±0,25	±0,25
От 12,00 до 20,00 включ.	±0,25	±0,18	±0,25	±0,25	±0,25
Более 20,00	±0,37	±0,25	±0,25	±0,37	±0,37

**Предельно допустимые отклонения рефракции зоны для дали прогрессивных  
очковых линз от номинальных значений**

В диоптриях

Рефракция поверхности на втором главном меридиане	Предельное отклонение на первом главном меридиане	Предельное отклонение абсолютного значения астигматической разности (цилиндра)			
		от 0,00 до 0,75 включ.	от 0,75 до 4,00 включ.	от 4,00 до 6,00 включ.	более 6,00
От 0,00 до 6,00 включ.	±0,12	±0,12	±0,18	±0,18	±0,25
От 6,00 до 9,00 включ.	±0,18	±0,18	±0,18	±0,18	±0,25
От 9,00 до 12,00 включ.	±0,18	±0,18	±0,18	±0,25	±0,25
От 12,00 до 20,00 включ.	±0,25	±0,18	±0,25	±0,25	±0,25
Более 20,00	±0,37	±0,25	±0,25	±0,37	±0,37

\* Таблица 2 из ГОСТ Р 53950-2010

**Пример:**

Для однофокальной линзы, изготовленной по рецепту  $Sph +1,0 Cyl +0,5 Ax 90$ , данные для измерения (с учетом принципа *position of wear* – «положение ношения»), которые указываются в дополнительной строке на конверте линзы, выглядят так:

**Sph 1,05 Cyl +0,57 Ax 93**

Определяем допуски по таблице 1 из ГОСТ (с. 123):

- рефракция на втором главном меридиане – номинальная +1,5, действительная  $1,05 + 0,57 = +1,62$  (первая строка – от 0,0 до 3,0 включительно);
- допуск на рефракцию на первом главном меридиане –  $\pm 0,09$ ;
- допуск на значение цилиндра –  $\pm 0,09$ .

Пусть при измерении рефракция на первом главном меридиане составила 1,14 дптр. Линза годна, так как отличается от рефракции в положении ношения на +0,09 дптр, что находится в пределах допуска. При измерении рефракция на втором главном меридиане составила 1,80 дптр – данный параметр в соответствии с ГОСТ не нормируется. Измеренное значение цилиндра составило 0,66 дптр – линза годна, так как отличается от рефракции в положении ношения на +0,09 дптр, что находится в пределах допуска.

**Вывод: линза является годной даже при отклонении +0,30 дптр рефракции во втором главном меридиане от данных рецепта, написанных на конверте.**

Таким образом, для астигматических линз нормирование и определение годности линзы по соответствию рефракции производится по данным рефракции в первом главном меридиане и по значению цилиндра.

Стоит обратить внимание на то, что для прогрессивных линз допуски на рефракцию в зоне для дали увеличены, по сравнению с аналогичными допусками в однофокальных и многофокальных линзах малых рефракций (до 3,0 дптр).

Проверку следует осуществлять в соответствии с предельно допустимыми отклонениями рефракции для дали прогрессивных очковых линз по таблице 2 ГОСТ Р 53950-2010 (см. выше на с. 124).

Аналогично следует подходить к проверке величины аддидации, которая в новом ГОСТе названа дополнительной рефракцией для близи. Если линза имеет



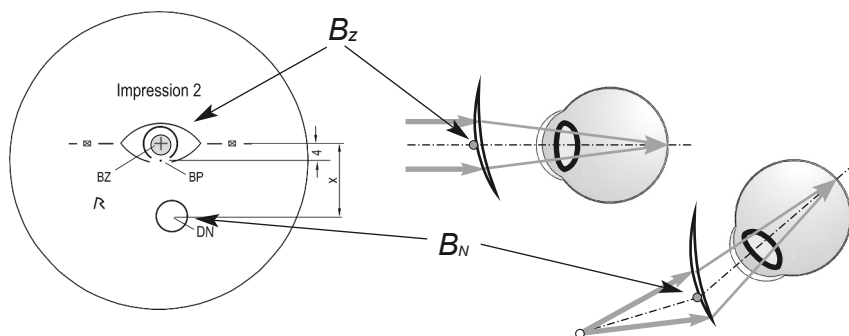


Рис. 4.3. Расчет по принципу *position of wear* (положение ношения) позволяет учитывать положение линзы перед глазом уже при расчете линз.  $B_z$  – центр для дали,  $B_n$  – центр для близи.

пересчет рефракции для близи, допустимые отклонения следует рассматривать относительно пересчитанной рефракции для близи, указанной в дополнительной третьей строке наклейки конвертов и обозначенной знаком *N* (*near* – близь).

Контроль значений рефракции осуществляется на диоптриметре при условии его обязательной предварительной настройки. В ГОСТ Р 53950-2010 в п. 5.2.1.2 есть указание на особенности проверки правильности исполнения рефракции в линзах с применением поправки значения рефракции в положении ношения. В этом случае предельно допустимые значения относятся к пересчитанным по принципу *position of wear* значениям, указываемым изготовителем на конверте линзы отдельной строкой.

Итак, прежде чем проверять на диоптриметре линзы, изготовленные с поправкой на положение ношения, следует произвести его настройку. Настройки диоптриметра при контроле таких линз включают: установку в меню прибора соответствующего значения числа Аббе для контролируемой линзы, установку шага 0,01 дптр по сфере и цилиндру, 1° для положения главных сечений и базы призм, установку системы измерения призматического действия в варианте «призма – база» (*Pr-Basic*).

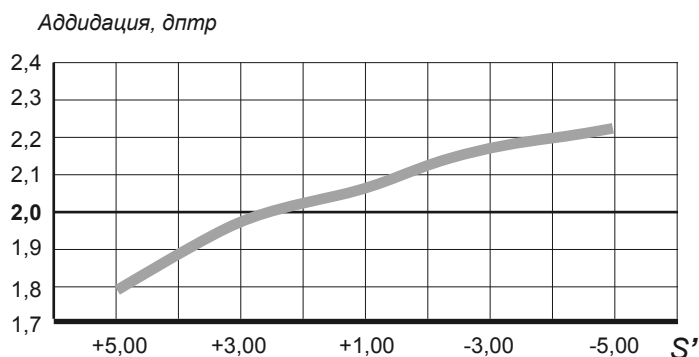


Рис. 4.4. Результирующее значение аддидации при разной силе корректирующей линзы в реальной позиции ношения (принцип *position of wear*) для линз с рефракцией от +5,0 до -5,0 дптр

Рисунок 4.4 показывает, как будет меняться значение аддидации в позиции ношения (по сравнению с классическими условиями подбора сферической добавки для близи) для прогрессивных линз в диапазоне рефракций от  $-5,0$  до  $+5,0$  дптр при установке линз перед глазом с пантоскопическим наклоном  $8$  град, с учетом изгиба оправы  $4$  град, и при вертексном расстоянии  $15$  мм.

Следует помнить, что расчет распределения рефракции в реальном положении линзы перед глазом (*position of wear*) приводит к необходимости проверять данные заказа на диоптриметре не в оптическом центре, а в специальных ссылочных точках для дали и близи. Причина этого – отличия в ходе лучей и положении линзы при измерении на диоптриметре, в кабинете при подборе и в готовых очках.

**Значительные преимущества применения принципа *position of wear* (положение ношения):**

- полное соответствие силы линзы, которую ощущает глаз для каждого направления взора, данным рецепта;
- меньшее влияние положения линзы в выбранной оправе на качество зрения;
- гораздо более легкий выбор оправы для линз любой категории.

Для определения годности линзы данные, измеренные после настройки диоптриметра, сравниваются с предельно допустимыми значениями из *таблицы 1* или *таблицы 2* в зависимости от типа линзы и значения рефракции.

*Предельно допустимые отклонения призматического действия от номинальных значений \**

*В призмённых диоптриях*

Призматическое действие	Линзы			
	Однофокальные	Многофокальные и прогрессивные		
		По горизонтали	По вертикали	
От 0,00 до 2,00	$\pm(0,25+0,1F'_{vmax})$	$\pm(0,25+0,1F'_{vmax})$	$\pm(0,25+0,05F'_{vmax})$	
От 2,00 до 10,00	$\pm(0,37+0,1F'_{vmax})$	$\pm(0,37+0,1F'_{vmax})$	$\pm(0,37+0,05F'_{vmax})$	
Более 10,00	$\pm(0,50+0,1F'_{vmax})$	$\pm(0,50+0,1F'_{vmax})$	$\pm(0,50+0,05F'_{vmax})$	

Примечание:  $F'_{vmax}$  – наибольшее абсолютное значение рефракции на главных меридианах.

\* Таблица 5 из ГОСТ Р 53950-2010.

Предельно допустимые значения величины призматического действия приведены в *таблице 5* из ГОСТ Р 53950-2010 (см. выше). Эта же таблица используется и для контроля величины децентрации в линзах или несоответствия положения конструктивной базовой точки и расчетной у непризматических линз.

Оценку годности линзы осуществляют, измеряя значение нежелательного призматического действия и сравнивая его с данными расчета по *таблице 5*.

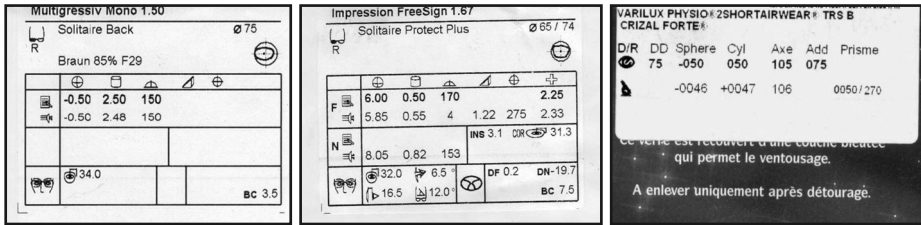


Рис. 4.5. Конверты

Слева направо: 1. Конверт оптимизированной однофокальной линзы Multigressiv Mono с данными пересчета рефракции по принципу position of wear.  
 2. Конверт индивидуальной прогрессивной линзы Impression FreeSign с данными пересчета рефракции в индивидуальном положении линзы перед глазом. Строчка для близи (графа N – близи) демонстрирует другую уникальную технологию расчета линз EyeLT от Rodenstock – поправку параметров астигматической линзы в соответствии с законом Листинга для близи и эффективным астигматизмом. Значение COR PD – также результат поправки данных горизонтального центрирования на значительный угол изгиба оправы 12°.  
 3. Конверт линзы Essilor Varilux Physio 3.0 также имеет дополнительную строчку с данными пересчета линзы в положении ношения.

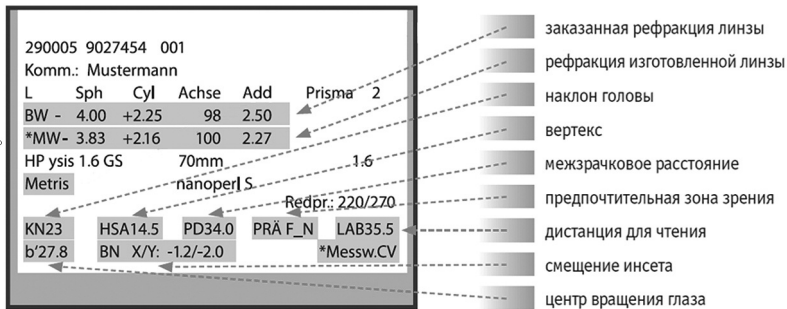


Рис. 4.6. Расшифровка данных конверта индивидуальной прогрессивной линзы Rupp & Hubrach HP YSIS 1.6. Здесь также есть вторая строчка пересчитанных в положение ношения данных рецепта.

**Пример:**

При контроле линзы, изготовленной по рецепту Plan Cyl -0,75 Ax 35°, в геометрическом центре величина призматического действия составила 0,3 пр. дптр. Является ли линза бракованной?

Рассчитываем значение допустимого отклонения по первой строчке первого столбика в таблице 5 ГОСТ. В нашем случае – однофокальная непризматическая линза, значит, призма равна нулю. Допустимая призма = 0,25 + 0,1 × 0,75 = 0,325 пр. дптр, что превышает измеренную в линзе величину на 0,3 пр. дптр. Следовательно, линза пригодна к установке. Обратите внимание: величина децентрации здесь не имеет значения, тем более что при маркировке у plano-цилиндрических линз точное определение положения оптического центра технически невыполнимо.

### § 4.3. Однофокальные линзы

Однофокальные линзы, как видно из названия и классификации, имеют одну оптическую зону и применяются в очках для постоянного ношения в случае аметропий или в очках для чтения при пресбиопии.

Разработка программ компьютерного конструирования и появление оборудования с ЧПУ произвели революцию в дизайне современных очковых линз, позволив с высокой точностью воспроизводить поверхности практически любой формы. Поэтому сегодня, кроме традиционного разделения по формам на стигматические (коррекция миопии, гиперметропии) и астигматические (коррекция астигматизма), различают **сферические** и **асферические** линзы. Последние характеризуются более плоской кривизной передней поверхности, улучшенными оптическими свойствами и меньшей толщиной. Такие линзы позволяют при взгляде в сторону иметь такое же качество зрения, что и при взгляде через оптический центр. Асферическая форма позволяет также уменьшить вес очков, особенно при средней и высокой гиперметропии. Так, пластиковая асферическая линза примерно на 10% легче аналогичной сферической из CR-39, а асферическая линза 1.67 тоньше, чем 1.6, примерно на 15%, а значит, и легче.

**Интересный факт:** асферическая линза из минерального стекла *Cosmolux 1.6* от *Rodenstock* благодаря серьезной экономии объема линзы и невысокой плотности особого стекла при рефракциях свыше +4,0 дптр оказывается легче пластиковой линзы из CR-39.

**Примеры:** Для демонстрации многообразия однофокальных линз ниже приводятся таблицы эксплуатационных свойств однофокальных линз *Rodenstock*, *BVGR*, *ESSILOR*.

Табл. 4.7. Эксплуатационные свойства однофокальных линз

<b>Линзы из минерального стекла Rodenstock</b>			
Свойства	Однофокальные дизайны	Название линз	Описание для потребителей
Различные показатели преломления	Сферические	Perfa UV 1.5	Чем выше показатель преломления материала, тем тоньше линзы, даже с высокими рефракциями. Широкий диапазон изготовления.
		Perfalux 1.6	
		Perfalux 1.6	
		Perfalux 1.8	
	Асферические Лентикулярные	Perfalux 1.9	Хорошие оптические свойства благодаря оптимизации базовой кривизны и расчету геометрии поверхностей.
Cosmolux 1.6			
		Cosmolux 1.6	С увеличением показателя преломления линзы более эстетичны благодаря плоскому профилю.
Высокая твердость поверхности			На линзах образуется меньше царапин, следовательно, они дольше служат.
Низкая дисперсия даже у материалов с высокими показателями преломления			Число Аббе варьируется от 58,3 до 30,4 в зависимости от показателя преломления. Меньше хроматических аберраций, пациенты лучше адаптируются даже к линзам со сверхвысокими показателями преломления.
При производстве загрязнение окружающей среды сведено к минимуму.			Простая утилизация побочных продуктов производства.

Свойства	Однофокальные дизайны	Название линз	Описание для потребителей
Защита от УФ-излучения			100% защита от УФ-излучения гарантирована для диапазона до 350 нм (в фотохромных линзах и материале с адсорбером, поглощающим до 350 нм УФ).
Наличие фотохромных свойств	Сферические Асферические	Perfa UV Colormatic Perfa UV Colormatic Cosmolux 1.6 CM	Фотохромные линзы, окрашенные в массу. Затемнение от 15 до 75%. Широкий диапазон изготовления. Скорость и равномерность затемнения зависят от толщины линзы и оптической силы. Разрешено вождение автомобиля днем в любой фазе затемнения и ночью.
Термостойкость			Линзы не деформируются и не изменяют оптические свойства при высоких температурах.
<b>Органические линзы Rodenstock</b>			
Различные показатели преломления (от 1,5 до 1,76)	Сферические  Асферические	Punktulit 1.5 Organic 1.5 Perfalit 1.5 Perfalit Trivex® Perfalit Polycarbonate Perfalit 1.6 Perfalit 1.67 Cosmolit 1.5 Cosmolit 1.6 Cosmolit 1.67 Cosmolit 1.74 Cosmolit 1.74	Чем выше показатель преломления, тем тоньше линзы, даже при высоких рефракциях. Широкий диапазон изготовления. Хорошие оптические свойства поверхностей благодаря оптимизации базовой кривизны и расчету геометрии. С увеличением показателя преломления линзы более эстетичны благодаря плоскому профилю. Использование пластика с высоким показателем преломления.
Низкая плотность			Легкие, удобные очки. Плотность варьируется от 1,1 до 1,47 г/см <sup>3</sup> в зависимости от показателя преломления и вида пластика.
Высокая ударпрочность			Отличаются безопасностью. Отлично подходят для спортивных и детских очков.
Огромные возможности окрашивания			Равномерно окрашиваются в растворах в любой желаемый цвет независимо от величины рефракции. Возможно нанесение специальных фильтров с увеличением контрастности и медицинского назначения.
Наличие фотохромных свойств	Сферические Асферические	Perfalit CM IQ® 2 1.54 Perfalit CM IQ® 2 1.6 Perfalit CM IQ® 2 Sun 1.6 Cosmolit CM IQ 2 1.6 Cosmolit CM IQ 2 1.67	Фотохромные линзы изготовлены по технологии поверхностного фотохромного лака (в материале 1.54). Затемнение от 5 до 90% в зависимости от материала и типа линзы. Широкий диапазон изготовления. Скорость активации и дезактивации заметно выше, чем у минеральных. Разрешено вождение автомобиля днем в любой фазе затемнения и ночью (исключение – ColorMatic IQ Sun). Минимальный срок эксплуатации – от 2 до 4 лет. Возможна установка линз при анизометропии. Для улучшения эксплуатационных характеристик предлагаются только с покрытиями.
Защита от УФ-излучения			Поглощают УФ-излучение лучше, чем стекло, гарантируют полную защиту до 380 нм, эффективно защищая глаза при любых погодных условиях. 100% защита от УФ гарантирована для диапазона до 350 нм для пластика 1,5 и до 400 нм для всех остальных пластиков.*
Низкая твердость поверхности			Для повышения твердости поверхности и устойчивости к царапинам рекомендуется нанесение покрытий.

\*С июля 2016 года все рецептурные линзы Rodenstock имеют защиту 400 нм.

## Органические линзы BBGR

Свойства	Однофокальные дизайны	Название линз	Описание для потребителей
Различные показатели преломления (от 1,5 до 1,74)	Сферические	Unor 1.5 Unor 1.5 Kid Trivex® Tillium Unor 1.6 Unor 1.67	С увеличением индекса преломления уменьшается толщина и вес линзы. Широкий диапазон изготовления. Хорошие оптические свойства благодаря асферизации поверхности линз.
	Асферические	Specio Asphor 1.5 Asphor 1.6 Asphor 1.67 Asphor 1.74 Aspheo 1.5–1.74	С увеличением индекса преломления линзы более эстетичны. Линза из поликарбоната (Tillium) в России с 2015 года не назначается в связи с низким числом Аббе.
Низкая плотность			При изготовлении очки получаются легкие. Плотность варьируется от 1,11 до 1,46 г/см <sup>3</sup> в зависимости от показателя преломления и вида пластика.
Высокая ударпрочность			Отличаются безопасностью по сравнению с минеральными линзами. Обязательны для спортивных и детских очков.
Огромные возможности окрашивания			Равномерно окрашиваются в растворах в любой желаемый цвет независимо от величины рефракции. Возможно нанесение специальных фильтров с увеличением контрастности и медицинского назначения. Возможно использование ультрамодных зеркальных покрытий (14 видов).
Наличие фотохромных свойств	Сферические	Unor 1.5 Trivex® Unor 1.6	Фотохромные линзы изготовлены по технологии Transitions. Затемнение от 5 до 95% в зависимости от материала и типа линзы, вида фотохромной технологии.
	Асферические	Asphor 1.6 Asphor 1.67 Asphor 1.74 Aspheo 1.5–1.67	Широкий диапазон изготовления. Один из лучших показателей скорости активации и дезактивации. Разрешено вождение автомобиля днем в любой фазе затемнения и ночью. Оптимальны при анизометропии и высоких степенях аметропии. Возможно нанесение и упрочняющих, и мультипокрытий.
Защита от УФ-излучения			100% защита от УФ гарантирована для диапазона до 350–380 нм в индексе 1.5 и до 400 нм для всех остальных материалов и индексов. В фотохромных линзах – до 400 нм.
Низкая твердость поверхности			Для повышения твердости поверхности и устойчивости к царапинам рекомендуется нанесение покрытий.
<b>Органические линзы ESSILOR</b>			
Различные показатели преломления (от 1,5 до 1,74)	Сферические	Orma 15 Ormix 1,6 Stylis 1,67 Airwear (поликарбонат) Orma Junior Airwear Junior	Широкий диапазон изготовления. Могут быть использованы для оправ любого типа. С увеличением показателя преломления толщина линзы уменьшается, линзы более эстетичны благодаря плоскому профилю.
	Асферические	Essilor f-360° Ormix 1,6 Essilor f-360° Stylis 1,67 Essilor f-360° Lineis 1,74 AS Ormix 1,6 AS Stylis 1,67 AS Lineis 1,74 AS Airwear (поликарбонат)	Хорошие оптические свойства благодаря оптимизации базовой кривизны и расчету геометрии поверхностей. Применение высокоиндексных материалов для всех дизайнов очковых линз.
	Лентикулярные	Aspheric Lenticular Orma Tele Aspheric Lenticular Orma Orma Omega Orma	

Свойства	Однофокальные дизайны	Название линз	Описание для потребителя
Низкая плотность			Легкие, удобные очки. Плотность варьируется от 1,2 до 1,47 г/см <sup>3</sup> в зависимости от показателя преломления и вида пластика.
Высокая ударопрочность			Отличаются безопасностью. Отлично подходят для спортивных и детских очков.
Огромные возможности окрашивания			Равномерно окрашиваются в растворах в любой желаемый цвет, независимо от величины рефракции.
Наличие фотохромных свойств	Сферические	Transitions. VII Orma 15 Ormix 1,6 Stylis 1,67	Фотохромные линзы изготовлены по технологии Transitions. Широкий диапазон изготовления в различных дизайнах и материалах.
	Асферические	Airwear (поликарбонат) Transitions XTRActiv Essilor 360° Ormix 1,6 AS Ormix 1,6 AS Stylis 1,67 AS Airwear (поликарбонат)	Степень затемнения от 5 до 90%. XTRActiv – степень затемнения от 11 до 90%. XTRActiv темнеют под действием видимого излучения до 50%, незаменимы при вождении автомобиля. Скорость активации и дезактивации заметно выше, чем у минеральных линз. Возможна установка линз при анизометропии. Для улучшения эксплуатационных характеристик предлагаются только с покрытиями.
Наличие поляризационных свойств		Xperio Orma 15 Airwear Xperio	Блокируют слепящие лучи поляризованного света. Повышают контрастность восприятия и остроту зрения. 100% защита от УФ излучения.
Защита от УФ-излучения		Для всех типов очковых линз	Поглощают УФ-излучение лучше, чем стекло. 100% защита от УФ гарантирована для диапазона до 355 нм для пластика 1.5, до 385 нм – для поликарбоната, до 400 нм – для всех остальных пластиков. В фотохромных линзах из материала 1.5 – до 393 нм. В фотохромных линзах из поликарбоната – до 388 нм. В фотохромных линзах из материалов 1.6–1.67 – до 400 нм. Для линз Xperio защита от 385 нм в материале 1.5, от 397 нм в поликарбонате, до 400 нм – в других пластиках. Для полной защиты от УФ-излучения рекомендованы покрытия Crizal UV.
Низкая твердость поверхности			Для повышения твердости поверхности и устойчивости к царапинам рекомендуется нанесение покрытий.
<b>Органические линзы ООО НПФ «Медстар»</b>			
Различные показатели преломления (от 1,5 до 1,67)	Сферические	LENSSTAR 1.5 LENSSTAR 1.56 LENSSTAR 1.6	1. Широкий диапазон изготовления. Могут быть использованы для оправ любого типа.
	Асферические	LENSSTAR 1.67	2. С увеличением показателя преломления уменьшается толщина линзы; в готовом виде получаем эстетические и комфортные в использовании очки. 3. Хорошие оптические свойства. 4. Применение всех материалов только с покрытиями.
Защита от УФ излучения			100% защита от УФ излучения гарантирована для диапазона до 400 нм (кроме индекса 1,5). Поглощают УФ-излучение в количестве, достаточном, чтобы эффективно защищать глаза в нормальных погодных условиях.

Свойства	Однофокальные дизайны	Название линз	Описание для потребителей
Высокая твердость поверхности			На линзах образуется меньше царапин, следовательно, они дольше служат. Безопасные.
Наличие фотохромных свойств	Сферические	LENSSTAR 1.56 Photochromic SunSensors	Фотохромные линзы изготовлены из материала SunSensors. Широкий диапазон изготовления в различных дизайнах и материалах. Затемнение от 15 до 75%. Скорость и равномерность затемнения зависят от толщины линзы и оптической силы. Время, необходимое для возвращения в начальное состояние после нахождения на солнце, составляет всего 2–3 минуты. Рекомендовано вождение автомобиля днем в любой фазе затемнения.

Как видно из таблицы 4.7, линзы асферического дизайна делаются из самых разных материалов, включая фотохромные, пластик и минеральное стекло.

### Асферические линзы

Асферические поверхности, как известно, характеризуются меньшим прогибом и уменьшением кривизны в направлении от центра к краю. Прогиб вращательно-симметричной асферической поверхности (рис 4.7) определяется степенью асферичности – показателем  $p$ . Так, для гиперболической поверхности с показателем  $p = -2,0$  у линзы силой  $+6,0$  дптр из CR-39 прогиб уменьшится до 6,82 мм при диаметре линзы 70 мм (по сравнению с с 7,74 мм у линзы того же диаметра со сферической поверхностью при  $p = 1,0$ ).

Изменение значения базовой кривизны для разных рефракций можно проследить по данным таблицы 4.8. Обратите особое внимание на близость значений базовых кривых для производства линз положительных рефракций. При

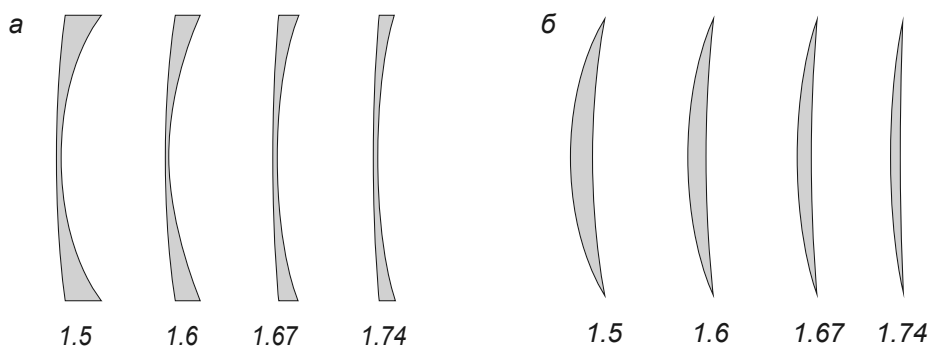


Рис. 4.7. Уменьшение прогиба и толщины а) отрицательной линзы с силой  $-6,00$  D и б) положительной линзы с силой  $+6,00$  D



Таблица 4.8.  
Диапазоны значений базовой кривизны для типичных асферических линз

Номинальная базовая кривизна	Типовой диапазон значений рефракции
+0,50	от -10,00 до -5,50
+1,50	от -5,25 до -2,50
+2,50	от -2,25 до -0,25
+3,50	от 0,00 до +1,00
+4,00	от +1,25 до +2,00
+5,00	от +2,25 до +4,00
+6,00	от +4,25 до +5,25
+7,00	от +5,50 до +6,00
+8,00	от +6,25 до +7,00

этом каждый базовый профиль обеспечивает определенный узкий диапазон рефракций линзы. Это существенная особенность асферических линз. Дело в том, что когда рефракции линз для обоих глаз различаются и для линз требуются различные базовые поверхности, важно, чтобы для сохранения эстетичности готовых очков кривизна линз не слишком отличалась.

Асферические линзы позволяют при взгляде в сторону иметь такое же качество зрения, что и при взгляде через оптический центр. Сопоставление призматического эффекта  $P, \Delta$  и сферических aberrаций  $sph\ ab, мм$  для сферических и асферических линз рефракций +4,0 дптр и -4,0 дптр, представленное в таблице 4.9, позволяет увидеть некоторое снижение уровня aberrаций в линзах асферического дизайна при заметных отклонениях линии взгляда от оптического центра линзы. Столбцы со 2-го по 8-й дают истинное призматическое действие, получаемое при повороте глаза для наблюдения через внеосевые точки. Считается, что обратная вершина линзы находится на расстоянии 27 мм относительно центра вращения глаза.

Таблица 4.9. Призматический эффект  $P, \Delta$  и сферические aberrации  $sph\ ab, мм$  для сферических и асферических линз рефракций +4,0 дптр. и -4,0 дптр

Расстояние от оптического центра, мм	Линзы +4,00 дптр				Линзы -4,00 дптр			
	Сферическая		Асферическая		Сферическая		Асферическая	
	$P, \Delta$	$sph\ ab, мм$	$P, \Delta$	$sph\ ab, мм$	$P, \Delta$	$sph\ ab, мм$	$P, \Delta$	$sph\ ab, мм$
2,0	0,77	-0,17	0,78	+0,19	0,80	+0,33	0,80	+0,02
4,0	1,54	-0,70	1,56	+0,76	1,60	+1,31	1,60	+0,09
6,0	2,32	-1,57	2,34	+1,70	2,41	+2,95	2,40	+0,19
8,0	3,12	-2,79	3,10	+3,03	3,24	+5,24	3,20	+0,32
10,0	3,93	-4,36	3,86	+4,73	4,09	+8,19	3,99	+0,45
12,0	4,76	-6,27	4,60	+6,81	4,97	+11,80	4,79	+0,56
14,0	5,61	-8,52	5,32	+9,27	5,89	+16,08	5,58	+0,62
16,0	6,50	-11,12	6,02	+12,11	6,85	+21,02	6,37	+0,57
18,0	7,43	-14,05	6,70	+15,32	7,87	+26,63	7,15	+0,33
20,0	8,40	-17,32	7,35	+18,91	8,96	+32,91	7,91	-0,23

Кроме асферических, очковые линзы могут иметь так называемые аторические поверхности, в конструкции которых используется более сложная вращательно-несимметричная асферическая поверхность. Аторика чаще применяется в астигматических или прогрессивных линзах, чтобы как можно больше ослабить астигматизм наклонных пучков и снизить общий уровень аберраций в линзах. Такие конструкции для линз прогрессивного дизайна можно найти у *Essilor, Rodenstock, BBGR, R&H, Shamir, Zeiss, SEIKO* и других производителей. В 2009 году компания *Rodenstock* запатентовала термин **мультиасферические поверхности**. Их основное отличие – различная вершинная кривизна в главных сечениях, то есть разная степень асферичности в разных меридианах астигматической линзы. Такие поверхности были применены впервые в однофокальных линзах *Multigressiv Mono*, изготавливаемых по технологии *FreeForm* во всех видах пластика, включая фотохромный, и оптимизируемых для каждого рецепта индивидуально. Важно, что мультиасферические конструкции позволяют получать не только более тонкие, легкие и эстетичные линзы, но и значительно расширить чистые поля зрения, уменьшить дисторсию, максимально выровнять базовую кривизну в случае анизометропии и снизить или полностью исключить в этом сложном случае дифференциальную призму. В линзу *Multigressiv Mono* также была включена оптимизация по межзрачковому расстоянию (монокулярному PD), что значительно улучшило бинокулярность зрения при больших, малых или асимметричных межзрачковых расстояниях благодаря особому распределению рефракции по линзе. *Multigressiv Mono* была сразу высоко оценена врачами и оптометристами. Сейчас многие специалисты считают ее линзой первого выбора в случае сложного рецепта.

Включение в расчет поверхностей линз индивидуальных данных положения линзы перед глазом позволило в значительной мере расширить поля зрения и обзорность в очках. Оптимизация оптической силы буквально в каждой точке в зависимости от монокулярного межзрачкового расстояния, вертексного расстояния, угла кривизны оправы, данных центрирования позволила в однофокальной линзе, независимо от выбранной оправы и антропометрических данных, получить недостижимое ранее качество коррекции, которое оказалось соизмеримым со зрением в контактных линзах. *Индивидуальные однофокальные линзы Impression Mono* можно найти в каталоге *Rodenstock, Aspheo PdM* – в каталоге *BBGR, Indi SV* – в каталоге *Seiko, Essilor 360°* – у французского производителя и во многих других каталогах.

**Спортивные однофокальные линзы** отличает высокая базовая кривизна от 6,0 до 9,0 дптр и разворот линзы относительно глаза, возникающий из-за прилегающей изогнутой формы оправы. Как правило, спортивные линзы имеют нестандартно большой диаметр. Для компенсации призматического действия, разводящего глазные оси, в конструкцию спортивных линз включено призматическое действие. Его величина зависит от угла кривизны оправы, силы линзы, технологии расчета и обработки, диаметра, а также данных оправы и центрирования.

Основание призмы всегда направлено противоположно возникающему разводящему призматическому действию, а именно – к носу и вниз.

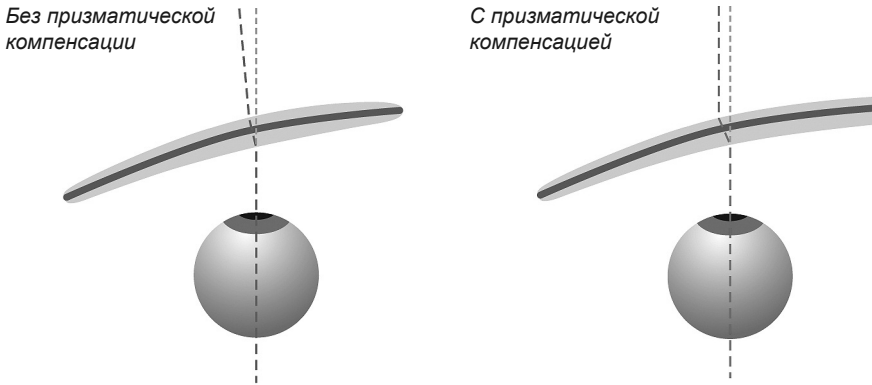


Рис. 4.8. Ход лучей в спортивной линзе и компенсация призматического действия, возникающего из-за разворота в спортивных линзах

ИПЕ		Ø 68 / 73	
R			
2.00	1.00	60	2.00
1.83	0.91	56	0.70 334 1.39
33.0	13.0	5.0°	20.0°
32.3			
ИПЕ			



Рис. 4.9. Конверт с данными пересчета рефракции для оправы с углом изгиба 20°

Рис. 4.10. Различие толщин спортивной линзы при значительной разнице монокулярного межзрачкового расстояния для монокулярного PD 29,5 мм (слева) и 36 мм (справа).

### Новые правила центрирования однофокальных очковых линз

При установке всех современных линз по правилам физиологии глаза должно обеспечиваться условие прохождения зрительной оси через центр вращения глаза. По условиям бинокулярности, для горизонтального центрирования соблюдают монокулярное межцентровое расстояние, указанное в рецепте. Причем чем больше оптическая сила линз, тем выше требования к точности воспроизведения монокулярного межцентрового расстояния. Правило центра вращения, или вертикального центрирования, предполагает, что при определении положения оптического центра или ссылочной (базовой) точки линзы должен учитываться пантоскопический наклон оправы, а установка линзы должна производиться с так называемым понижением относительно видимого центра зрачка глаза.

Для соблюдения этого правила на выбранной оправе предварительно отмечают точку напротив центра зрачка. Если при разметке взгляд пациента был на-

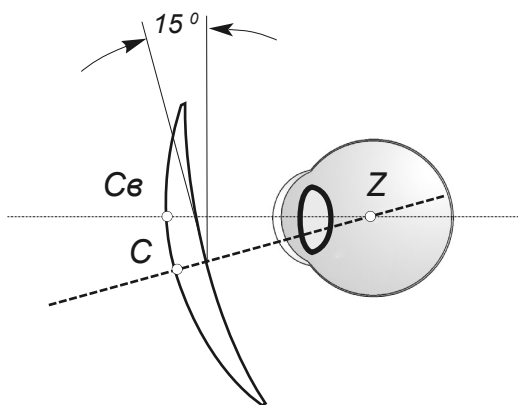


Рис. 4.11. Центрирование современных линз производится монокулярно; оптическая ось проходит через центр вращения глаза  $Z$ ; оптический центр опускается вниз в зависимости от угла наклона оправы. Здесь  $Cв$  – видимое положение центра зрачка при прямом направлении взгляда;  $C$  – правильное положение оптического центра или ссылочной (базовой точки).

правлен прямо и вперед, точку центрирования – отмеченный на линзе оптический центр или установочный крест маркировки опускают относительно видимого центра зрачка на 2–5 мм в зависимости от пантоскопического наклона.

Другой способ разметки предполагает иное, приподнятое положение головы пациента при условии, что рамка оправы расположена строго вертикально, без наклона. В этом случае точка центрирования совпадет с отмеченной точкой центра зрачка.

Есть мнение, что главные ссылочные точки однофокальных очков для чтения следует центрировать относительно межцентрового расстояния для дали. В этом случае основное условие центра вращения не сможет быть корректно выполнено, и смена очков для дали на очки для чтения может вызывать затруднения,

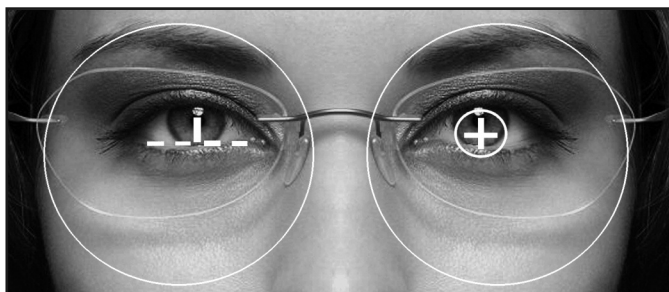


Рис. 4.12. Иллюстрация правильного центрирования однофокальной линзы. Слева – однофокальная линза с поддержкой аккомодации *Perfalit MonoPlus*, справа – однофокальная оптимизированная линза *Multigressiv Mono*.

так как пользователь очками привык к призматическому действию в ссылочных точках для близи в своих очках для дали, которые он использовал ранее также для зрения вблизи.

## **Однофокальные линзы с поддержкой аккомодации**

Соцсети, просмотр интернет-сайтов, электронная переписка и чтение с цифровых экранов стали неотъемлемой частью нашей жизни. По статистике, у каждого четвертого жителя Европы есть планшет и смартфон. Экраны смартфонов много меньше мониторов компьютеров, поэтому даже минимальные отклонения от нормальных для зрения условий вызывают проблемы. Маленькое расстояние до текста и частая смена направления взгляда при пользовании смартфоном предъявляет к глазам повышенные требования из-за усиления напряжения.

Кроме того, разрешение цифровых устройств становится все выше и выше. Наши глаза не в состоянии угнаться за ними. Ответом на эту задачу современности стало создание линз для молодых людей с поддержкой аккомодации.

Оптический дизайн линз основан на добавлении в зоне для близи небольшой, до 1,0 D, плюсовой рефракции. Такого рода линзы выпускают практически все ведущие производители. Остановимся на последних разработках в этой области.

### **Примеры однофокальных линз с поддержкой аккомодации**

#### **Линзы e-Lens для работы с цифровыми устройствами от Essilor**

*Линзы рекомендованы при работе с цифровыми устройствами (компьютерами, планшетами, смартфонами и т. д.) людям в возрасте от 20 до 40 лет для использования на коротких рабочих расстояниях около 30–40 см.*

*Линзы e-Lens – комплексное решение:*

- показатель преломления линзы 1.56;
- в нижней части линзы происходит небольшое изменение оптической силы на +0,6 дптр за счет асферизации поверхности; оптимизированный дизайн снижает напряжение глазных мышц при работе на близких (смартфон) и средних (планшет, компьютер) расстояниях;
- на линзу нанесено специальное многофункциональное покрытие, отражающее 10% синего света.

#### **Mono Plus от Rodenstock**

*Опция Mono Plus может быть применена к любой однофокальной линзе для дали, за исключением простых асферических линз Cosmolit, и предлагает оптическую поддержку аккомодации на физиологическом уровне. Изменение рефракции в линзах Mono Plus на +0,5 или +0,8 дптр происходит только в зоне, где присутствует максимальное напряжение аккомодации, т. е. в зоне чтения с учетом ее расположения и направления взгляда, что заметно отличает ее от ди-*



Рис. 4.13. Демобокс Mono Plus 2, который предлагает удобное решение для консультации и пробных тестов перед приобретением очковых линз с поддержкой аккомодации.

зайна PAL. Для астигматов в линзу по умолчанию включен по технологии EyeLT (Eye Lens Technology) пересчет цилиндрической составляющей, чтобы получить более четкое высококонтрастное зрение на близких расстояниях.

#### Опция Mono Plus:

- снимает напряжение глаз при работе на коротких расстояниях благодаря включению в нижнюю часть линзы зоны поддержки аккомодации;
- ощущается как простая однофокальная линза благодаря особому дизайну и расчету поверхностей;
- помогает пресбиопам отдалить срок покупки прогрессивных очков;
- доступна в двух вариантах P0.5 и P0.8 с поддержкой аккомодации в +0,5 и +0,8 дптр;
- рекомендуется в комбинации с покрытием Solitaire Protect Balance 2.

В линзе **EasyWork SV om BBGR** поддержка аккомодации достигается за счет плавного изменения рефракции линзы на +0,6 дптр ниже ее оптического центра. Изготовление производится по технологии Digital Surfacing в материалах 1.6 и 1.67, а также в фотохромной версии Transitions.

#### Показания к назначению линз EasyWork SV:

- молодые пациенты с нарушениями аккомодации;
- пациенты с компьютерным зрительным синдромом;
- как подготовительный этап к назначению прогрессивных линз у людей старше 40 лет.

#### **Digital Inside om Zeiss**

Технология Digital Inside применима ко всем категориям линз от стандартных до индивидуальных и добавляет к действию линз функцию поддержки аккомодации. Эти линзы созданы специально для работы с планшетами, смартфонами и т. п. девайсами. Целевая группа – люди старше 30 лет.

Дизайн *Digital Inside* – классический вариант прогрессивной линзы с увеличенной зоной для близи и нарастанием изменения рефракции в зоне коротких дистанций. Диапазоны изготовления продуктов *Digital* очень широки как по материалам, так и по степени оптимизации рефракции: сила линзы от  $-20,0$  до  $+16,0$  дптр с цилиндром до  $6,0$  дптр для пластика 1.74 (это максимальный диапазон, для пластиков 1.5, 1.6 и 1.67 диапазоны несколько меньше). Аддидация может быть выбрана в диапазоне от  $0,5$  до  $1,25$  дптр в зависимости от состояния аккомодации.

## ПРИЛОЖЕНИЕ 1

Примеры названий и характеристик однофокальных линз

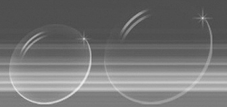
Название	Описание
<b>BBGR, Франция</b>	
<b>Unor/Unem</b>	Классическая однофокальная линза сферического дизайна, представлена в пластике во всех материалах, включая трайбек и фотохромные версии <i>Transitions VII</i> , <i>Transitions Xtractive</i> в 1.5, 1.6 и 1.67; поляризация в 1.5, поликарбонате <i>Tilium</i> и 1,6 / в минеральном стекле от 1.52 до 1.9, включая фотохромные версии в 1.5 и 1.6.
<b>Asphor/Asphem</b>	Классическая однофокальная линза асферического дизайна, представлена в пластике во всех материалах, включая трайбек и фотохромные версии <i>Transitions VII</i> в поликарбонате <i>Tilium</i> , 1.6, 1.67 и 1.74, а также в минеральном стекле 1.6.
<b>Aspheo PdM</b>	Индивидуальная монофокальная линза, технология <i>Digital Sufacing</i> , представлена в пластике во всех материалах, включая фотохромные версии <i>Transitions VII</i> . Рекомендуется при высоких требованиях к качеству зрения, высоких рефракциях, при нестандартной посадке или изогнутой оправе, большой разнице размера оправы и монокулярного PD (децентрации). Оптимизация <i>DIGICALI</i> автоматически включена.
<b>Rodenstock, Германия</b>	
<b>Perfalit/Perfalux</b>	Классическая однофокальная линза сферического дизайна, представлена в пластике во всех материалах, включая трайбек и фотохромные версии, поляризация в 1.5 и 1.6, и минеральном стекле от 1.52 до 1.9, включая фотохромные версии.
<b>Multigressiv Mono</b>	Оптимизированная мультиасферическая линза, технология <i>FreeForm</i> , представлена в пластике во всех материалах, включая фотохромные и поляризационные версии. Рекомендуется при астигматизме, анизометропии, нестандартном PD, разнице в монокулярном PD.
<b>Impression Mono</b>	Индивидуальная монофокальная линза, технология <i>FreeForm</i> , представлена в пластике от 1.6 до 1.74, включая фотохромные и поляризационные версии. Рекомендуется при высоких требованиях к качеству зрения, высоких рефракциях, при нестандартной посадке или изогнутой оправе, угле изгиба оправы до $15^\circ$ , большой разнице в монокулярном PD.
<b>Perfalit Sport</b>	Спортивная однофокальная линза, технология <i>Free Form</i> , представлена в пластике от 1.5, 1.54, 1.6, включая фотохромные версии, поликарбонат и поляризацию. Угол изгиба оправы до $25^\circ$ , базовая кривизна до 8 дптр ( <i>extra curved</i> , <i>basic curved</i> , <i>clip-in</i> ), диаметр до 75/95 мм, призматическая компенсация, <i>extra curved</i> версия до $-4,0$ дптр; есть версия клипов к спортивным маскам. В пакет входят шесть покрытий на выбор и тонировка линзы.

Название	Описание
<b>Seiko, Япония</b>	
<b>SEIKO</b>	Однофокальная линза сферического дизайна, представлена во всех пластиках, а также в экстрапрочном материале Tribrid, включая фотохромные и поляризационные версии.
<b>SEIKO AS</b>	Однофокальная линза асферического дизайна с «10-миллиметровым сферическим ядром» (патент SEIKO MX-дизайн). Представлена в пластиковых линзах индекса 1.60, 1.67 и 1.74. Фотохромные версии Transitions 7: 1.60, 1.67, 1.74.
<b>SEIKO AZ</b>	Однофокальная линза двойного асферического дизайна (би-асферическая) с «10-миллиметровым сферическим ядром» (патент SEIKO MX-дизайн) по технологии FreeForm. Представлена в пластиковых линзах индекса 1.60, 1.67 и 1.74. Фотохромные версии Transitions 7: 1.60 и 1.67.
<b>SEIKO A-ZONE</b>	Однофокальная линза, би-асферическая по технологии FreeForm с применением SEIKO Zone Design: комбинации AZ-дизайна и стилизованной области по периферии линзы, что обеспечивает дополнительное утоньшение линзы до 10% по отношению к классической двойной асферике. Существует возможность заказа с базовой кривизной на выбор: Стандарт, BC 3 и BC 5 для модных, изогнутых оправ. Представлена в пластиковых линзах индекса 1.60, 1.67 и 1.74. Фотохромные версии Transitions 7: 1.60 и 1.67. Одна из самых тонких линз на мировом оптическом рынке.
<b>SEIKO CURVED</b>	Индивидуальные однофокальные линзы для модных солнцезащитных и спортивных оправ с высокой базовой кривизной асимметрично-асферического дизайна 360 градусов и с учетом закона Листинга. Изготовлены по технологии High Curved Technology, ретроскопический угол оправы до 30°. Представлены в пластиковых материалах 1.50, 1.60, 1.67 и экстрапрочном Tribrid, включая фотохромные и поляризационные версии.
<b>SEIKO DRIVE</b>	Индивидуальная монофокальная линза для вождения по технологии FreeForm с асимметричным асферическим дизайном 360 градусов. Дизайн линзы оптимизирован для максимального комфорта при зрении вдаль. Представлена в пластиковых линзах индекса 1.50, 1.60, 1.67, а также в экстрапрочном материале Tribrid, включая фотохромные и поляризационные версии. Рекомендуется при высоких требованиях к качеству зрения за рулем автомобиля, высоких рефракциях, при нестандартной посадке или изогнутой оправе, большой разнице в монокулярном PD, при высоких значениях цилиндра. В пакет входит мультипокрытие RCC (Road Clear Coat) для комфортного вождения автомобиля в ночное и вечернее время.
<b>Ноуа, Япония</b>	
<b>Hilux</b>	Однофокальная линза стандартного сферического дизайна, представлена в пластике от 1.5 до 1.67, включая трайбекс. Рекомендована для низких рефракций.
<b>Nulux</b>	Однофокальная линза асферического дизайна, представлена в пластике от 1.5 до 1.67.
<b>Nulux iDentry V+</b>	Индивидуальная однофокальная линза, технология Free Form, представлена в пластике от 1.5 до 1.74.





**SEE WORLD OPTICAL CO., LTD.**



**«МЕДСТАР» является официальным дистрибьютором компании SEE WORLD OPTICAL Co., Ltd. – одного из ведущих корейских производителей всех видов полимерных очковых линз. Мы предлагаем самые современные линзы с показателями преломления от 1,50 до 1,67 сферического и асферических дизайнов с разными покрытиями, а также фотохромные линзы.**

Президент компании **SEE WORLD OPTICAL Co., Ltd.** – г-н Chung Kyudong Hwan имеет многолетний опыт работы в области международного оптического бизнеса и является президентом Ассоциации корейских производителей линз. Компания **SEE WORLD OPTICAL Co., Ltd.** производит очковые линзы всех типов, в том числе фотохромные, высокоиндексные и прогрессивные. Линзы имеют УФ-защиту и multifunctional покрытия, отвечающие самым современным требованиям оптической индустрии. Фабрика оборудована современными поточными линиями для производства полимерных линз всех видов и системами для нанесения разнообразных мультипокрытий.

Продукция компании **SEE WORLD OPTICAL Co., Ltd.** поставляется в крупные оптические сети как самой Южной Кореи, так и многих стран мира, прежде всего, Европы, США и стран Азии. Теперь эти линзы доступны и в России.

Линзы мирового качества от компании **SEE WORLD OPTICAL Co., Ltd.** представлены в России под маркой **LensStar®**.

Специально для российского рынка производятся линзы с плюсовой рефракцией диаметром 68 и 70 мм.

Самые современные линзы **LensStar®** покрывают практически все потребности любого оптического салона. Одно из лучших на российском рынке сочетание цены и качества позволит оптикам удовлетворять все запросы своих клиентов и получать стабильную прибыль.

**Сегодня мы гордимся, что десятки тысяч россиян пользуются нашей продукцией, а сотни оптик и аптек по всей России являются нашими деловыми партнёрами.**



**LENSESTAR®**

**8-800-777-35-40**  
(звонок бесплатный)

Отдел продаж: г. Волгоград,  
Тел./факс (8443) 31-64-61,  
E-mail: medstar\_sales@mail.ru  
[www.medstar-npf.ru](http://www.medstar-npf.ru)



## § 4.4. Бифокальные линзы

В случае пресбиопии для одновременного зрения вдаль и вблизи в одной паре очков могут быть использованы *бифокальные линзы*. Как следует из названия, такие линзы характеризуются *наличием двух оптических зон*. Область бифокальной линзы, используемая для зрения вдаль, называется зоной для дали, а область, используемая для зрения вблизи – зоной для близи, или зоной для чтения. Как правило, зона для дали большая, и в соответствии с ГОСТ Р ИСО 13666-2009 она называется главной зоной.

Исключение составляют специальные бифокальные и трифокальные линзы, размер, расположение и назначение зон в которых формируются по отдельному техническому заданию. Они будут рассмотрены ниже.

Существует несколько классификаций бифокальных линз. Наиболее логичной представляется классификация по конструктивным признакам. Первые бифокальные линзы были составными: две отдельные линзы для дали и близи подгонялись одна к другой краями и закреплялись в одном ободке. Дизайн такого рода часто называют очками Франклина, поскольку их изобрел именно Бенджамин Франклин, что подтверждается документально. Современным примером такой конструкции являются цельные бифокальные линзы с прямой видимой линией раздела (линзы E-типа). Цельные бифокальные линзы изготавливаются методом шлифования.

Справедливости ради стоит упомянуть склеенные бифокальные линзы. Такие линзы не изготавливаются серийно и выполняют некие особые медицинские или функциональные требования. Примером склеенных бифокальных конструкций могут служить очень популярные в 70-е годы в Советском Союзе очки БСПО (бифокальные сферо-призматические очки) для коррекции прогрессирующей миопии у подростков. Бифокальный сегмент, обладающий плюсовой рефракцией и призматическим действием, приклеивался к внутренней стороне нижней части основной линзы.

Самое современное конструктивное решение – бифокальная линза с сегментом. Если линза изготавливается из минерального стекла, она будет называться спеченной. Сегмент с более высоким показателем преломления (флинт) вплавляется в вогнутую лунку на поверхности основной линзы, изготовленной из крона – материала с более низким показателем преломления. Линия раздела зон тогда почти незаметна. Размер сегмента небольшой, поскольку он ограничен ре-

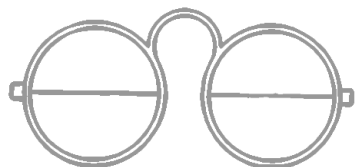


Рис. 4.14. Рисунок Бенджамина Франклина.

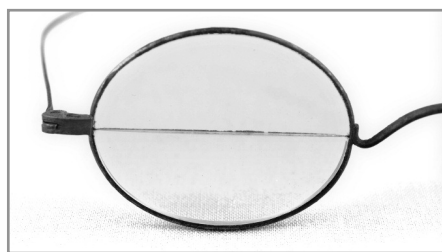


Рис. 4.15. Старинные бифокальные очки

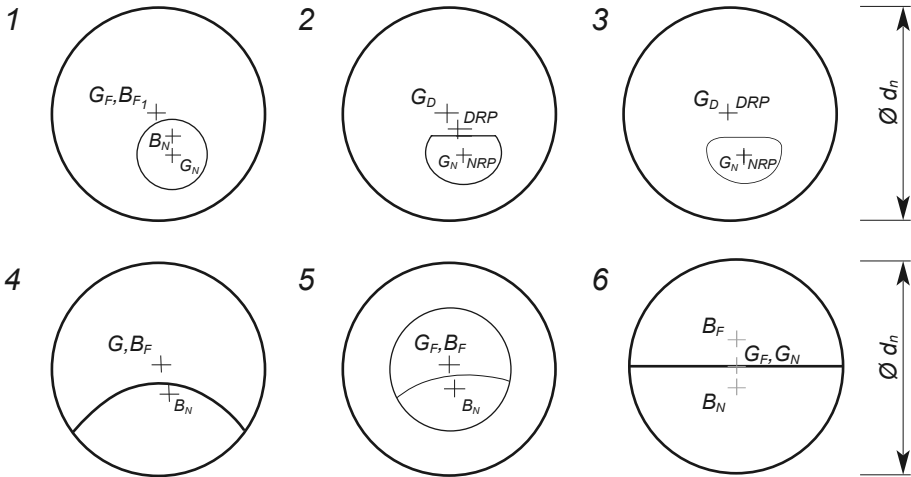


Рис. 4.16. Бифокальные дизайны очковых линз: 1 – линза с круглым сегментом; 2 – линза с D-сегментом; 3 – линза с С-сегментом; 4 – цельная минеральная линза с дугообразным сегментом; 5 – лентиккулярная минеральная с дугообразным сегментом (Rodenstock); 6 – минеральная линза E-типа (Rodenstock).

зультулирующей толщиной линзы. Линза из пластика с сегментом относится к цельным и имеет уступ на границе зон.

Линия раздела оптических зон бифокальной линзы может иметь различную форму и упрощенно подразделяется на несколько видов:

- D-сегмент – граница сегмента прямая, у производителей часто носит название S-формы от слова straight (прямой);
- С-сегмент – граница сегмента дугообразная, у производителей также носит название С-формы от слова curved (изогнутый);
- круглый сегмент, часто называемый R-сегментом;
- линзы E-типа, или представительские; прямая линия пересекает всю линзу и разделяет ее на две зоны, примерно равные по размеру.

Ниже приведена таблица размеров сегментов различных форм.

Таблица 4.10. Размеры сегментов различных форм

Диаметры сегментов бифокальных линз, мм	
Полимерные бифокальные линзы	Цельные стеклянные бифокальные линзы
22, 24, 25, 28, 38, 40, 45 круглые сегменты	30 дугообразные сегменты
25 D- и С-сегменты	38 дугообразные сегменты
28 D- и С-сегменты	40 дугообразные сегменты
40 С-сегменты	45 дугообразные сегменты
35 D-сегменты	

#### 4.4.1. Скачок изображения в бифокальных линзах

Когда взгляд человека в бифокальной линзе перемещается из зоны для дали в зону для близи, то ощущается изменение призматического действия при пересечении взглядом разделительной линии. Глаз встречает постоянно возрастающее призматическое действие по мере удаления от оптического центра зоны для дали. Когда взгляд оказывается в зоне для близи, он ощущает призматическое действие основанием вниз, внесенное сегментом на его вершине. Резкое действие призмы вызывает скачок изображения в поле зрения. Кроме того, из-за линии раздела сегмента возникает кольцевая скотома (слепой участок), в пределах которой предметы будут полностью скрыты до тех пор, пока пользователь бифокальных очков не поднимет голову. При этом формируется устойчивая привычка менять положение головы при чтении; следовательно, процесс перехода с бифокальных очков на прогрессивные усложняется.

Величина скачка изображения равна величине призматического действия, вносимого сегментом на линии раздела, и определяется как произведение расстояния от вершины сегмента до его оптического центра, измеренного в сантиметрах, и добавки для чтения. Например, для круглого сегмента ее можно рассчитать так:

$$\text{скачок изображения} = \text{радиус сегмента (см)} \times \text{Add.}$$

Для сегмента некруглой формы скачок изображения всегда меньше, поскольку его оптический центр расположен гораздо ближе к линии раздела. Это, собственно, и определило популярность такого дизайна.

Ясно, что скачок изображения совершенно не зависит от силы основной линзы и положения оптического центра зоны для дали. Существуют запатентованные конструкции бифокальных линз без скачка изображения.

#### 4.4.2. Установка и центрирование бифокальных линз

Установка бифокальных линз по вертикали осуществляется в соответствии с правилом «полей зрения», а именно: верхняя граница сегмента должна проходить по касательной к нижнему краю радужной оболочки (лимба), при этом пациент смотрит прямо вперед (нулевое направление взгляда). Для обеспечения правильного вертикального центрирования бифокальных линз проводят разметку, отмечая на демолинзе не центр зрачка, как это делается обычно, а край нижнего века. Впоследствии именно эта линия служит для позиционирования верхней точки сегмента (см. рис. 4.17). Установка по горизонтали осуществляется по межзрачковому расстоянию для дали.

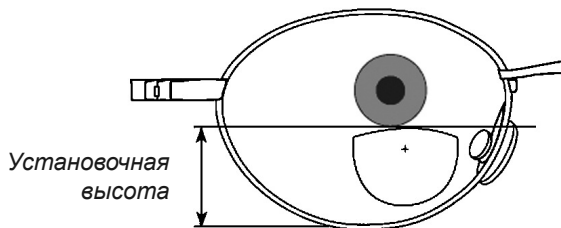


Рис. 4.17. Схема позиционирования верхней точки сегмента

Такое положение сегмента является нормой для подавляющего большинства людей, носящих бифокальные очки, и наиболее удобно для тех, кто надевает бифокальные очки впервые. Если возникает какое-либо сомнение в отношении требуемой высоты сегмента, если клиент находит обычное положение неудобным, линзы могут быть установлены в оправу иначе. Если бифокальные линзы выписаны главным образом для зрения вблизи, вершина сегмента может быть установлена несколько выше – скажем, посередине между нижним краем зрачка и нижним краем радужной оболочки. Если линзы выписаны для некоторой профессиональной цели и предполагается лишь их редкое использование для зрения вблизи, вершину сегмента можно расположить на 3–5 мм ниже нормы либо применить специальные конструкции бифокальных линз.

Установочная высота для бифокальных линз всегда больше, чем у прогрессивных из-за более низкого положения зоны близи. Оправы выбирают со значительным вертикальным размером для размещения сегмента, форма проема ободка – предпочтительно скругленный прямоугольник. Пантоскопический наклон для стандартных линз составляет 8–12 градусов, что гарантирует в дальнейшем «правильное» положение сегмента относительно направления взгляда.

### **Типичные правила установки бифокальных линз**

- 1. Выберите оправу и подгоните ее правильно к лицу клиента.*
- 2. Наденьте оправу на лицо клиента и предложите ему смотреть прямо и вперед.*

*Если нужно, отрегулируйте высоту своего стула так, чтобы ваши глаза были точно на уровне глаз клиента.*

- 3. Предложите клиенту смотреть прямо в ваш левый открытый глаз. Затем, используя маркер, поставьте метку на уровне нижнего края радужной оболочки правого глаза клиента. Эта точка часто находится на уровне нижнего века.*

- 4. Предложите клиенту смотреть прямо в ваш правый глаз, не двигая головой, и поставьте вторую метку напротив нижнего края радужной оболочки левого глаза клиента.*

*5. Снимите и снова наденьте оправу на клиента и повторите процедуру. В этот раз новых меток не ставят: нужно только убедиться, что готовые метки действительно расположены напротив нижних краев радужных оболочек.*

- 6. Запомните величины установочной высоты сегмента или положения вершины сегмента по отношению к горизонтальной средней линии. Используйте карты разметки, чтобы убедиться, что линза нужного дизайна может быть изготовлена из заготовки с диаметром, имеющимся в наличии.*

### **4.4.3. Контроль бифокальных линз**

Проверка параметров бифокальных линз осуществляется в соответствии с ГОСТ Р 53950-2010. Контроль оптических параметров подробно описан в § 2 данной главы. В заключительной части этого параграфа особое внимание уделяется определению годности бифокальных линз и проверке возможности их парирования при разных положениях сегментов правой и левой линзы.

Отдельные требования предъявляются в стандарте к размерам сегментов. В соответствии с п. 5.3.3 ГОСТ Р 53950, любой из размеров сегмента (ширина, глубина и глубина промежуточной зоны) не должен отличаться от номинального значения более чем на  $\pm 0,5$  мм. Для согласованной пары очковых линз любые размеры сегмента (ширина, глубина и глубина промежуточной зоны) не должны отличаться от номинального значения более чем на  $\pm 0,7$  мм.

Поскольку ГОСТ не определяет методику контроля и допустимые значения линейных параметров положения сегментов бифокальных линз, определение годности парных линз можно оценить по величине призматического действия. Так, при контроле расстояния от базовой точки для дали (оптического центра для дали) до вершины сегмента следует произвести измерения призматического действия в точке зоны для дали в вершине сегмента правой и левой линз, найти их разницу и сравнить с данными первой строки третьего столбца таблицы 5 (см. стр. 126).

**Пример:** При контроле парных бифокальных линз одного заказа, выполненных по рецепту ОУ:  $-3,5$  Add  $2,0$ , в правой линзе расстояние от оптического центра для дали до вершины равно 5 мм, в левой линзе – 2 мм. Годны ли линзы? Призматическое действие в вершине сегмента составило 1,75 пр. дптр в правой линзе и 0,70 пр. дптр в левой линзе. Разница  $1,75 - 0,70 = 1,05$  пр. дптр. Выбираем в таблице 5 первую строчку (призматическое действие ноль) и третий столбец («По вертикали») и рассчитываем предельно допустимое для данного случая значение призматического дифференциала по формуле  $0,25 + 0,05 \times F' = 0,25 + 0,05 \times 3,5 = 0,425$  пр. дптр. Имеющийся призматический дифференциал 1,05 пр. дптр. превышает предельно допустимое значение 0,425 пр. дптр. Вывод: линзы не пригодны к установке. Другой способ контроля: вместо расчетного метода можно измерить значение призматического действия линз на диоптриметре.

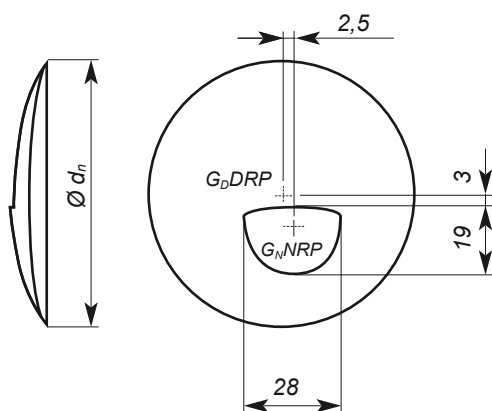


Рис. 4.18. Геометрические параметры сегмента в бифокальной линзе

#### 4.4.4. Бифокальные линзы специального назначения

Подавляющее большинство рецептов на бифокальные линзы выписывается для того, чтобы заменить две отдельные пары очков. Однако ни одна пара очков не сможет обеспечить наилучшим образом специальные медицинские или профессиональные требования для всех случаев жизни – например, когда нужны линзы для лечения аккомодационного косоглазия у детей или при пресбиопии с нестандартными требованиями к расположению зоны для близи в очках.

**Линзы для коррекции аккомодационного косоглазия.** Бифокальные сегменты в линзах принято смещать к носу для совмещения полей зрения при работе вблизи. С учетом средней конвергенции смещение обычно составляет 2–3 мм. Линзы для коррекции аккомодационного косоглазия Excelit AS (C 40) имеют сегмент не только увеличенный до 40 мм, но и смещенный в сторону виска для создания управляемого разводящего призматического действия.

Действие линзы заключается в поддержке нормальной работы глаз при избыточной аккомодации и создает в зоне для близи призматический эффект кнаружи (out) за счет обратного смещения сегмента к виску. При этом компенсируется избыточное движение глаз кнутри (in). Фактор AC/A при этом увеличивается. Благодаря такой бифокальной конструкции и величине аддидации от 2,00 до 3,00 дптр снижаются аккомодационные усилия и угол отклонения косящего глаза. Основное предназначение таких линз – достижение хорошего бинокулярного зрения вблизи.

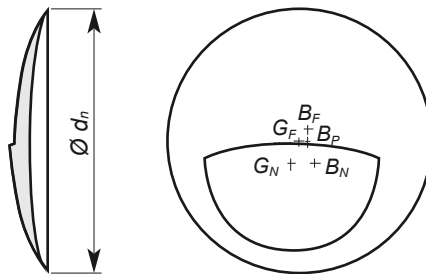


Рис 4.19. Схематическое изображение правой линзы для коррекции аккомодационного косоглазия Excelit AS (C 40) от Rodenstock с большим сегментом, смещенным в темпоральную зону (к виску)

Для успешного лечения линзы Excelit AS должны центрироваться выше, чем обычные бифокальные линзы, чтобы при правильной посадке очков на лице и нормальном привычном положении головы близко расположенные предметы были видны через зону для близи. В рамках терапии гиперметропии с аккомодационным косоглазием у детей вершина сегмента устанавливается по нижнему краю зрачка. Такое положение сегмента также обусловлено привычным направлением взгляда ребенка прямо и вверх и положением оправы на лице и голове с малым пантоскопическим наклоном из-за несформированной переносицы.

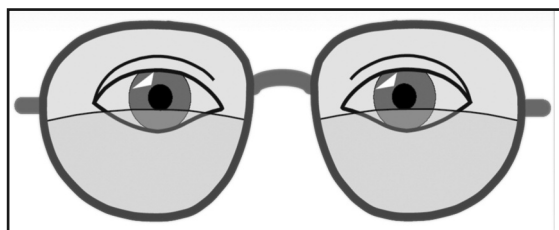


Рис. 4.20. Центрирование линзы для коррекции аккомодационного косоглазия Excelit AS в детских очках.

**Бифокальная линза с небольшим сегментом для дальних/средних расстояний, расположенным сверху.** Такие линзы подойдут людям, имеющим нестандартные требования к расположению зоны для близи, – например, пилотам (из-за расположения приборов сверху), архивариусам, библиотекарям, электрикам, юстировщикам станков. Конструкция характеризуется отсутствием скачка изображения.

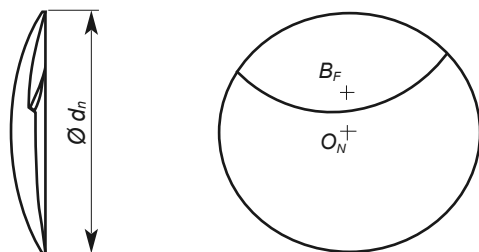


Рис. 4.21. Бифокальные линзы семейства Ardis, Rodenstock Manufaktur

Линзы относятся к семейству Ardis от Rodenstock Manufaktur и могут иметь не только бифокальную, но и трифокальную конструкцию с самым разным расположением зон. Так, линза Ardis NFN 1.50 из минерального стекла состоит из двух зон для близи – сверху и снизу, между которыми расположена зона для дали. Обе линии раздела выполняются с разворотом для совмещения бинокулярных полей зрения при взгляде через зоны близи, т. е. с учетом угла разворота глаз при конвергенции.

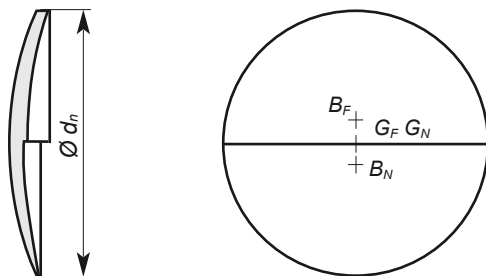


Рис. 4.22. Бифокальные линзы из минерального стекла с прямой линией раздела (представительские).



**Бифокальные линзы из минерального стекла с прямой линией раздела (представительские).** Такие линзы представляют собой цельную конструкцию и дают уникальную возможность изготовления разных призм в зонах. Возможна также индивидуальная децентрация центра зоны для близи. Такая линза доступна также в трифокальном варианте.

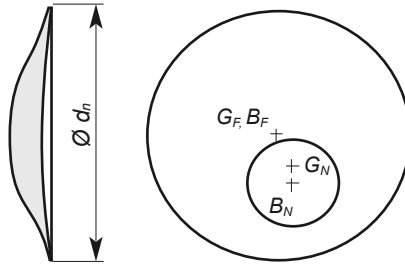


Рис. 4.23. Линза *Perfastar Bifo* для высоких гиперметропий с размером оптической зоны 44 мм.

**Бифокальная пластиковая лентиккулярная линза для коррекции высоких гиперметропий.** Бифокальная пластиковая линза с неявным лентикюляром для сверхвысоких гиперметропий со специальной поверхностью высоких порядков для гашения повышенных aberrаций плюсовой линзы носит название *Perfastar Bifo 1.50*. Конструкцию отличает отсутствие кольцевой скотомы благодаря специальным полиномиальным поверхностям. Благодаря сложной асферичности и материалу линза имеет небольшой вес. Сегмент круглой формы диаметром 22 мм может быть выполнен с индивидуальной децентрацией зоны близи, стандартная децентрация сегмента составляет 4 мм. По вертикали линза центрируется по верхнему краю нижнего века, по горизонтали – согласно монокулярному межзрачковому расстоянию.

## § 4.5. Призматические линзы

В соответствии с ГОСТ ИСО 136666-2009 **очковой линзой с призматическим действием называют линзу, обладающую призматическим действием в конструктивной базовой точке или, в случае прогрессивных линз, в контрольной (ссылочной) точке призмы.**

Величина отклонения светового луча называется призматическим действием линзы (см. § 1.1.5) в соответствующей точке, а направление линии, соединяющей вершину угла призмы с ее основанием в главном сечении призмы, – положением основания призмы. Конструктивно призматическое действие очковой линзы достигается за счет разной толщины противоположных краев.

Общепринятым обозначением призмной диоптрии служат  $\Delta$  или *пр. дптр*, где 1 призмная диоптрия – это отклонение светового луча на 1 см на расстоянии 1 метр. Поэтому призматическое действие  $P$  выражают часто в см/м или срад, а положение основания (базу) – углом в градусах по шкале Табо. Значение призматического действия и направление основания призмы могут быть измерены на диоптриметре в пределах, заданных техническими возможностями прибора (обычно 6–8 пр. дптр).

**Пример рецепта на призматические очки:**

*OD Sph +6,0 D, cyl -2,5 D ax 15° pr 5,0  $\Delta$  основание кнаружи (temporalis)*

*OS Sph +5,5 D, cyl -1,75 D ax 165°*

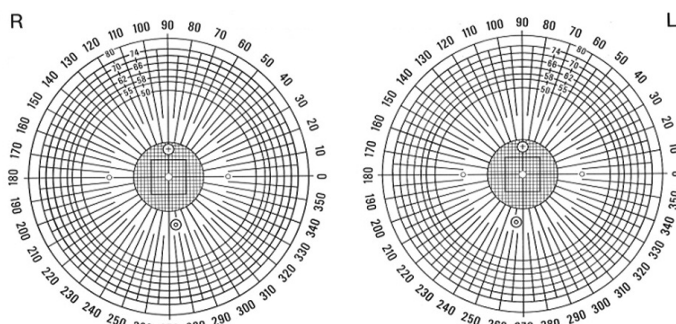


Рис. 4.24. Система Табо служит для определения направления основания призмы

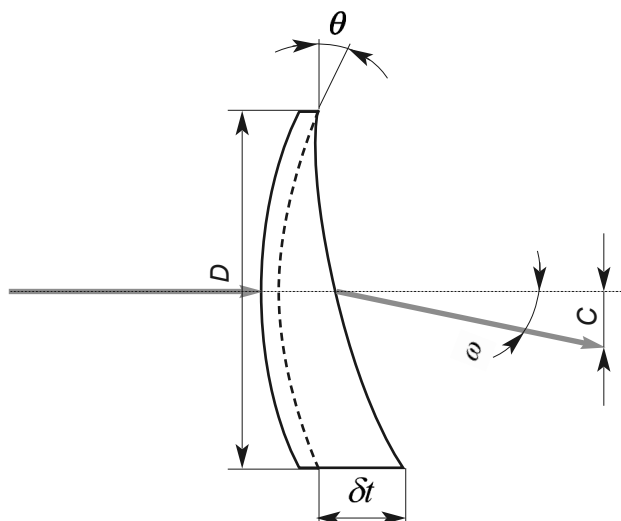


Рис. 4.25. Призматическая очковая линза

$\Delta$  – призматическое действие,  $\delta t$  – разность толщин,  $D$  – диаметр линзы,  $\theta$  – угол при вершине,  $\omega$  – угол отклонения луча,  $C$  – требуемая децентрация.

Для горизонтальных и вертикальных направлений основания призмы часто вместо шкалы Табо с указанием в градусах используют такую систему: основание внутрь (0° для правой и 180° для левой линзы), основание наружу (180° для правой и 0° для левой), основание вверх (90°), основание вниз (270°).

### **Возможность получения призматического действия методом децентрации однофокальных стигматических линз**

Если необходимо не слишком большое призматическое действие в точке центрирования линзы, которая определяется PD пациента и данными вертикального центрирования, его можно получить с помощью децентрации сферической очковой линзы относительно главной зрительной точки. Величина децентрации, на которую следует сместить оптический центр линзы, определяется по правилу Прентиса.

#### **Правило Прентиса**

**Призматическое отклонение  $\Delta$  в любой точке сферической очковой линзы зависит от задней вершинной рефракции  $F'v$  и расстояния  $c$  от данной точки до оптического центра.**

$$P = c \times F'v$$

Для того, чтобы призматическое действие  $\Delta$  было выражено в *см/м*, расстояние  $c$  должно быть задано в сантиметрах, а оптическая сила – в диоптриях без учета знака.

Положение основания призмы будет определяться знаком задней вершинной рефракции (оптической силы). У плюсовых линз основание призмы будет направлено к оптическому центру относительно измеряемой точки; у отрицательных – в противоположном направлении, но всегда по направлению к более толстому краю линзы.

Следовательно, требуемую децентрацию  $c$  можно рассчитать по формуле:

$$c = \Delta / F'v, \text{ где}$$

$\Delta$  – величина призматического действия, *пр. дптр* или *см/м*;

$F'v$  – задняя вершинная рефракция линзы, *дптр*.

Сместив геометрический центр относительно оптического центра на величину рассчитанной децентрации, можно получить призматическую линзу с требуемым призматическим действием. И наоборот, если сделать линзу призматической, можно за счет децентрации оптического центра получить линзу с большим полезным диаметром при сохранении стандартного. При использовании формулы необходимо помнить, что линейные параметры линз измеряются в миллиметрах, а децентрация, рассчитанная по формуле, получается в сантиметрах.

В астигматической однофокальной линзе получить призматическое действие путем децентрации крайне сложно, поскольку нет возможности определить

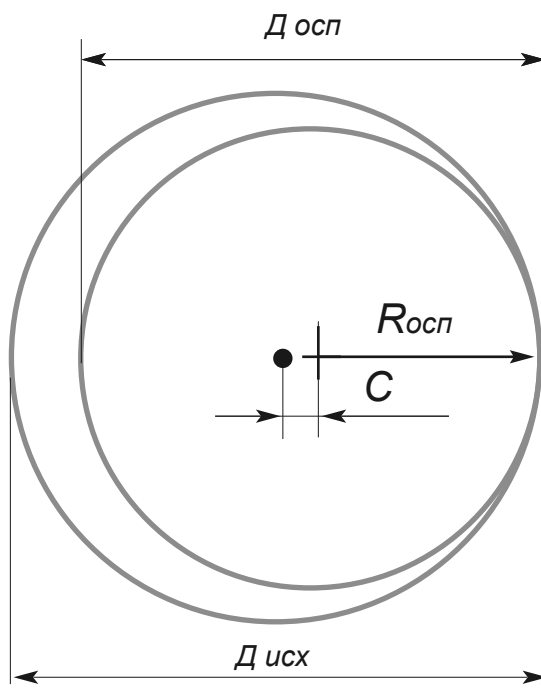


Рис. 4.26. Получение призматической линзы методом децентрации:

$C$  – величина децентрации

$D_{осп}$  – диаметр линзы без призматического действия

$D_{исх}$  – диаметр линзы при создании призматического действия

направление децентрации по требуемому положению основания призмы, если оно не совпадает с направлением главных меридианов астигматической линзы, а значит, нельзя использовать формулу Прентиса для расчета. В этом случае рекомендуется в условиях оптической мастерской с помощью диоптриметра произвести разметку линзы с учетом и необходимого призматического действия и направления главных меридианов по рецепту.

При производстве линз призматическое действие достигается использованием призматических колец, подкладываемых под блокировочный инструмент при креплении заготовки линзы в станке, если используется традиционная технология обработки поверхностей.

## § 4.6. Линзы для работы вблизи

Выбор вида пресбиопической коррекции происходит, как правило, в кабинете врача при подборе очков. Сегодня пациенту предлагают на выбор очки для чтения, бифокальные или прогрессивные линзы, объяснив все возможности каждого вида коррекции.

### 4.6.1. Понятие: линзы для работы вблизи

Очки для чтения и прогрессивные очки обладают как рядом преимуществ, так и некоторыми ограничениями. Очевидно, что на неких средних рабочих расстояниях только специализированные линзы способны обеспечить оптимальное качество изображения и наилучший зрительный комфорт для различных условий зрения внутри помещений.

**Преимущества линз для работы вблизи на рабочем месте:** естественная поддержка аккомодации для требуемых дистанций, обеспечение удобного положения головы и тела и естественной позы для каждого рабочего места, возможность сохранения зрительных привычек. Отличают эти линзы и большие зоны зрения для основных рабочих расстояний по сравнению с прогрессивными очками. Еще одно положительное отличие – возможность выбрать дизайн в соответствии с рабочей ситуацией (основные направления взгляда) в отличие от подавляющего большинства прогрессивных линз.

### 4.6.2. Эргономика рабочего места с дисплеем

**Эргономика** – это соответствие труда физиологическим и психическим возможностям человека, обеспечение наиболее эффективной работы, не создающей угрозы для здоровья и выполняемой при минимальных затратах биологических ресурсов.

Более 90% работающего населения используют на работе компьютеры. Для тех, кто работает в офисах, особенно за компьютером, должны приниматься в расчет индивидуальные аспекты рабочего места, чтобы длительная работа за компьютером не приводила к ухудшению здоровья.

Применение эргономических принципов создает ощущение удобства на работе и способствует защите здоровья. Если человек испытывает меньшую нагрузку во время работы, это одновременно повышает и качество работы, и производительность труда.

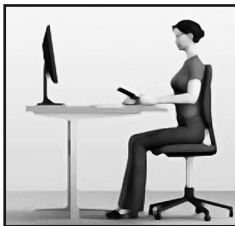
По статистике примерно 75% тех, кто пользуется очками в возрасте от 45 до 59 лет, работают за компьютерами. Те же исследования показали, что 80% людей, работающих за компьютером более 3 часов в день, жалуются на:

- *боль в глазах и головную боль;*
- *сухость глаз;*
- *усталость;*
- *затуманивание зрения;*
- *слезотечение;*
- *повышенную чувствительность к свету.*

Это часто сопровождается напряжением в шейном отделе позвоночника и болью в плечевом поясе.

#### 4.6.3. Зрение и компьютер

Именно для глаз характерно особое напряжение при работе за мониторами. Избыточное напряжение вызывают повышенные усилия аккомодационного аппарата, необходимость движения глазами, отражения, блики, часто низкое качество изображения экрана, отсутствие заботы о режиме зрения или неподходящие для глаз условия освещенности. Из этого следует, что работа за мониторами предъявляет повышенные требования к функциям аккомодации и адаптации глаза (изменению расстояний и яркости). Многообразные глазные симптомы, испытываемые при работе за монитором, известны как компьютерный зрительный синдром (КЗС). Он возникает, когда зрительные потребности превышают зрительные возможности индивидуума. Симптомы КЗС: головная боль, боль в глазах и в области орбит, зрительная усталость, сухость в глазах, нерезкость изображений.



*Рис 4.27. Факторы, влияющие на эргономичность рабочего места:*

1. Монитор, клавиатура, мышь;
2. Освещение;
3. Ортопедические аспекты: поза, стол, кресло, подставка для ног.

#### **Что могут сделать «правильные» линзы**

Идеальные линзы для работы с мониторами должны обеспечивать поддержку функции аккомодации при взглядах на клавиатуру и монитор, гарантировать нормальное зрительное восприятие, учитывать основные рабочие расстояния, направление взгляда и вид компьютерной деятельности. Наличие AR-покрытия на линзах, включающего контроль уровня излучения синего света, – очень важный фактор в условиях офисной работы. Ниже приведены несколько рекомендаций для снижения КЗС.

- *Правильно подберите размер шрифта: шрифт должен читаться легко, без напряжения.*
- *Почаще смотрите на удаленные объекты, например, в окно. Короткие перерывы на 10 минут в 1 час позволят мышцам ресничного тела расслабиться.*
- *Часто и регулярно моргайте во избежание сухости глаз. При работе за компьютером люди смаргивают только 7 раз в минуту, в то время как нормальная частота моргания – 15–20 раз. Пейте достаточно воды! Чтобы помочь глазам, время от времени закрывайте их на несколько секунд.*
- *Чаще давайте глазам короткую передышку. Хорошо, если вы прогуляетесь, например, к копировальному аппарату.*
- *Уберите блики, правильно установив монитор (перпендикулярно окну).*
- *Стул и стол должны быть адаптированы к физиологическим потребностям.*
- *Носите правильно выправленные очки.*

#### 4.6.4. Дизайны линз для работы вблизи

Дизайны линз для работы вблизи подразделяются в зависимости от назначения, постоянной или варьируемой дегрессии, степени индивидуализации линзы, применяемой технологии расчета и производства.

Зависимость величины дегрессии (степени убывания рефракции снизу вверх) от величины аддидации принципиально меняет возможности таких линз. Большинство линз для работы имеют одну фиксированную дегрессию или две дегрессии для линз двух возрастных групп. Необходимость для дизайнов, предназначенных для работы на средних расстояниях, в офисе, иметь как минимум две дегрессии обусловлена соблюдением требуемых для такого вида зрительной работы рабочих расстояний. Дело в том, что из-за фиксированной величины дегрессии положение зрительных точек при разных расстояниях до объекта отличается, степень различия зависит от аддидации и аккомодации.

Рисунок 4.28 иллюстрирует данный принцип.

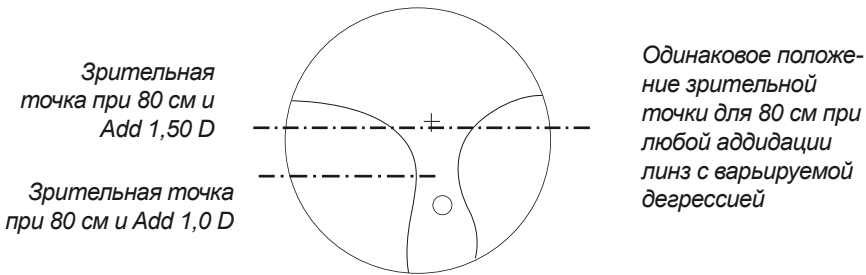


Рис. 4.28. Различие положения зрительных точек в линзе с фиксированной дегрессией (слева) и постоянство положения зрительной точки и увеличение глубины фокуса для линз, у которых дегрессия зависит от аддидации (справа)

Таблица 4.11. Типовые дизайны линз для работы вблизи с фиксированной дегрессией

Дизайны				
Дегрессия	1 дегрессия	1 дегрессия	2 дегрессии	Расчет исходя из требуемых расстояний
Фокус	нет	ближние зоны	средние зоны	средние/ближние зоны
Применение	Работа за компьютером, в офисе	Чтение, ноутбук, работа вблизи	Динамичные профессии: PC, в офисе	PC, офис, досуг

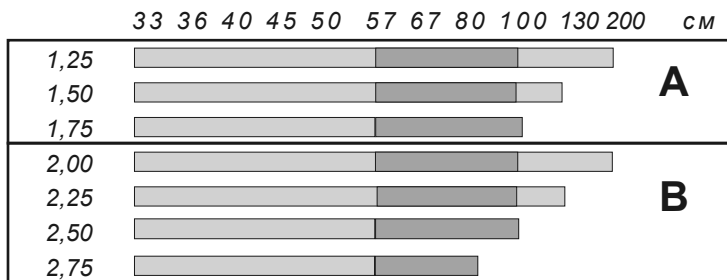


Рис 4.29. Изменение глубины фокуса для линз с двумя фиксированными дегрессиями А – 0,8 D; В – 1,5 D в зависимости от возраста/аддидации:

□ – с напряжением аккомодации; ■ – без напряжения аккомодации.

Единое значение дегрессии для разных возрастных групп (см. рис. 4.28), у которых значение аддидации меняется от 0,75 до 3,5 дптр, приводит к различию в положении зрительных точек и зависимости реальных рабочих расстояний от возраста/аддидации заказчика. При работе в таких очках возникнет необходимость подстраивать положение головы и степень понижения взгляда под действие линз. Наблюдается также уменьшение глубины фокуса, а значит, рабочих расстояний с увеличением возраста и аддидации.

Идеальное расположение зрительных зон и гарантированное рабочее расстояние в линзах более высокого класса является результатом расчета дегрессии по величине аддидации. Такие линзы позволяют заказчику легче адаптироваться в обстановке привычного рабочего места с учетом всех особенностей; они заказываются по рецепту для дали и индивидуальному значению аддидации. Таким образом, каждой аддидации в каждой линзе соответствует свое значение дегрессии.

Таблица 4.12. Иллюстрация примерных значений дегрессии линз для работы семейства Ergo от Rodenstock.

Add (dpt)	Дизайн Book	Дизайн PC	Дизайн Room
0,75	0,70	0,70	0,70
1,00	0,70	0,70	1,00
1,25	0,70	0,80	1,00
1,50	0,80	0,95	1,20
1,50	0,80	0,95	1,20
1,50	0,80	0,95	1,20
1,50	0,80	0,95	1,20
1,50	0,80	0,95	1,20
1,50	0,80	0,95	1,20
1,50	0,80	0,95	1,20

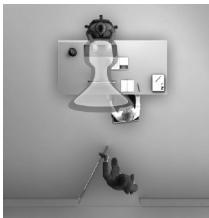


Дегрессия для всех трех типов дизайна Ergo® конфигурируется таким образом, чтобы ширина поля зрения достигала своего максимума в зоне, соответствующей главному рабочему расстоянию, а периферические аберрации сохранялись низкими, насколько это возможно. Так достигается оптимальный компромисс между пространственной глубиной и шириной поля зрения для данного вида зрительной работы. Величина дегрессии в таких дизайнах определяется как разность значений оптической силы, измеренных в точках при взгляде «вблизи» (в кружке для близи) и «вдаль» (8 мм над центрирующим крестом).

#### 4.6.5. Типы дизайнов линз для работы вблизи

Разберем виды дизайнов линз с варьируемой дегрессией на примере линз для работы семейства Ergo от Rodenstock. Новое портфолио комфортных линз для работы разработано по принципу обеспечения четкости зрения в соответствии с предъявляемыми ситуациями требованиями для самых разных рабочих расстояний. Более того, каждая зрительная зона имеет значительно увеличенное поле зрения для приоритетных дистанций и гарантирует длительную зрительную работу в удобной позе.

Предлагаются дизайны с понятными каждому человеку названиями Book (Книга), PC (Компьютер), Room (Комната) для легкости выбора. Как и в прогрессивных линзах Rodenstock, в портфолио комфортных линз для работы сохраняется разделение на индивидуальные, оптимизированные и классические линзы.



**Дизайн Book (Книга)** для чтения, рукоделия или работы на расстоянии, не превышающем вытянутой руки. Особенности этих линз:

- решают проблемы зрения на коротких рабочих дистанциях;
- рассчитаны с учетом последних исследований физиологии и эргономики, дистанций и углов зрения при выполнении зрительных задач на соответствующем расстоянии;
- позволяют работать очень длительное время на коротких расстояниях без утомления;
- предметы, расположенные на расстоянии до 1 м, видны четко только за счет вертикальных движений глаз;
- главный фокус данного типа дизайна расположен на расстоянии ладони чуть согнутой руки;
- работа с ноутбуком возможна либо при небольшом опускании головы либо через верхнюю часть очков.



**Дизайн РС (Компьютер)** рекомендуется для всех видов работ за компьютером и письменными или рабочими столами. Особенности этих линз:

- оптимальны для средних дистанций вплоть до 1,20 м;
- особенно подходят для работы за любыми мониторами, ноутбуками и другими цифровыми устройствами;
- зрительные зоны особенно широки именно для этих дистанций;
- рассчитаны на большие мониторы;
- снижают проблемы в области шейного отдела позвоночника для постоянно работающих за компьютером людей за счет эргономичного положения головы и комфортной позы;
- одновременно удобные и чистые поля зрения обеспечиваются для книги, документа, расположенного на расстоянии чтения.



**Дизайн Room (Комната)** рекомендуется, если основные объекты расположены на расстоянии внутри комнаты или при частой смене рабочих расстояний внутри помещения с более удаленными на короткие. Особенности этих линз:

- дизайн предполагает использование на всех, но преимущественно на увеличенных средних дистанциях до 5 м;
- большие зрительные зоны рассчитаны на ширину и глубину комнаты;
- надежный и гарантированный комфорт по сравнению с PAL при использовании только внутри помещения;
- зрение, свободное от стрессов и усталости;
- большая комфортная зона, как для чтения, благодаря наличию второй фокусной зоны, рассчитанной на расстояние около 40 см.

#### 4.6.6. Индивидуальные параметры

Индивидуальные параметры посадки также оказывают влияние на размер полей зрения. Если не использовать индивидуальные данные оправы и центри-

рования, а заложить в расчет принятые стандартные параметры (которые, несомненно, будут отличаться от параметров реального положения линз относительно глаз), то результирующие поля зрения, доступные для использования, будут несколько ограничены. Использование в расчете дизайна индивидуальных параметров заказчика дает возможность получить идеальные по размеру поля зрения, не зависящие от выбора оправы. Такие линзы называются **индивидуальными**.

### Измерение оптических параметров

Контроль линз для работы вблизи осуществляется в зоне для близи (в специально обозначенной скобками или кругом зоне). В случае пересчета линз в положение ношения (*position of wear*) или по индивидуальным параметрам посадки на конверте линзы, помимо данных рецепта, присутствуют номинальные измеренные значения. Следует помнить, что каждое из этих номинальных значений измеряется в различных точках линзы. Так, номинальные значения сферы, цилиндра и оси приведены при измерении в кружке для близи. Номинальное значение призматического действия определяется в ссылочной точке призмы (часто не маркируется). Значение призматического действия R/L линзы будет одинаковым, если в рецепте нет призматической составляющей. В случае призматического рецепта измеряется результирующее действие рецептурной и утоншающей призм. Значение депрессии не контролируется и определяется производителем.

#### 4.6.7. Влияние базовой кривизны

Классические линзы для близких и средних расстояний обычно имеют переднюю прогрессивную поверхность; рецептурная поверхность наносится по задней поверхности линзы после получения заказа. В таком случае используется предварительно рассчитанный и изготовленный в соответствии с принятой системой базовых кривых стандартизированный полуфабрикат (так называемая полузаготовка). Для классических линз оптимизация в каждом случае выполняется по средней величине рефракции относительно базовой кривизны. Это однозначно приводит к тому, что оптические свойства линз разной оптической силы будут

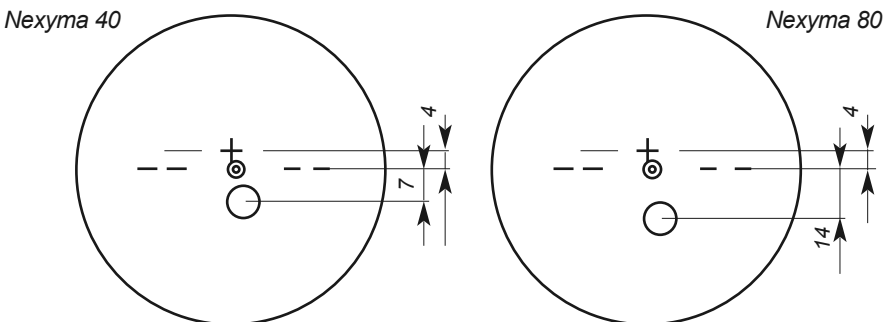


Рис. 4.30. Положение точек контроля (кружки) на примере линзы Nexuta 40 и Nexuta 80

отличаться одна от другой в одном и том же продукте семейства. Для линз, изготовленных по технологии *FreeForm* (например, *Multigressiv Ergo*®), не задействуется единая система оптимизации значения рефракции; значение базовой кривизны оптимизируется для каждого рецепта, чтобы получить наилучшие оптические характеристики.

#### 4.6.8. Установка линз для работы вблизи

Все линзы для работы устанавливаются по правилам, определяемым производителем. Так, для линз от Rodenstock установка осуществляется по общему для прогрессивных линз правилу, в соответствии с которым разметка оправы производится в естественном положении головы и тела при взгляде прямо и вперед. Центровочный крест на линзе располагается при установке напротив центра зрачка (см. рис 4.31). Тип дизайна, аддидация, базовая кривизна и показатель преломления определяются по лазерной гравировке в линзе.

**Пример:** Для линз *Intervista*® от Essilor, каждая зона которых имеет стабильную, но в тоже время разную оптическую силу по всей поверхности, установка осуществляется по краю нижнего века. Зоны со стабильной оптической силой соединены узкой (8–10 мм) промежуточной зоной, в которой происходит изменение оптической силы в сторону ее уменьшения (дегрессии). *Intervista*® – это симметричные линзы (нет правой и левой линзы). Линза имеет видимую разметку и лазерные гравировки. При приеме заказа для правильной установки линзы необходимо произвести посадку оправы по лицу клиента в соответствии с требованиями стандартной выправки, параметры которой приведены на рисунке 4.32.

Перед установкой следует отметить на демо-линзе верхний край нижнего века, указать монокулярное межзрачковое расстояние для близи. Установка осуществляется по краю нижнего века (рис 4.33), горизонтальное центрирование осуществляется по монокулярному PD.

Проконтролировать линзы *Intervista*® можно установив на диоптриметр в зоне, обозначенной скобками. Измеренная рефракция соответствует силе линзы для близи, по которой и осуществляется заказ. Определение значения дегрессии в линзе проще всего делать по гравировальным меткам.

Значок в виде галочки означает дегрессию 0,8 D;

значок в виде треугольника – 1,3 D.

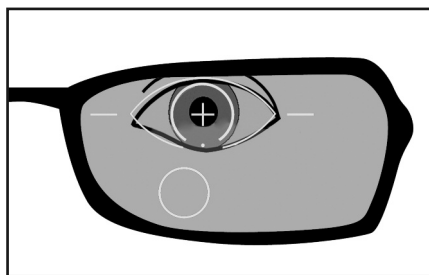


Рис. 4.31. Установка линз семейства *Ergo*® от Rodenstock

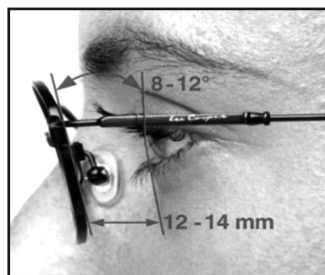


Рис. 4.32. Параметры стандартной выправки

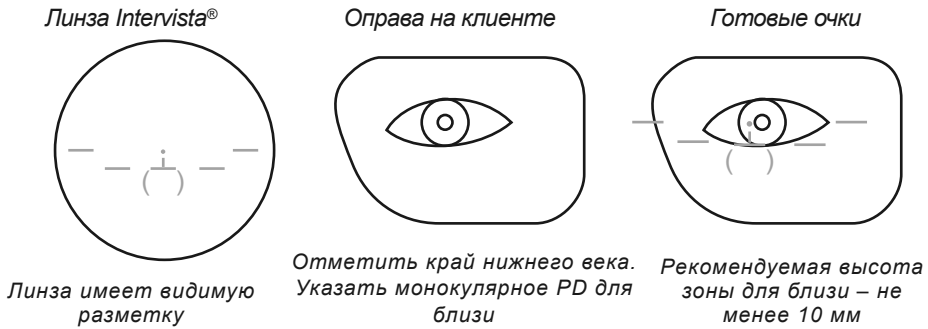


Рис. 4.33. Установка линз *Intervista*® от Essilor

### Вертикальный размер ободка

Следует помнить о различиях в требованиях к размеру ободка и установочной высоте для разных линз. Различия в установочной высоте возникают из-за различного положения базовых точек для близи для каждого типа дизайна линз. Каталоги производителей предоставляют полную информацию по минимальной установочной высоте и размерам проема оправы.

Ниже приведены рекомендации по размерам установки для линз с фиксированным значением аддидации *Nexuta 40* и *Nexuta 80 A/B*.

	<i>Nexuta 40</i>	<i>Nexuta 80 A/B</i>
Центр для дали $V_z$ (центровочный крест)	0	0
Центр для близи (отн. центровочного креста)	$B_N - 11$ мм	-18 мм
Min установочная высота	13 мм	20 мм
Min вертикальный размер ободка	19 мм	26 мм
Рекомендованный размер ободка	23 мм	30 мм

Расстояние от точки  $V_z$  – центровочного креста до верхнего края ободка для линз *Nexuta 80* рекомендуется  $\geq 10$  мм; при этом минимально допустимое расстояние составляет 6 мм. Минимальное расстояние от центра для близи  $D_N$  до нижнего внутреннего края ободка составляет 2 мм

### Замечание о непригодности для вождения

**Все линзы для близи не подходят для вождения, поскольку не обеспечивают коррекцию для дали.**

## ПРИЛОЖЕНИЕ 2:

Примеры названий и характеристик офисных линз линз

Название	Описание
<b>BBGR, Франция</b>	
<b>Extenso</b>	Складские и рецептурные линзы для работы на близких и средних дистанциях с деградациями 1,0 D, 1,5 D, 2,0 D для разных возрастных групп. Линзы <i>Extenso</i> имеют асимметричный дизайн, представлены в пластике 1.5 и 1.6, размечаются и устанавливаются по монокулярному PD для близи.

Название	Описание
<b>BBGR, Франция</b>	
<b>EasyWork Progressiv</b> Линзы для работы на близких и средних дистанциях с индивидуальной деградацией для аддаций от 1,00 до 2,50 D, изготавливается по технологии Digital Sufacing с асферизацией по внутренней поверхности в пластике 1,5, 1,6 и 1,67, стандартная посадка оправы, минимальная установочная высота 15 мм, размечаются и устанавливаются по монокулярному PD для дали.	

## § 4.7. Прогрессивные линзы

Прогрессивные линзы являются наиболее современным и универсальным способом очковой коррекции пресбиопии, где плавный переход от одной рефракции (для зрения вдаль) к другой (для зрения вблизи) получается благодаря сложному процессу расчета поверхностей и их дальнейшей обработки.

### Общие принципы физиологии прогрессивных линз

Традиционно в линзах разделяют три зоны: для дали, для близи и прогрессивного (вариабельного) канала. Такая конструкция призвана обеспечить естественное восприятие видимого объекта, независимо от расстояния, на котором он находится. Резкое детальное видение объекта на различных расстояниях возможно в довольно ограниченной области, порядка 30 градусов. Поэтому зоны прогрессивных линз, в которых используется центральное зрение, должны строить изображения в области желтого пятна сетчатки. Естественное положение головы и тела определяют вертикальные движения глаз при переводе взгляда от удаленного до приближенного объекта. Горизонтальные движения глаз и головы определяют физиологические условия обзора и используемую ширину зон линзы.

Периферическое зрение обеспечивает краевая область сетчатки, позволяющая определить местонахождение предмета, воспринять его форму или следить за его передвижением.

На восприятие истинной формы предмета влияет величина призматического действия в каждой точке линзы. Изменение рефракции в зоне прогрессии приводит к призматическому разделению на поверхности линзы. В зависимости от величины шага призмы происходят те или иные искажения вертикальных и горизонтальных линий, особенно в боковых зонах линз. Поэтому для достижения наилучшего эффекта в линзах прогрессивных очков каждый изготовитель доби-

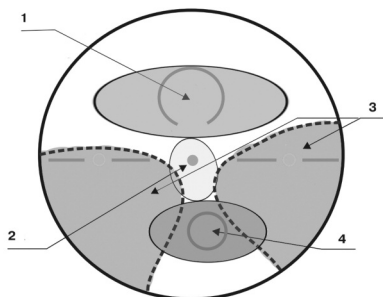


Схема оптических зон классической прогрессивной линзы: 1 – зона для дали, 2 – зона средней дистанции (прогрессивный канал), 3 – периферийные зоны, 4 – зона для близи.

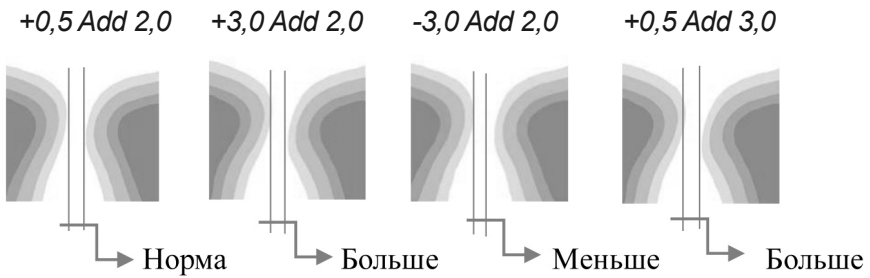


Рис. 4.34. Разное значение инсета для линз, изготовленных по рецептам с плюсовой и минусовой силой и разной аддидацией.

вадается минимальной величины шага призмы. Наилучшее решение – технология изготовления и расчета прогрессивных поверхностей с оптимизацией призматического дифференциала, что особенно важно для хорошей переносимости прогрессивных очков при анизометропии.

Бинокулярное зрение, как известно, обеспечивается согласованными движениями обоих глаз, поддерживающими постоянное направление зрительных линий на точку фиксации и слиянием изображений в единый зрительный образ. При переводе взгляда на близко расположенный предмет происходит естественное сведение осей. Следовательно, направление канала прогрессии рефракции должно происходить так, чтобы конвергенция пациента в очках оставалась естественной. Для этого обе линзы, правая и левая, должны иметь приблизительно одинаковый шаг прогрессии, а зона для близи, в свою очередь, должна быть смещена в сторону носа в зависимости от конвергенции, которая меняется в очках в зависимости от силы линзы для дали, величины аддидации, положения линзы перед глазом, привычного рабочего расстояния и некоторых других параметров. Самым современным способом расчета PAL является метод установления индивидуального закона изменения силы линзы внутри прогрессивного канала и полного контроля за уровнем и расположением зон аберраций.

Смещение ссылочной точки для близи (или центра зоны близи) относительно ссылочной точки для дали называется *инсетом* (*inset*), измеряется в мм и в идеальном случае является в линзах варьируемой величиной в зависимости от вышеперечисленных параметров.

### **Оптические принципы в дизайнах прогрессивных линз**

*Position of wear*, или положение ношения (ГОСТ 13066-2010 п. 9.15), – оптический принцип пересчета оптической силы в линзе в соответствии с положением линзы перед глазом (с наклоном, разворотом) относительно ситуации подбора и положения пробной линзы в пробной оправе или фороптере. Данные заказа при проверке на диоптриметре в ссылочных (базовых) точках для дали и близи отличаются от прописи рецепта. В готовых очках также перед глазом в зависимости от направления взгляда располагаются точки с несколько другой рефракцией. Причиной этого являются отличия в ходе лучей и положении линзы при измерении на диоптриметре, в кабинете при подборе и в готовых очках (см. рис. 4.3 и 4.4 на стр. 125).

Рисунок 4.3 показывает, как изменится эффективное значение аддидации в 2,0 D для разной силы корригирующей линзы в реальной позиции ношения (принцип *position of wear*). Рисунок 4.5 изображает принципиальное различие оптического действия линзы в ссылочных точках для дали и близи.

**Применение принципа *Position of wear* дает следующие преимущества:**

- результирующая сила линзы, которую ощущает глаз при каждом направлении взгляда, полностью соответствует данным рецепта;
- меньшее влияния положения линзы в выбранной оправе на качество зрения;
- гораздо более легкий выбор оправы для линз любой категории;
- высокий уровень оценки линз заказчиками и легкая адаптация.

### **Оптимизация рефракции или прогрессия по передней / задней поверхности**

Обычные прогрессивные линзы изготавливаются из полузаготовки с набором стандартных прогрессивных форм и базовой кривизны передней поверхности. Затем происходит последующая обработка сферо/торической задней поверхности по рецепту. В результате использование одной полузаготовки для всех линз, объединенных в один диапазон рефракций, является обычной практикой. Но, разумеется, это противоречит принципу пунктальной линзы (см. § 4.1). Если рефракция в рецепте отличается от заложенной в расчет дизайнера средней из диапазона, ограничения зрительных полей заметно ухудшают зрение. Эта зависимость носит название *base curve effect* (влияние базовой кривизны).

Оптимизация рефракции по поверхности линзы и перенос прогрессивной поверхности на заднюю поверхность линзы (или распределение прогрессивного действия между передней и задней поверхностью) значительно улучшает оптические характеристики прогрессивных линз. Такие линзы обеспечивают гораздо лучшее бинокулярное зрение благодаря симметричности полей зрения независимо от рецепта (даже при анизометропии), а также снижают плавающий эффект.

### **Призматическое уменьшение толщины (утоняющая призма)**

Наличие вертикальной несимметричности в прогрессивной линзе (нижняя часть из-за более плюсовой рефракции имеет большую кривизну поверхности) требует компенсации. Чтобы сделать линзу тоньше, в конструкцию прогрессивных линз стали вводить призму, равную примерно  $2/3$  Add основанием вниз. Такую призму также называют технологической. Чаще производители используют призматическое уменьшение толщины для линз плюсовых рефракций, чем отрицательных, поскольку это в лучшей мере сказывается на эстетике линз. Оптический эффект от включения призмы заключается в том, что необходимость подъема головы при взгляде через зону для дали и опускания при использовании зоны для чтения сводится на нет, что делает использование очков более удобным. Проверить наличие призматического уменьшения толщины в линзе можно, установив последнюю на диоптриметр в точку призмы. При наличии ре-



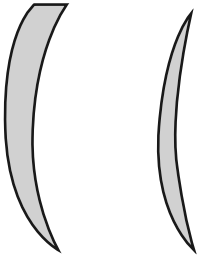


Рис. 4.35. Призматическое уменьшение толщины. Слева – линза без утоньшающей призмы; справа – линза с утоньшающей призмой.

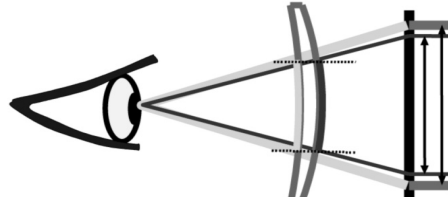


Рис. 4.36. Увеличение полей зрения в линзах с задней прогрессивной поверхностью

цептурного призматического действия в линзе или других компенсаторных призм диоптриметр покажет суммарное значение призматического действия.

### **Технология FreeForm**

Применение технологии *FreeForm* для обработки поверхностей прогрессивных линз позволило не только значительно улучшить эстетику и повысить точность, но и уменьшить собственное увеличение линзы, сделать отражение более равномерным и заметно увеличить размеры чистых зрительных зон по сравнению с традиционными технологиями использования прогрессивной полузаготовки.

Для воспроизведения высокоточных оптических поверхностей необходимы станки с ЧПУ не только для генерации поверхности, но и для ее полировки. Только тогда могут быть реализованы исключительные качества и точность для всех *FreeForm* линз.

### **Расчет по волновому фронту**

В оптике известны два метода расчета и описания оптического изображения. Первый базируется на канонах геометрической оптики при расчете хода лучей, второй – на принципах волновой оптики (расчет по волновому фронту). Расчет по волновому фронту наиболее эффективен для сложных поверхностей, однако является крайне трудоемким. Значительное уменьшение машинного времени расчета линзы (напомним, что прогрессивная рецептурная поверхность рассчитывается для каждой линзы отдельно) было достигнуто благодаря специальному методу описания локальных волновых фронтов, предложенному концерном *Rodenstock*. Данный метод применим практически для всех линз концерна в комбинации с технологией *FreeForm*. Этот высокоэффективный комплексный процесс позволяет реализовать до 2000 различных оптимизаций, включая оптимизацию рефракции, учет индивидуальных параметров посадки и физиологической модели глаза, а также контроль над абберрациями. Так появилась возможность создания самых разных по эксплуатационным свойствам дизайнов. С другой стороны, описание более чем 7000 точек на линзе предъявляет самые высокие требования к оборудованию и программному обеспечению.

### Учет индивидуальных параметров (индивидуальные прогрессивные линзы)

Для обеспечения индивидуальной оптимизации в расчет поверхности линз закладывается монокулярное межзрачковое расстояние, вертексное расстояние, пантоскопический наклон и кривизна оправы. Данные параметры отражают реальное положение очков при ношении.

Из рисунков видно, что наиболее критичными для полей зрения и качества изображения в прогрессивной линзе являются угловые параметры посадки.

Становится понятной рекомендация производителей традиционных прогрессивных линз: выбрать оправу с пантоскопическим наклоном 7–8 градусов.

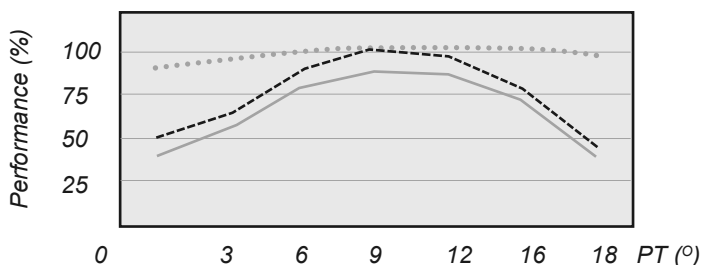


Рис 4.37. Иллюстрация влияния пантоскопического наклона на размер полей и оптическое качество прогрессивной линзы\*

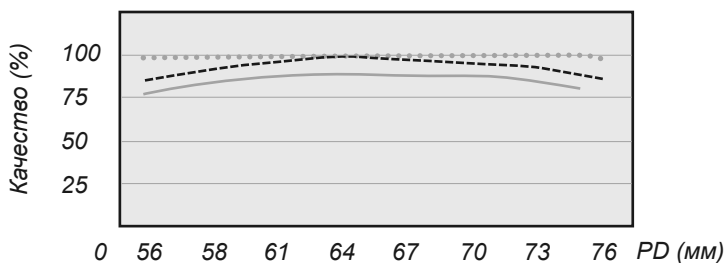


Рис 4.38. Влияние межзрачкового расстояния на размер полей и оптическое качество прогрессивной линзы\*

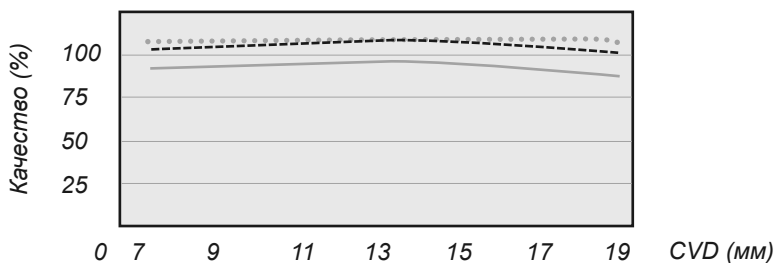


Рис 4.39. Влияние вертексного расстояния на размер полей и оптическое качество прогрессивной линзы по рецепту +2,5 Add 2,0\*

\* Линией ..... обозначена кривая для индивидуальных линз; линией --- — для линз с оптимизацией рефракции; линией — — для стандартных линз с position of wear.

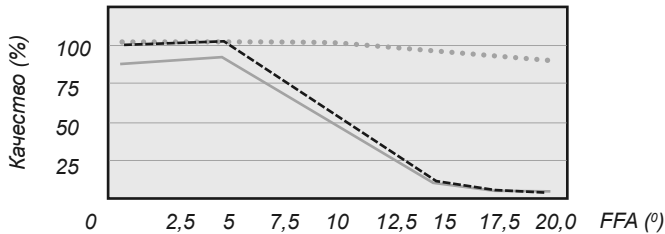


Рис. 4.40. Влияние угла изгиба оправы на размер полей и оптическое качество прогрессивной линзы\*

\* Линией ..... обозначена кривая для индивидуальных линз; линией --- — для линз с оптимизацией рефракции; линией — — для стандартных линз с position of wear.

### Учет аберраций и закон Листинга

Волновой фронт, проходя через глаз, искажается, деформируется из-за наличия множества самых разных аберраций. В результате на сетчатке возникает нечеткое изображение, часто искаженной формы. Большой размер зрачка также провоцирует большие аберрации высоких порядков (англ. сокр. НОА). В очковых линзах даже с применением современных технологий могут быть полностью компенсированы только аберрации более низких порядков, такие как дефокус, призма, астигматизм. Однако их влияние на качество сфероцилиндрической коррекции весьма заметно! Включение аберрационных данных в комплексную технологию расчета и оптимизации линзы дает каждому заказчику оптимальную коррекцию в каждой точке очковой линзы. Это гарантирует идеальное значение сферы и цилиндра для каждого направления взгляда с учетом изменения размера зрачка в процессе зрения.

**Закон Листинга** рассматривается применительно к задачам расчета поверхностей линз при астигматизме. В астигматическом глазу, при изменении направления взгляда, которые сопровождаются вращательными движениями глазного яблока, возникают изменения в расположении главных рефракционных меридианов, которые требуют соответствующей адаптации оси цилиндра в линзе. Это чисто физиологическое явление. Закон, который описывает изменение положения оси цилиндра при верзионных движениях глаза называется **законом Листинга для дали**.

**Пример:** отклонение оси глаза от аксиальной позиции на  $3^\circ$  вызывает отклонение действия цилиндра на 10% по отношению к первоначальному значению. Так, при значении цилиндра 1 дптр и осевом отклонении до  $5^\circ$  астигматическая ошибка составит 0,25 дптр.

Отличие в вергентных движениях при работе вблизи приводит к тому, что описание изменения положения оси по закону Листинга для дали становится некорректным для близи. Модели, разработанные за последние несколько лет в области физиологических исследований, рассматривают движения глаза при зрении вблизи и отображают изменение оси цилиндра в соответствующих точках сетчатки. Они принципиально отличаются от ситуации при зрении вдаль и описываются **законом Листинга для близи**.

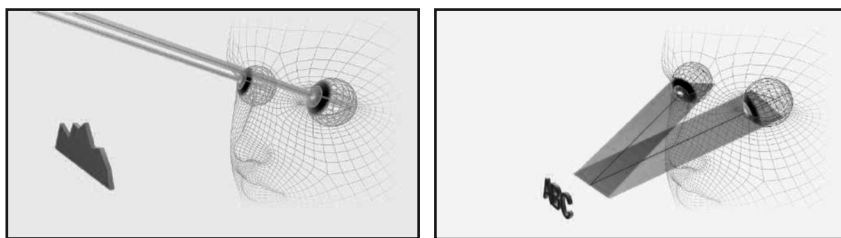


Рис. 4.41. Закон Листинга описывает изменение положения оси цилиндра при верзионных (слева) и вергентных (справа) движениях глаз

Полностью учесть все aberrации глаза позволит включение индивидуальных данных измерения на абберрометре в технологию расчета поверхностей. Это значительно улучшает качество изображения на сетчатке и повышает возможности как центрального, так и периферического зрения. Такого рода оптимизацию предлагает концерн *Rodenstock* с абберрометром *DNEye® Scanner*, отличительной особенностью которого является измерение всех индивидуальных aberrаций не только при зрении вдаль, но и при зрении вблизи. Компания *Zeiss* разработала технологию *i.Scription®*, позволяющую включить в расчет линзы индивидуальные aberrации высших порядков при зрении вдаль. Компания *Rupp & Hubrach* также предлагает подобную оптимизацию, но при этом не имеет собственного абберрометра, так что информация об измеренных данных нуждается в дополнительной обработке.

### **PD-оптимизированный инсет**

В начале этого параграфа уже говорилось о понятии *инсет* и о том, как важна его варьированность для бинокулярного зрения в прогрессивных очках. Один из самых простых шагов улучшения адаптации – включение монокулярного расстояния в расчет положения зоны для близи. Ниже на рисунке 4.42 показано, как меняется конвергенция в зависимости от PD. Видно, что при больших значениях PD величина инсета должна возрастать, а при меньших, соответственно, уменьшаться.

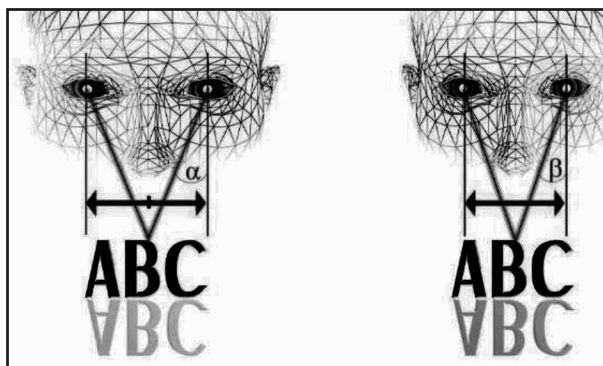


Рис. 4.42. Конвергенция в зависимости от PD

### Оптимизация толщины линзы

Современные линзы отличаются высоким качеством изображения. Однако эстетика и вес очков, особенно плюсовых, также сильно влияют на то, будет ли клиент чувствовать себя в них комфортно. Один из способов минимизировать толщину и вес плюсовой линзы – оптимизация толщины центра линзы за счет уменьшения диаметра. В основе этой оптимизации лежит включение в расчет формы и размера проема ободка оправы. Такой подход позволяет получить самую тонкую линзу для данного рецепта. Производителю очков для оптимизации толщины линзы необходимо ввести данные ее центрирования и проема. Требуется также соблюдать одно из следующих оптических условий: 1) для астигматических рецептов по крайней мере один главный меридиан линзы должен быть положительным; 2) для призматических рецептов значение рефракции должно быть положительным или слабо отрицательным; 3) экономия в толщине и весе должна быть значимой; 4) линза должна быть прогрессивного дизайна или для работы вблизи.

Данная оптимизация, которая может применяться не только к линзам прогрессивного действия, носит название MDM у Rodenstock, Precal у Essilor. Есть такая функция и у Hoya, Seiko, BBGR, Shamir и других производителей.

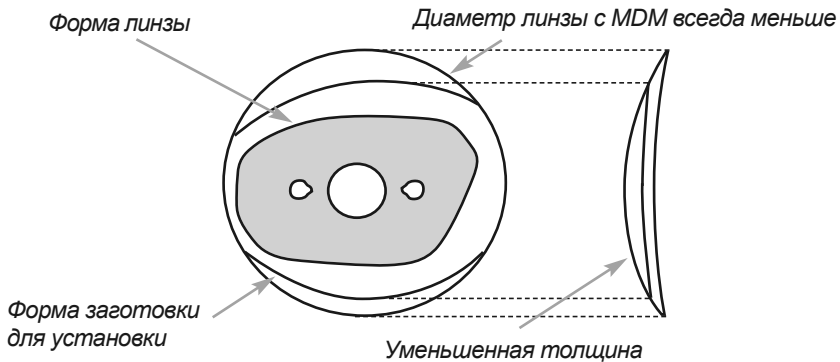


Рис. 4.43. Оптимизация толщины линзы на примере функции MDM

Тип линзы	Стигматическая положительной рефракции	Стигматическая отрицательной рефракции	Астигматическая (хотя бы одно из главных сечений положительное)	Призматическая линза
Одно-фокальная линза	☺	–	☺	☺ в зависимости от сочетания рефракции и положения основания призмы
Прогрессивная линза	☺	–	☺	☺ в зависимости от сочетания рефракции и положения основания призмы
Линза для работы вблизи	☺	–	☺	☺ в зависимости от сочетания рефракции и положения основания призмы

Таблица 4.13. Случаи успешного применения оптимизации толщины линзы

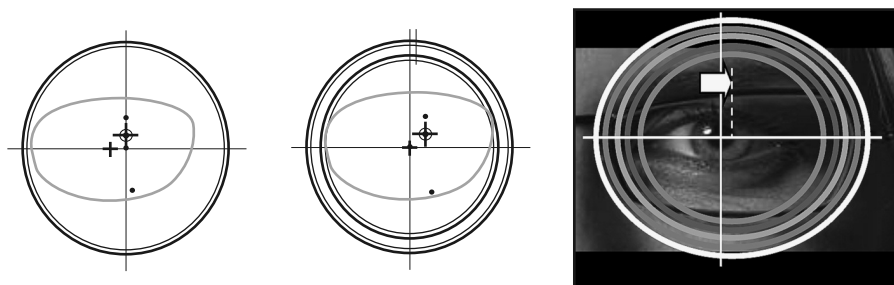


Рис. 4.44. Принцип варьируемой пре-децентрации реализуется в индивидуальных прогрессивных линзах Impression FreeSign 3

### Пре-децентрация

В прогрессивных линзах диаметр часто задается двойным значением – например, 65/70. Это означает децентрацию ссылочной точки для дали (положения установочного креста) относительно геометрического центра линзы. Такая конструкция позволяет получить больший полезный диаметр при минимальном физическом диаметре и уменьшить толщину линзы. Стандартная децентрация составляет 2,5 мм, что дает увеличение полезного диаметра на 5 мм – диаметры 60/65 или 75/80. Если геометрический расчетный диаметр адаптирован индивидуально к форме, размерам проема и данным центрирования, пре-децентрация варьируется и рассчитывается для правой и левой линзы отдельно. Одновременно может применяться выравнивание толщин правой и левой линз в случае ассиметричного расположения зрачков и анизометропии. Варьируемая децентрация позволяет использовать линзу среднего диаметра даже для больших оправ и таким образом получить гораздо более тонкие, легкие и эстетичные очки.

### Прогрессивные линзы при анизометропии

Обратимся к стандартной маркировке и расположению ссылочных точек в прогрессивной линзе. Расстояние  $d$  от геометрического центра до центрирующего креста составляет обычно 4 мм, от геометрического центра до центра зоны для близи –  $p = 14$  мм (рис. 4.45).

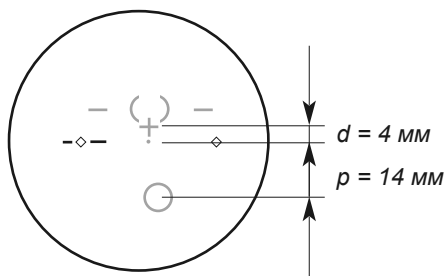


Рис. 4.45. Маркировка и расположение ссылочных точек в прогрессивной линзе:  $d$  – расстояние от геометрического центра до центрирующего креста;  $p$  – расстояние от геометрического центра до точки ближнего зрения

С помощью известной формулы для нахождения призматического действия, справедливой и для прогрессивных линз, можно легко вычислить ожидаемые величины призматичности в центрах зон для дали и близи:

$$P = \frac{F_v \times c}{10}, \text{ где}$$

$F_v$  - рефракция в диоптриях,  $c$  – расстояние от точки определения призмы до оптического центра в мм

**Например,** для рецепта OD -1,0 дптр, OS +1,0 дптр анизометропия составляет 2,0 дптр. Призматическая разность в геометрических центрах линз равна нулю, так как эта точка является исходной точкой для всех призматических действий. На расстояниях 4 мм и 14 мм (см. рис. 4.45) разность рефракций в две диоптрии приведет к разности призматических действий в этих точках 0,4 см x 2,0 дптр = 0,8 пр. дптр и 1,4 см x 2,0 дптр = 2,8 пр. дптр. Таким образом, призматическая разность в зонах для дали правой и левой линз окажется равной 0,8 пр. дптр, а в зонах для близи – 2,8 пр. дптр соответственно. При таком рецепте у пациента, возможно, возникнет проблема при использовании зоны для чтения прогрессивной линзы, так как разница вертикальной призмы в зоне ближнего зрения, равная почти 3 пр. дптр, критична для переносимости. Обращаем внимание, что расчет произведен для линзы с коротким коридором, то есть для дизайна, обладающего минимальной призматичностью в зоне близи. Поэтому при первичной коррекции анизометропии более 1,0 дптр в условиях наличия бинокулярного зрения назначать стандартную прогрессивную линзу следует крайне осторожно. Если производитель допускает это для любых, а не только для узких оправ, стоит использовать линзу с коротким коридором.

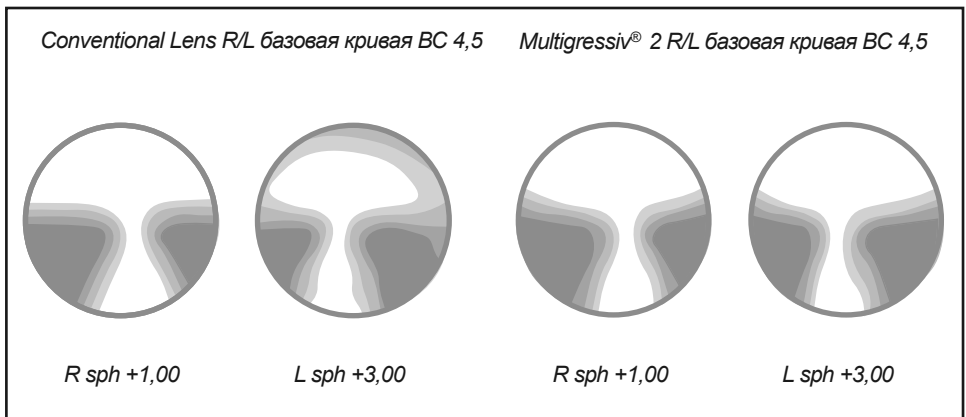


Рис. 4.46. Анизометропия: результат использования одной базовой кривой для R/L.

Видно, что у линзы Multigressiv® поля зрения остаются одинаковыми для различных рефракций правой и левой линз.

Сложности адаптации при прогрессивной коррекции анизометропии можно заметно уменьшить, если использовать линзу со специально разработанным дизайном. Если конструкция и компьютерный расчет поверхности позволяют свети к переносимому минимуму разницу вертикальных призм и полей зрения в прогрессивной линзе, то такую линзу можно рекомендовать и при больших степенях анизометропии. Одним из ярких примеров таких дизайнов являются линзы семейства *Multigressiv*<sup>®</sup> компании *Rodenstock*. Так, при клинических тестах линза успешно использовалась пациентом-миопом при сферической анизометропии в 1,5 D и разнице цилиндрических составляющих для правого и левого глаза в 0,75 D при условии косых осей. Срок адаптации составил один день. Пациент, ранее носивший другие прогрессивные линзы, оценил *Multigressiv*<sup>®</sup> *MyView 2* как наиболее комфортный вариант.

*Как видно из рис. 4.46, у линзы Multigressiv<sup>®</sup> даже при использовании одинаковой базовой кривизны правой и левой линзы, что не типично при анизометропии, поля зрения остаются одинаково широкими для различных рефракций правой и левой линз.*

### **Учет зрительного поведения в дизайне**

Моделирование дизайна прогрессивной линзы с целью получения индивидуально ориентированных оптических зон, их размеров, а также контроль за зонами аббераций – еще один из признаков самых высокотехнологичных прогрессивных линз. С 2007 года, когда компания *Rodenstock* создала линзу *Impression FreeSign*<sup>®</sup>, эта идея продолжает развиваться. Так, компания *BBGR* в линзах *Intuitiv* предложила учитывать различия в направлении взгляда у правой и левой при чтении с помощью технологий *Ergonomic Technology* и *VisionBooster*. Эти современные технологии расчета обеих прогрессивных поверхностей при распределении аддидации по обеим поверхностям линзы заключаются в увеличении количества точек оптимизации поверхности в 5 раз (чтобы улучшить оптические характеристики для каждого рецепта) и в дополнительной асферизации индивидуальных областей линзы (чтобы улучшить зону ближнего зрения). Оптимизация характеристик зоны для близи осуществляется на основе анализа реального движения взгляда по поверхности линзы с учетом латерализации (приоритет рабочей руки). Это позволило увеличить поля зрения при работе на ближних дистанциях и сгладить переход между оптическими зонами линз. Дизайн линз для левшей и для правшей, таким образом, имеет принципиальное отличие в направлении увеличения этих зон. У левшей увеличение происходит симметрично в обе стороны, у правшей – в темпоральную и назальную стороны для правой и левой линзы соответственно. В результате любой клиент, будь он правша или левша, получает максимально широкие зоны для работы вблизи и на средних расстояниях, а также, по утверждению 85% клиентов, улучшенный зрительный комфорт вблизи.

### **Специальные прогрессивные линзы**

Рассмотрим случаи применения специальных дизайнов прогрессивных линз. В этом ряду:

- 1) **прогрессивные линзы для коррекции высоких миопий;**
- 2) **прогрессивные линзы для коррекции высоких гиперметропий;**
- 3) **спортивные прогрессивные линзы.**



При высокой степени миопии высока и кривизна задней поверхности очковых линз. В результате эффективные оптические и оптически полезные зоны линзы резко сокращаются. Параллельно наблюдаются сильное уменьшение размера предмета (что дополнительно снижает визус), большие периферические аберрации, уменьшение полей зрения, а также повышенный плавающий эффект, который приобретает скачкообразный характер. При этом близорукий человек меньше поворачивает глаза для рассматривания периферийно расположенного предмета, чем эметроп или гиперметроп. Специально для группы миопических пациентов с рефракциями ниже среднестатистических был увеличен диапазон оптической силы линз *Impression® Myop*: он составляет от  $-4,25$  до  $-17,0$  дптр при цилиндре  $6,0$  дптр. Правильная центровка очень важна для линз высоких отрицательных рефракций. Именно поэтому при работе со специальными прогрессивными линзами ошибки центрирования должны быть исключены, а разметку и установку следует производить с особой тщательностью. Из-за высоких показателей преломления и дисперсионности при ношении линз высоких отрицательных рефракций могут также появиться жалобы на цветные полосы, особенно если до этого использовались очки с линзами из материалов с низкими показателями преломления.

Для положительных линз высоких рефракций свыше  $8$  дптр нет «решения» выбора конструкции линзы с минимальными аберрациями: теория дает очень сильную рефракцию передней поверхности. Это означает очень заметное увеличение в линзе, сильные ограничения по диаметрам и выбору оправы, высочайший уровень периферических аберраций. Также нельзя забывать, что современные линзы — это всегда компромисс между хорошей оптикой и внешней привлекательностью.

Для примера рассмотрим некую виртуальную поверхность прогрессивной линзы  $Sph +11,0 D Add 2,0 D$ . Аберрационная картина на рисунке 4.47 четко показывает, что у обычной прогрессивной линзы поле зрения для дали очень маленькое, а зона близи практически отсутствует; уровень астигматизма для близи превышает  $1,5 D$ . Чтобы снизить аберрации на периферии прогрессивных линз,

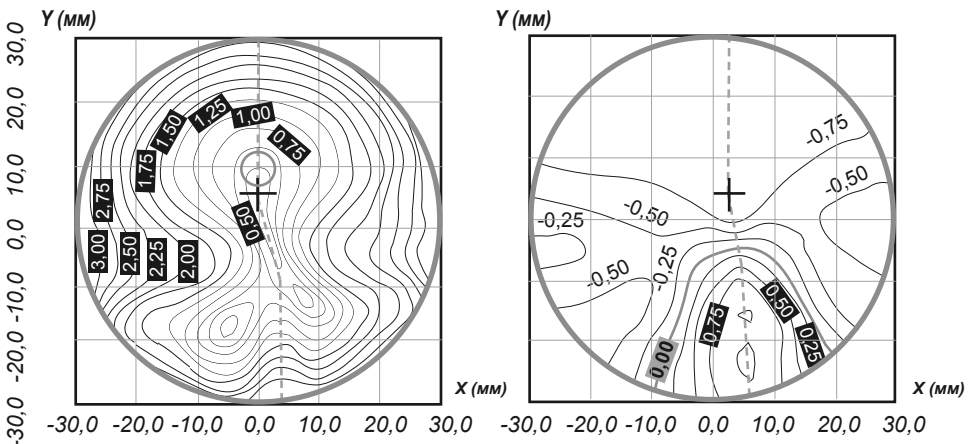


Рис. 4.47. Уровень астигматизма в обычной прогрессивной линзе (слева) и *Impression Hyperop* (справа) для рецепта  $Sph +11,0 D Add 2,0 D$

фокальная рефракция на периферии зоны для дали должна возрастать, а на периферии ближней зоны – снижаться. Такому принципу соответствуют так называемые сложные полиномиальные поверхности, которые и были положены в основу конструкции индивидуальной прогрессивной линзы *Impression® Hyperop* от *Rodenstock*. Линза изготавливается в диапазоне рефракций от +6,0 до +13,0 D / с<sub>yl</sub> +6,0 D в материале 1.67, включая фотохромный пластик, и представлена в двух вариантах длины коридора – обычном и коротком (XS).

К особенностям работы с такими линзами, изготовление которых возможно только по технологии *FreeForm* с применением специальных программ, относятся заказ функции оптимизации толщины и обязательное применение AR-покрытия с высокими свойствами гашения отражения (из-за высокого показателя преломления и очень плоской задней поверхности). Следует помнить также, что для линз крайних диапазонов измерение рефракции на диоптриметре в зоне для близи невозможно из-за высокой призмы (до 18 см/м) и дисперсии (окрашивания марки). В случае жалобы выяснение причин возможно только при измерении на специальной установке SPV1 в Мюнхене.

Ниже приведены преимущества специализированных прогрессивных линз при высоких степенях аметропии.

### **Проверка и установка прогрессивных линз**

Фактическая геометрия прогрессивной поверхности является коммерческой тайной фирмы–изготовителя. Но исходя из соображений правильности работы всех зон, четкости установки и проверки маркировка, гравировка и правила сборки прогрессивных линз в оправу едины и знакомы всем оптикам.

#### **Преимущества *Impression Myop***

- *Оптимальная коррекция даже для людей с высокой степенью миопии благодаря специальному расчету поверхности и учету параметров оправы и данных центрирования (PD, CVD, пантоскопическому наклону и углу кривизны оправы).*
- *Дизайн линзы специально разработан для высоких отрицательных рефракций. Минимальный плавающий эффект и максимально высокое качество зрения.*
- *Свобода выбора оправ благодаря выбору длины зоны прогрессии – короткой или длинной.*
- *Очень высокая спонтанная адаптация.*
- *Идеальные по величине и расположению поля зрения.*
- *Высокая степень удовлетворенности заказчиков благодаря максимальной индивидуализации линз.*

#### **Преимущества *Impression Hyperop***

- *Пациенты даже с очень высокой степенью гиперметропии получают возможность носить прогрессивные линзы.*
- *Линзы столь высокой оптической силы при этом чрезвычайно легки и эстетичны.*
- *Особый дизайн, разработанный для высоких степеней гиперметропии, гарантирует оптимальное качество зрения.*
- *Очень высокая спонтанная адаптация.*
- *Совершенное качество оптики и идеальная комфортность зрения благодаря индивидуальному изготовлению линз для каждого заказчика в соответствии с оправой.*
- *Свободный выбор оправ – даже маленьких, предпочтительных для плюсовых рефракций, с узкими световыми проемами.*

Стандартная процедура установки – набор действий, в результате выполнения которых ссылочная точка для дали (*установочный крест*) расположится напротив зрачка при прямом направлении взгляда, а гравировальные метки (*горизонтальные*) – параллельно средней линии оправы.

Для измерения оптических параметров самой линзы используют штамп на линзе (маркировку) или восстанавливают его по гравировальным меткам и картам центрирования, предоставляемыми изготовителем. Верхний полукруг или скобки используют для определения оптической силы линзы в зоне для дали, круг в нижней части линзы – для определения ее рефракции в зоне для близи. Однако, с учетом особенностей коллимационной конструкции диопметров, измерения в зоне близи неточны. Проще проверять значение аддидации по гравировке линзы. Двухзначная цифра в нижней височной части линзы обозначает аддидацию (*например, «12» – Add = 1,25 D*). Призматический эффект линзы измеряется в ссылочной точке призмы. Обычно величина призматического действия, которую определяют в этой точке, возникает из-за наличия утоньшающей призмы, выравнивающей верхний и нижний края линзы по толщине, за исключением случаев, когда призма назначается врачом специально. В этом случае величина призматического действия будет складываться из имеющейся величины утоньшающей призмы и той, что прописана по рецепту, с учетом расположения основания.

Длина коридора прогрессии может быть определена по гравировке или – гораздо менее точно – как расстояние от линии горизонтали, обозначенной знаками гравировки (*ромбами, кружками и др.*) до середины зоны ближнего зрения (*центра кружка*).

Для восстановления расположения центрирующего креста и зон прогрессивной линзы используют гравировки и специальные карты или приспособления. Восстановление горизонтали осуществляется по знакам гравировки, которые находятся на одной горизонтальной линии с геометрическим центром линзы на расстоянии 34 мм друг от друга. Восстановление центровочного креста следует производить по картам, которые предоставляет производитель для каждого типа прогрессивных линз.

### ПРИЛОЖЕНИЕ 3:

*Примеры названий и характеристик прогрессивных линз*

Название	Описание
<b>BBGR, Франция</b>	
<b>Intuitiv Mio</b>	<i>Индивидуальные прогрессивные линзы. Технология расчета и изготовления Digital Surfacing (фри форм). Расчет ширины полей зрения и компенсация периферических аберраций по запатентованной Биометрической технологии (анатомия глаза). Учет индивидуальных параметров: рецепта, монокулярного PD, посадки оправы, положения зрачка в световом проеме, комфортного расстояния для чтения. Запатентованная технология Ergonomic Technology обеспечивает индивидуализацию и увеличение зоны для близи по параметру рабочей руки. Индивидуальный коридор прогрессии и оптическая оптимизация Digitali. Благодаря расчетной запатентованной технологии Vision Booster поднята и увеличена зона средних расстояний.</i>

		Название	Описание
		<b>BBGR, Франция</b>	
Индивидуальные		<b>Anateo Mio</b>	Индивидуальные прогрессивные линзы. Технология расчета и изготовления Digital Surfacing (FreeForm). Расчет ширины полей зрения и компенсация периферических аберраций по запатентованной Биометрической технологии (анатомия глаза). Учет индивидуальных параметров: рецепта, монокулярного PD, посадки оправы, положения зрачка в световом проеме, комфортного расстояния для чтения. Индивидуальный коридор прогрессии и оптическая оптимизация Digitali.
		<b>Anateo Dsi</b>	Индивидуальные прогрессивные линзы. Технология расчета и изготовления Digital Surfacing (FreeForm). Расчет ширины полей зрения и компенсация периферических аберраций по запатентованной Биометрической технологии (анатомия глаза). Учет индивидуальных параметров: рецепта, монокулярного PD, посадки оправы, положения зрачка в световом проеме. Универсальный и короткий коридор прогрессии. Оптическая оптимизация Digitali по запросу.
Оптимизированные		<b>Evolis Dsi</b>	Оптимизированные прогрессивные линзы. Технология расчета и изготовления Digital Surfacing (FreeForm). Учет горизонтальных и вертикальных призматических эффектов. Учет индивидуальных параметров посадки оправы. Универсальный коридор и короткий коридор прогрессии. Оптическая оптимизация Digitali по запросу.
Классические		<b>Sirus</b>	Классические прогрессивные линзы. Мягкий дизайн. Технология расчета и изготовления Digital Surfacing (FreeForm). Внутренняя прогрессия, мультидизайн. Учет горизонтальных призматических эффектов. Контроль периферических аберраций в зависимости от аддидации. Универсальный и короткий коридор прогрессии. Оптическая оптимизация Digitali по запросу.

Ниже в качестве примера выборочно представлены прогрессивные линзы разных производителей

Категория PAL		Rodenstock	Essilor	SEIKO	Оптимизированные
Индивидуальные		Impression FreeSign 3 Impression 2, Impression Hiperop, Impression Myop, Impression Fashion Curved 2 Impression Sport 2	Varilux S 4D Varilux S 3D Varilux S 2 Varilux Physio 3.0 f-360°	SEIKO PRIME X SEIKO DRIVE X SEIKO CURVED X	
Классические		Multigressiv MyView 2	Varilux S Design Varilux Physio 2.0	SEIKO SUPERIOR Xcel SEIKO EMBLEM Xtra Wide	
		Progressiv Pure Life Free 2 Progressive Life Free 2	Varilux Comfort 3,0 Varilux Liberty NE	SEIKO SYNERGY Xtra SEIKO VISION X SEIKO WING	

## §4.8. Окрашенные линзы

Основное назначение окрашенных линз – защищать орган зрения от избыточного излучения, в первую очередь от избыточного солнечного света. Таким образом, окрашенные линзы являются оптическими фильтрами и призваны либо изменять интенсивность и спектральный состав света, проходящего через линзу, либо снижать зрительную нагрузку (как это делают, например, медицинские фильтры) и в целом улучшать зрительное восприятие. Идеальный фильтр не должен вносить искажения цветоощущения и снижать остроту зрения.

По принципу действия светофильтры делятся на поглощающие и отражающие.

**Поглощающие фильтры** поглощают проходящий сквозь них свет и преобразуют его в энергию другого типа. Все линзы из цветных органических или неорганических материалов являются поглощающими.

**Отражающие фильтры** защищают глаз за счет отражения нежелательного излучения. Как правило, это покрытия в виде отражающих пленок, например, зеркальные.

По световому пропусканию фильтры делятся на пять категорий:

- **прозрачные;**
- **слабоокрашенные;**
- **среднеокрашенные;**
- **темные;**
- **очень темные.**

*Отечественный стандарт ГОСТ Р 53950-2010 «Линзы очковые нефасетированные готовые» указывает только на условия использования окрашенных линз для вождения – очковые линзы со световым коэффициентом пропускания менее 8% не предназначены для вождения. При этом допускается взаимное наложение категорий 0, 1, 2 и 3 по значениям коэффициентов пропускания не более  $\pm 2\%$ .*

Существует и другие виды классификации по коэффициенту пропускания, например, для разных стран и континентов.

Отдельно могут рассматриваться допустимые пределы пропускания в диапазоне ультрафиолетового излучения УФ-А и УФ-Б.

*Косметические линзы* практически не осуществляют защиту глаза от ультрафиолетового излучения. *Линзы массового применения* предназначены для использования в летнее время в средних широтах. Линзы высокой степени защиты ориентированы для применения в условиях высокогорья, заполярья, экваториально-тропических регионов и условий озоновых аномалий.

На сегодняшний день принято оценивать все линзы, не только солнцезащитные, по степени блокировки жесткого УФ-излучения. При этом их делят на 2 потребительские группы: так называемые линзы UV400, отсекающие ультрафиолетовый диапазон короче 380–400 нм, то есть фактически блокирующие его полностью, и линзы, не пропускающие ультрафиолет короче 350 нм, но пропускающие более длинноволновые УФ-лучи. Производители очковых линз стараются максимально повысить порог защиты. Так, в 2016 году компания *Rodenstock* заявила о переходе к высокоиндексным пластиковым материалам с блокировкой в 400 нм независимо от того, окрашена линза или нет, повысив

свой предыдущий порог в 380 нм. Отечественная разработка – покрытие «Озон» для линз из CR39, получившее золотую медаль в Брюсселе на Всемирном салоне изобретений и инноваций за совокупность свойств. «Озон» полностью гасит коротковолновое излучение, обеспечивает хорошую цветопередачу, повышает четкость и контрастность.

По характеру пропускания солнечного излучения различают:

**а) равномерно окрашенные фильтры (в массе);**

**б) градиентные фильтры;**

**в) фотохромные**

Интересный исторический факт: самыми древними солнцезащитными очками были эскимосские очки – костяные щитки с прорезями, ограничивающие количество попадающего в глаз света. Одновременно они могли несколько повышать остроту зрения за счет увеличения глубины фокуса (эффект апертуры, который положен также в основу принципа действия «дырчатых» очков). Первая большая промышленная партия очков с защитой от солнца была выпущена двести лет назад во Франции для солдат наполеоновской армии, участвовавших в африканской войне. Первые диоптрийные цветные солнцезащитные линзы были выпущены в конце 19 века на фабрике *Rodenstock* в Баварии. Во время Второй мировой войны моряки и летчики американской армии в обязательном порядке снабжались солнцезащитными очками (*Ray-Ban* фирмы *Boush & Lomb*), стеклянные линзы которых не пропускали излучение с длиной волны менее 400 нм.

Информацию по видам окраски пластиковых линз (тонировкам) можно без труда найти в каталогах производителей, отдельно выпущенных брошюрах, учебниках по очковой оптике. Поэтому остановимся на тех видах очковых фильтров, которые не так часто употребляются и потому описаны не столь подробно.

### **Поглощающие минеральные фильтры**

Большинство поглощающих минеральных фильтров изготавливаются из цветного стекла. Окрашивание стекла получается в результате добавления в расплав компонентов, ослабляющих излучение различных длин волн – например, УФ-лучей, ИК-лучей. Есть фильтры, поглощающие в желтой области спектра, контрастные фильтры. Шире всего распространены поглощающие минеральные фильтры зеленого цвета, поглощающие как УФ-, так и ИК-излучение. Пропускание таких фильтров зависит от толщины линзы, поэтому они редко используются для изготовления корригирующих линз значительной оптической силы.

### **Контрастоповышающие фильтры**

Ослабление синей составляющей спектра для здорового зрительного аппарата дает некоторое повышение контрастности восприятия. Причиной такого эффекта является успешная борьба с хроматическими аберрациями оптической системы глаза, из-за которых излучение синего цвета фокусируется перед сетчаткой (см. § 2.8). При избытке рассеянного синего света в изображении на сетчатке присутствует значительная составляющая расфокусированного синего фона, которая и размывает контуры предметов. Поэтому контрастный фильтр должен поглощать излучение с длиной волны меньше 450 нм, повышать пропус-

кание до максимума в районе 525 нм и поддерживать его стабильным для остальных длин волн видимого спектра. Считается, что контрастность сильнее всего повышают линзы желтого цвета и так называемы «блю-блокеры». Это не совсем так. Из всех цветов наибольшим эффектом усиления контрастности обладает оранжевый. Значительная блокировка прохождения синего света в «блю-блокерах» приводит к изменению цветоощущений. Поэтому желтые линзы хороши в условиях тумана и отсутствия обильной цветовой информации. А для спортивных очков и очков для вождения автотранспорта следует выбирать специальные решения с «правильным» повышением контрастности без цветовых искажений. Например, окраски SunContrast, представленные в восьми разных цветах интенсивностью от 40 до 85% (Rodenstock) или IndoforNight – особый желтый фильтр с 5% светопоглощением для улучшения зрительного восприятия в условиях ночного вождения и плохой освещенности (Indo), Yellow Submarine и Orange Zest (BBGR). Эффект повышения контрастности может быть включен в фотохромную линзу, как это сделано в технологии ColorMatic IQ Sun (Rodenstock). Фирма Younger Optics представляет DriveWear – линзы, которые разработаны и созданы специально для водителей с помощью двух технологий: поляризации и фотохромной технологии Transitions. Это обеспечивает наилучшее зрение в разных условиях освещения, от пасмурной погоды до яркого солнца.

### **Медицинские фильтры**

Для групп пациентов с глазными патологиями разрабатывают блокировочные фильтры направленного действия, которые гасят определенную длину волны в нужном диапазоне спектра видимого света (с разной силой – от отражения до пропускания). Поскольку единых объективных критериев для назначения специальных фильтров не существует, определение линз, наиболее подходящих конкретному пациенту, обычно производится методом подбора (особенно при таких дегенеративных глазных заболеваниях, как пигментная дистрофия сетчатки или диабетическая ретинопатия). Пациенты субъективно оценивают визуальный комфорт, предоставляемый различными типами фильтров. В качестве примера можно привести IndoCare – разработанные компанией Indo специальные линзы, в которые встроены медицинские фильтры с повышенной защитой от ультрафиолета. IndoCare рекомендуют при глазной патологии и нарушениях зрения, когда требуется фильтрация световых волн длиной 440 нм, 500 нм, 527 нм.

**Однако существует и несколько достаточно четких рекомендаций для назначения такого рода фильтров. Приведем примеры.**

*F 451 и F 452 от Zeiss – светофильтры голубого цвета с поглощением 57 и 82%. Снижают до уровня ниже 20% светопропускание в части диапазона видимого света от 550 до 650 нм и не подходят для вождения автомобиля. Предназначены для пациентов с врожденной ахроматопсией в виде синего колбочкового монохроматизма – редкой формы ахроматопсии, встречающейся в подавляющем большинстве случаев у мужчин. Синий колбочковый монохроматизм (X-сцепленная неполная ахроматопсия) относится к неполной форме ахроматопсии, которая часто сопровождается также непереносимостью света, нистагмом, ночной или дневной слепотой и сниженной остротой зрения. Голубой фильтр F 451 и темно-синий фильтр F 452 можно использовать для*

увеличения контрастной чувствительности, остроты зрения и улучшения сумеречного зрения.

Фильтры F 60, F 80, F 90, F 540, F 560 и F 580 от Zeiss были разработаны и протестированы в сотрудничестве с международными институтами офтальмологии. Фильтры относятся к категории от 1 до 3 согласно DIN EN ISO 8980-3. Цвет, область применения и параметры пропускания приведены ниже:

<b>F 60: красно-коричневый, 60% поглощения при 600 нм; пигментная ретинопатия</b>
<b>F 80: коричневый, 80% поглощения при 600 нм; пигментная ретинопатия</b>
<b>F 90: темно-коричневый, 90% поглощения при 600 нм; пигментная ретинопатия</b>
<b>F 540: ярко-оранжевый, 50% поглощения при 540 нм; ахроматизм и диабетическая ретинопатия</b>
<b>F 560: оранжевый, 50% поглощения при 560 нм; ахроматизм и диабетическая ретинопатия</b>
<b>F 580: красный, 50% поглощения при 580 нм; ахроматизм и диабетическая ретинопатия</b>

Фильтр L400 от Rodenstock рекомендуется при афакии, фотокератите, макулодистрофии и катаракте, поскольку он не пропускает все УФ-лучи и излучение в коротковолновом диапазоне спектра до 400 нм. Также рекомендуется общее применение для людей, подвергающимся сильному воздействию активного излучения. L400 имеет светло-коричневый оттенок с коэффициентом поглощения 12–15%.

Фильтр L660 от Rodenstock не пропускает все УФ-лучи и блокирует все лучи от 500 нм до 660 нм, дополнительно обеспечивая защиту от бликов благодаря высокому светопоглощению 80 или 90%. Исследования в клинике при Университете офтальмологии в Гейдельберге показали, что данный фильтр эффективен прежде всего в случае дегенерации сетчатки. Наиболее распространенной формой заболевания является пигментная дегенерация, при которой наблюдается слабая темновая адаптация, тоннельное зрение и кольцевая скотома на завершающей стадии. Применение L660 также показано при ретинопатии, макулодистрофии и других патологиях сетчатки, а также в послеоперационный период в качестве защитных очков для снижения зрительной нагрузки и солнцезащитных очков высокой степени защиты.

Оба фильтра изготавливаются в очень широком диапазоне значений рефракций, включая астигматическую и призматическую составляющие.

### **Фильтры в ИК-диапазоне**

В отличие от УФ-излучения, результаты воздействия ИК-лучей не накапливаются в тканях организма, так как они гораздо слабее поглощаются средами глаза. При этом значительная доля ИК-излучения достигает сетчатки. В офтальмологии высокоинтенсивное воздействие ИК-лучей на хрусталик связывают с возникновением катаракты и ожогами светочувствительной ткани сетчатки, образованием на ней рубцов, что ведет к ухудшению зрения. К инфракрасной части спектра относят излучение с длиной волны от 740 нм (окончание диапазона длин волн видимого спектра) до 2000000 нм. Весь диапазон инфракрасного излучения делят на три составляющих:



**коротковолновая область:  $\lambda = 0,74-2,5$  мкм;**

**средневолновая область:  $\lambda = 2,5-50$  мкм;**

**длинноволновая область:  $\lambda = 50-2000$  мкм**

Ближние коротковолновые инфракрасные лучи даже не теплые, люди их не чувствуют. Этот вид ИК-излучения используется в дистанционных пультах управления; частота и энергия его выше, чем у длинноволнового, но не на том уровне, чтобы навредить нашему организму. Тепло ощущается при средних и длинных волнах ИК-лучей. Например, тепло, исходящее от выключенной, но все еще раскаленной конфорки электроплиты, – это и есть средние инфракрасные волны. Длинноволновые инфракрасные лучи обладают меньшим уровнем энергии и создают тепло. Пример такого излучения – инфракрасные лампы, или тепловые лампы, используемые в косметологии и физиотерапии.

Наиболее опасным принято считать ИК-излучение с длиной волны 1400 нм. Обычно защита от инфракрасного излучения выглядит как маска из стекла, прикрывающая не только глаза, но и лицо. Такого рода защитные устройства применяются, например, в горячих цехах металлургических производств или при сварочных работах. Специализированные защитные очки имеют отражающее металлическое покрытие из алюминия, никеля, хрома, золота. Применение стекла обусловлено нестабильностью пластиков при нагреве. Стекланные инфракрасные светофильтры обычно имеют зеленый цвет благодаря наличию оксида железа в составе стекла. Очковая линза Uropal из минерального стекла 1.6 от Zeiss имеет красивый топазовый оттенок и благодаря добавлению селена частично гасит инфракрасное излучение.

С некоторыми ограничениями можно использовать ИК-светофильтры из поликарбоната.

*В конце 2015 года интересное решение для рефракционных линз спортивных и солнцезащитных очков предложил концерн Rodenstock – комбинацию зеркального и просветляющего фильтра Solitaire® Red Sun 2. Это фильтр для ИК-лучей солнечного света, вызывающего тепловую нагрузку на глаза. Снижение интенсивности осуществляется за счет отражения от передней поверхности линзы за счет действия зеркального и дополнительных специальных слоев.*

## § 4.9. Покрытия очковых линз

Для повышения функциональных, эксплуатационных и эстетических свойств на очковые линзы наносят покрытия:

- **просветляющие, или антирефлексные;**
- **защитные, которые, в свою очередь, делятся на упрочняющие, грязе- и водоотталкивающие;**
- **от излучения определенного спектрального состава, в том числе солнцезащитные;**
- **антистатические;**
- **декоративные.**

Типичное **многофункциональное покрытие** включает несколько последовательных слоев, нанесенных на материал очковой линзы: упрочняющее покрытие

(повышает сопротивляемость к образованию царапин), адгезионный слой (для сцепления упрочняющего и просветляющих слоев), просветляющие слои (для снижения отражения и повышения коэффициента пропускания), гидрофобный слой с антистатическими свойствами (для повышения устойчивости к загрязнению и оседанию пыли).

### **Просветляющие, или антирефлексные покрытия**

В очках в основном обращают внимание на отражения, которые мешают человеку, носящему очки (так называемые внутренние или корнеальные), и отражения, видимые окружающим людям (внешние).

Основная причина использования антирефлексных покрытий – снижение внутренних отражений, которые приводят:

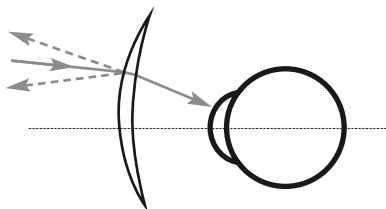
- к уменьшению субъективной яркости изображения объектов;
- к уменьшению контраста изображения объектов, особенно в сумерки и в ночное время;
- к появлению вторичных (паразитных) изображений.

Возможно также появление в поле зрения предметов, расположенных сзади.

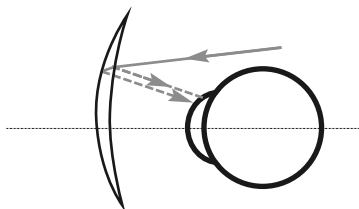
В зависимости от показателя преломления материала каждая линза имеет свой уровень отражения. В *таблице 4.14* можно увидеть потери на отражение в линзах из материалов с различными показателями преломления.

Для линзы, изготовленной из стекла с самым высоким показателем преломления  $n = 1,9$ , потери составят примерно 18%, то есть почти пятая часть падающего излучения не достигнет глаза наблюдателя. В пересчете на остроту зрения это составляет почти две строчки таблицы из десяти.

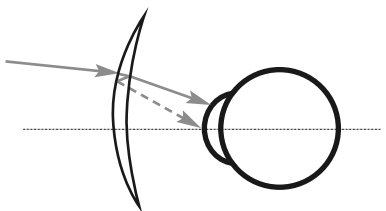
а) *Отражение от передней поверхности*



б) *Отражение от задней поверхности*



с) *Внутренние переотражения в линзе*



с) *Отражения от роговицы (корнеальные)*

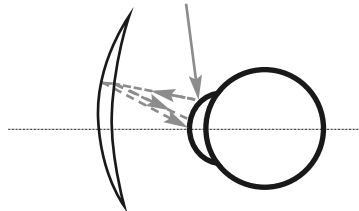


Рис. 4.48. Виды отражений

Таблица 4.14

Материал линзы	Показатель преломления	Потери на отражение		Пропускание
		от поверхности	общие	
Минеральное стекло	1,525	4,32%	8,40%	91,60%
Минеральное стекло	1,604	5,38%	10,50%	89,50%
Минеральное стекло	1,706	6,81%	13,10%	86,90%
Минеральное стекло	1,800	8,16%	15,60%	84,40%
Минеральное стекло	1,893	9,53%	18,10%	81,90%
Пластик	1,502	4,03%	7,90%	92,10%
Фотохромный пластик	1,520	4,26%	88,30% *)	*)
Пластик	1,597	5,28%	10,30%	89,70%

\*) зависит от затемнения линзы

Таблица 4.15

Показатель преломления	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9
Коэффициент отражения $r$	0,04	0,053	0,067	0,081	0,096
Коэффициент пропускания $t$	0,922	0,897	0,870	0,844	0,817

Для определения полного отражения от обеих поверхностей линзы следует удвоить полученный результат.

Например, для материала с показателем преломления  $n = 1,525$  показатель отражения составит  $0,043$ , что обозначает, что  $4,3\%$  всего падающего света будет потеряно на отражение от передней поверхности.  $95,7\%$  света попадет внутрь линзы, и  $4,3\%$  из них отразится от задней поверхности линзы.

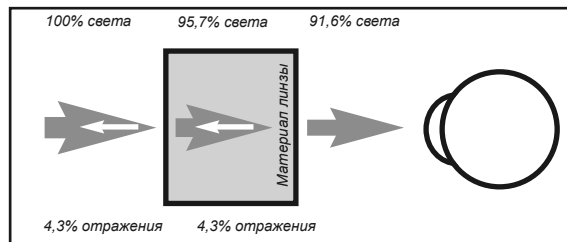
Если линза бесцветная, то, пренебрегая поглощением, доля проходящего света составит  $91,6\%$ .

### Принцип действия антирефлексного покрытия

Хорошее антирефлексное покрытие должно отвечать следующим пяти требованиям качества:

1. Уменьшение отражения до требуемого уровня.
2. Воспроизводимость (повторяемость) характеристик для парных и складских линз.
3. Простой уход за линзами с покрытиями.
4. Адгезия – продолжительность срока службы покрытия.
5. Устойчивость к истиранию при нормальном пользовании очками.

Отражение от оптических поверхностей может быть уменьшено или даже фактически ликвидировано благодаря нанесению на линзу слоев тонких пленок.

Рис. 4.49. Потери на отражения в линзе из материала с  $n = 1,525$

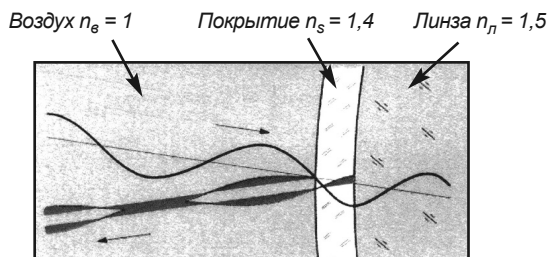


Рис. 4.50. Отраженные от каждой границы лучи гасят друг друга в соответствии с физическим принципом интерференции

Пленка, толщина которой исчисляется нанометрами, наносится в условиях высокого вакуума путем выпаривания специальных материалов. В результате образуются две отражающие границы: воздух/пленка и пленка/линза. Отраженные от каждой границы лучи гасят друг друга в соответствии с физическим принципом интерференции (рис. 4.50, см. также § 1.2.1).

### **Разница между покрытиями на минеральные и органические линзы**

Для создания эффективного покрытия состав покрытия и толщина его слоев должны быть подобраны в соответствии с материалом линзы. Органические линзы мягче и более эластичны, чем минеральные, то есть больше подвержены царапинам и изгибу. На них наносят твердые упрочняющие покрытия, которые повышают абразивостойкость и служат основой для AR-покрытий. Слои антирефлексного покрытия требуются более гибкие и другой толщины.

Минеральные линзы, напротив, хрупкие и не подвержены изгибу, поэтому толщина слоев AR-покрытия меньше, чем у линз из пластика.

### **Как наносятся покрытия**

Для производства покрытий, обладающих всеми показателями качества, необходимо использовать новейшие технологии. Первейший фактор получения хорошего покрытия – подготовленная основа. Поверхности линз должны быть высококачественно отполированы и не должны иметь дефектов. Перед нанесением покрытия необходимо провести многократную ультразвуковую очистку поверхности. После очистки линзы следует удалить влагу с поверхности, сохраняя ее идеально чистой в процессе нанесения покрытий.

Линзы при вакуумном напылении укладываются в гнезда купола в обеспыленном помещении. Очень важно, чтобы при транспортировке линз к вакуумным установкам на их поверхности не осаждались пыль и другие загрязнения.

Невозможно наносить качественные покрытия без современных электронных, нано- и компьютерных технологий. Поскольку толщина каждого слоя покрытия кратна четверти длины волны, контролировать ее возможно только при помощи кварцевого резонатора и фотометрических датчиков. Скорость нанесения покрытия также строго контролируется для того, чтобы цвет и характеристики остаточного отражения были одинаковыми по всей поверхности линзы. Описанные

контролируемые параметры – всего лишь часть огромного числа технологических характеристик, необходимых для получения качественного покрытия.

Просветляющие покрытия, получаемые в вакуумных камерах, состоят из неорганических материалов и имеют малую толщину до 1 мкм, что не дает достигнуть достаточной твердости и абразивостойкости поверхности. Относительная хрупкость покрытий компенсируется нанесением на поверхность перед просветлением упрочняющих покрытий.

После обработки поверхности линз в вакуумных установках технологический процесс возобновляется для нанесения водоотталкивающего покрытия, облегчающего очистку линзы, так как известно, что тонкие пленки подвержены загрязнению.

*Пример:* Фирма Seiko создала полимерные просветляющие покрытия из органических пленок, обеспечив высокую устойчивость при нагревании в силу близких значений коэффициентов температурного расширения очковой линзы и просветляющего покрытия.

На инновационных технологиях основаны методики создания дополнительной абразивостойкости за счет увеличения количества AR-слоев и уменьшения толщины каждого слоя с их дополнительным последующим уплотнением в плазме. В результате просветляющее покрытие под воздействием твердых частиц прогибается, а не разрушается, демонстрируя значительное повышение сопротивления мелким эксплуатационным царапинам и увеличение срока службы.

*Пример:* Семейство покрытий Solitaire 2 от Rodenstock разработки 2015 года. Метод нанесения комплексный, является очень результативным, но и дорогостоящим, поскольку кроме дорогих исходных материалов и оборудования, требует сложной системы контроля.

### **Защитные покрытия**

Упрочняющие (защитные) покрытия предназначены для повышения прочностных свойств преломляющих поверхностей очковых линз из полимерных материалов. В последние годы для этих целей применяются покрытия на основе нанокompозитного лака с органосиликоновой матрицей, в которой распределены частицы коллоидного кремния размером от 10 до 20 нм. Кремний позволяет сделать покрытие много тверже, а органическая структура придает эластичность. Перед нанесением покрытия очковые линзы подвергаются интенсивной очистке в химических и ультразвуковых ваннах. Затем, после сушки, они одновременно с двух сторон покрываются лаковой пленкой, чаще методом окунания. После нагревания в печах пленка укрепляется путем полимеризации и образует абразивостойкое защитное покрытие.

Упрочнение может также осуществляться методом вакуумного испарения (неорганических веществ), методом центрифугирования с последующей полимеризацией лака под воздействием ультрафиолета или тепла.

В результате развития технологии покрытий полимерных линз за последнее десятилетие многие компании сменили по несколько поколений многофункциональных покрытий, в состав которых включают упрочняющий слой, серию просветляющих, а также гидрофобные и антистатические слои.

### Грязе- и водоотталкивающие покрытия

Поверхность после нанесения AR-покрытия больше подвержена загрязнению из-за увеличения микронеровностей и шероховатости. Даже малейшие частички грязи и воды остаются на ней, сцепляясь с неровностями покрытия. Эту проблему можно решить, нанеся сверху слой покрытия *Clean coat*, который сделает поверхность идеально гладкой. В качестве защиты от образования капель на поверхностях очковых линз может применяться нанесение фторсодержащих органических полимерных покрытий. При этом оптические характеристики просветляющего покрытия не изменяются, а химическая устойчивость к воздействию влажной атмосферы и пятнающих агентов повышается.

Поверхности очковой линзы становятся гидрофобными (несмачиваемыми), меньше запотевают. Водоотталкивающее покрытие характеризуется углом смачивания воды (или *краевым углом*). **Краевой угол** – это угол между горизонтальной поверхностью и касательной к поверхности капли жидкости, помещенной на этой поверхности, в точке соприкосновения с поверхностью. Если краевой угол больше  $90^\circ$ , то растекания капли по поверхности не происходит. Чем меньше краевой угол, тем сильнее растекается капля по поверхности.

При создании гидрофобных покрытий стремятся максимально повысить угол смачивания (рис. 4.52).

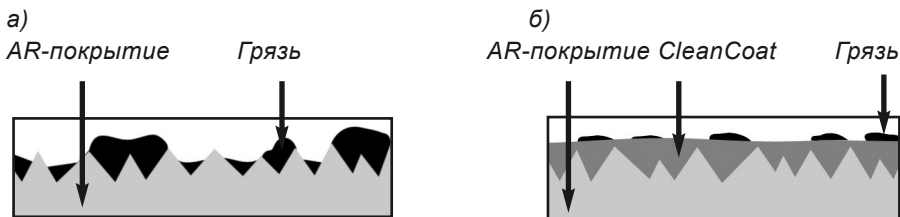


Рис. 4.51. Принцип действия грязеводоотталкивающего покрытия

Большинство современных упрочняющих покрытий на полимерных линзах легко поддаются окраске, а просветляющих покрытий – нет.

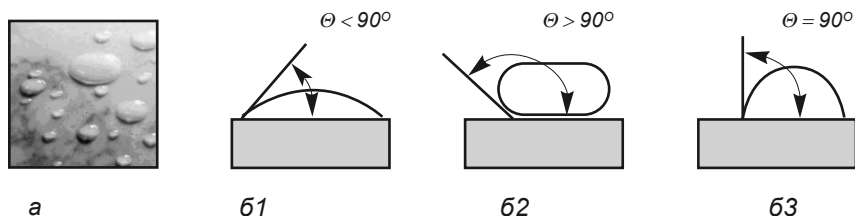


Рис. 4.52. Смачивание: а – пример несмачиваемой поверхности; б – угол смачивания, или краевой угол. Примеры: б1 – краевой угол меньше  $90^\circ$ ; б2 – краевой угол больше  $90^\circ$ ; б3 – краевой угол равен  $90^\circ$ .

### **Антистатические покрытия**

Как известно, поверхность полимеров сильно электризуется и притягивает пыль, а значит, может повреждаться при протирке линз вследствие низкой поверхностной твердости материала. Поэтому на полимеры наносят антистатические покрытия. Необходимо отметить, что некоторые типы покрытий одновременно обладают несколькими свойствами. Просветляющие покрытия, например, могут одновременно повышать поверхностную прочность очковой линзы и обладать гидрофобным или антистатическим действием.

### **Защитные покрытия от УФ-излучения**

Большинство новейших многослойных многофункциональных покрытий включает в систему просветления дополнительные слои с защитой от лучей УФ-диапазона. Для материалов или линз, выполненных из полузаготовок с включенной блокировкой УФ-излучения, данные слои наносят только на заднюю поверхность. Это обеспечивает всестороннюю защиту глаз, включая как проходящие, так и отраженные лучи вредного ультрафиолетового диапазона.

### **Декоративные покрытия.**

#### **Зеркальные покрытия очковых линз**

Зеркалом называют тело, обладающее полированной поверхностью и способное образовывать оптические изображения предметов, отражая световые лучи. Первые сведения о применении металлических зеркал из бронзы или серебра относятся к III тысячелетию до нашей эры. Позже стеклянными зеркалами с оловянной или свинцовой подкладкой пользовались римляне в I веке нашей эры; в начале средних веков они исчезли и снова появились только в XIII веке. В XVI веке была изобретена подводка стеклянных зеркал оловянной амальгамой. Зеркальные покрытия нашли применение в офтальмологической оптике благодаря косметическим особенностям: они изменяют внешний вид очковых линз, делая глаза человека практически невидимыми, а также выполняют защитные функции. Зеркальные покрытия наносят на переднюю (выпуклую) поверхность предварительно окрашенных очковых линз. Длительное время зеркальные покрытия применялись только для нанесения на плановые очковые линзы в солнцезащитных очках. Однако совершенствование технологии способствует увеличению популярности рецептурных очковых линз с зеркальными покрытиями.

Зеркальные покрытия с высоким коэффициентом отражения (50%) существенно снижают количество видимого света, поступающего в глаза. В сочетании с интенсивным окрашиванием самой очковой линзы они дают остаточное светопропускание всего 10–20%. Ношение подобных очков в условиях низкой освещенности может создать серьезные проблемы. Такие очки рекомендуются для занятий зимними и горными видами спорта. Поэтому для рецептурных линз выбираются более светлые зеркальные покрытия. Например, покрытие *Solitaire Silver Moon* от *Rodenstock* обладает всего 10-процентным светоотражением, однако обязательно должно комбинироваться с окраской линз с затемнением не менее 35%.

### **Принцип действия зеркальных покрытий**

Зеркальное покрытие создается посредством взаимодействия различных слоев покрытий, нанесенных на линзу с помощью технологии вакуумного напыления.

В отличие от возможного негативного эффекта при взаимодействии отраженных лучей в просветляющих покрытиях, в зеркальных покрытиях такое взаимодействие создается намеренно и дает положительный результат. Может применяться метод нанесения нескольких слоев покрытия различной толщины, благодаря чему достигается эффект переливов и отражений.

Интенсивность зеркального покрытия зависит от основного оттенка линзы. Зеркальное покрытие на прозрачных или слегка тонированных линзах воспринимается как легкое; однако оно не пригодно для ношения ввиду очень большого отражения и формирования изображений от внутренней поверхности линзы. Таким образом, чем темнее линза, тем интенсивнее ее зеркальное покрытие. В случае, если линза обладает очень высокой степенью светопоглощения, окружающие не смогут увидеть глаза человека в очках. Такого рода зеркальные покрытия применяются в так называемых зеркальных линзах со стабильной комбинацией цвета линзы, зеркального покрытия и, возможно, цвета остаточного отражения по задней поверхности. У ведущих производителей такие линзы могут выпускаться в довольно широком диапазоне рефракций в различных дизайнах.

### **Борьба с запотеванием очковых линз**

В холодное время года очки часто запотевают. Это связано с низкой теплопроводностью материала линз: при входе с улицы в теплое помещение они нагреваются не сразу и некоторое время сохраняют температуру ниже точки росы. Поскольку в воздухе всегда присутствуют водяные пары, они выпадают на холодную поверхность линз в виде конденсата. Очки также могут запотеть и на улице из-за повышенной влажности, пара от дыхания или испарения влаги с кожи лица. Даже в небольших количествах конденсат сильно ухудшает светопропускание линз и качество зрения, поэтому приходится часто протирать очки.

Большинство производителей наносят на очковые линзы многофункциональные покрытия с гидрофобным слоем (*см. выше на стр. 186*), благодаря которому конденсат недолго держится на поверхности. Кроме того, сейчас выпускаются специальные средства ухода: салфетки, карандаши и спреи для обработки очковых линз. К этим средствам предъявляют целый ряд требований: 1) высокая моющая способность; 2) нейтральность по отношению к материалу линз и их покрытиям; 3) антистатический эффект; 4) противозапотевающее действие; 5) нейтральное значение pH; 6) отсутствие разводов на оптике после обработки; 7) образование однородной пленки на поверхности линзы после высыхания, причем не должно оставаться кристаллических включений. Последний пункт особенно важен, поскольку иначе возможны механические повреждения линз при следующей протирке.

Компания НПФ «Медстар» (Волгоград) провела специальное исследование, в ходе которого выяснилось, что подавляющее большинство спреев, имеющихся на рынке РФ, не обладают всеми перечисленными свойствами одновременно.



Более того, все спреи при высыхании образуют кристаллизующиеся остатки, которые могут оставить царапины на линзе. Результаты исследования использовались при разработке нового очищающего спрея *Good Look®* с оптимизированным составом.

Спрей *Good Look®* содержит нейтральное поверхностно-активное вещество, антизапотевающий и антистатический агент (специальный полимер), а также консервант. Дальнейшие сравнительные исследования показали, что средство *Good Look®* обладает всеми необходимыми свойствами, в том числе высокой моющей способностью. Этот спрей не взаимодействует химически с покрытиями современных очковых линз и отличается от аналогов очень высоким антизапотевающим действием. Также нет ни малейшего риска повреждения поверхности линз, поскольку при высыхании *Good Look®* не образует абразивных остатков.

## Список литературы

### Глава 1. Основы физической оптики

1. Ландсберг Г.С. Оптика. – Изд. 5-е, перераб. и испр. – М.: Наука, 1976. – 928 с.: ил.
2. Мажаров Г.А. Основы геометрической оптики: Учеб. пособие. – М.: Университетская книга. Логос, 2006. – 250 с.: ил.
3. Сергиенко Н.М. Офтальмологическая оптика: монография. – Изд. 3-е, перераб. и испр. – Киев: НМАПО имени П.Л. Шупика, 2015. – 255 с.: цветные ил., табл.
4. Яворский Б.М. Справочник по физике для инженеров и студентов вузов / Б.М. Яворский, А.А. Детлаф, А.К. Лебедев. – 8-е изд., перераб. и испр. – М.: Оникс: Мир и Образование, 2006. – 1056 с: ил.

### Глава 2. Оптика глаза и основы физиологии зрения

1. Аветисов С.Э. Современные подходы к коррекции рефракционных нарушений // Вестник офтальмологии. – 2006. – № 1. – С. 3–8.
2. Аветисов Э.С., Кащенко Т.П. Бинокулярное зрение. Клинические методы исследования и восстановления // Клиническая физиология зрения: Сборник трудов МНИИ ГБ им. Гельмгольца. – М., 1993. – С. 199–209.
3. Аветисов Э.С., Ковалевский Е.И., Хватова А.В. Руководство по детской офтальмологии. – М.: Медицина, 1987. – 496 с.: ил.
4. Аккомодация: руководство для врачей / Под ред. Л.А. Катаргиной. – М.: Апрель, 2012. – 136 с., ил.
5. Балашевич Л.И. Диагностика и коррекция оптических аберраций глаза // Международный медицинский журнал. – 2003. – Т. 9. – № 3. – С. 62–69.
6. Вит В.В. Строение зрительной системы человека. – Одесса: Астропринт, 2003. – 664 с.
7. Герман И. Физика организма человека / Пер. с англ. – Долгопрудный: Интеллект, 2011. – 992 с.
8. Голубцов К.В., Рожкова Г.И., Баринаева Н.Е., Егорова Т.С., Иомдина Е.Н., Шигина Н.А., Куман И., Айду Э.А., Трунов В.Г., Булат Л.С., Мирнова Э.М., Быкова Т.А. КЧСМ в диагностике заболеваний и лечении органа зрения детей и подростков: методическое пособие. – М.: ИППИ РАН, 2013. – 100 с.
9. Егорова Т.С. Методы и средства оптической компенсации слабовидения: Дис. ... д-ра мед. наук. – М., 2004.
10. Егорова Т.С. Очки для близи: факторы, влияющие на межцентровое расстояние // Глаз. – М., 2010. – № 2. – С. 27–32.
11. Зак П.П., Егорова Т.С., Розенблюм Ю.З., Островский М.А. Спектральная коррекция зрения: научные основы и практические приложения. – М., 2005. – 454 с.
12. Зрительные функции и их коррекция у детей: руководство для врачей / Под ред. С.Э. Аветисова, Т.П. Кащенко, А.М. Шамшиновой. – М.: Медицина, 2005. – 872 с: ил.
13. Кащенко Т.П. Проблемы глазодвигательной и бинокулярной патологии // Вестник офтальмологии. – 2006. – № 1. – С. 32–35.
14. Клиническая физиология зрения: очерки. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Науч.-мед. фирма МБН: Андреева, 2002. – 664 с.
15. Кошиц И.Н., Гусева М.Г., Светлова О.В. О выборе физиологически обоснованной рациональной коррекции для стабилизации приобретенной миопии у детей // Глаз. – М., 2011. – № 5. – С. 10–17.

16. Кошиц И.Н., Светлова О.В., Гусева М.Г., Балашевич Л.И., Макаров Ф.Н. Исполнительные механизмы роста передне-задней оси глаза в теории изменения ретинального дефокуса // Глаз. – М., 2016. – № 4. – С. 23–36.
17. Кошиц И.Н., Светлова О.В., Горбань А.И. Функционирование исполнительных механизмов аккомодации и развитие теории аккомодации Гельмгольца. Нормальная физиология глаза: монография. – СПб.: Изд-во СЗГМУ им. И. И. Мечникова, 2014. – 180 с.: ил.
18. Кушнаревич Н.Ю., Тырин А.Б. Эмметропизация: новый взгляд на привычные понятия // Российская педиатрическая офтальмология. – 2014. – № 4. – С. 16–21.
19. Лузцов А.В. Глаз и свет. – Л.: Энергоатомиздат, 1983. – 144 с.: ил.
20. Офтальмология: национальное руководство / Под ред. С.Э. Аветисова, Е.А. Егорова, Л.К. Мошетоной, В.В. Нероева, Х.П. Тахчиди. – М.: ГЭОТАР-Медиа, 2008. – 944 с.
21. Розенблюм Ю.З. Оптометрия (подбор средств коррекции зрения). – Изд. 2-е, испр. и доп. – СПб.: Гиппократ, 1996. – 320 с.
22. Рожкова Г.И., Матвеев С.Г. Зрение детей: проблемы оценки и функциональной коррекции. – М.: Наука, 2007. – 315 с.
23. Рожкова Г.И., Ознизов В.В., Васильева Н.Н. Фиксационные движения глаз в естественных условиях зрительного восприятия // Биомеханика глаза. Сб. трудов конференции. – М.: МНИИГБ им. Гельмгольца, 2009. – С. 18–24.
24. Рожкова Г.И., Токарева В.С. Тесты и таблицы для оценки зрительных способностей. – М.: ВЛАДОС, 2001. – 102 с.
25. Светлова О.В., Кошиц И.Н. Физиологические функции фиброзной оболочки глаза и их исполнительные механизмы. Нормальная и патологическая физиология глаза: учебное пособие. – СПб.: Изд-во СЗГМУ им. И. И. Мечникова, 2014. – 64 с.
26. Смирнова И.Ю. Современное состояние зрения школьников: проблемы и перспективы // Глаз. – М., 2011. – № 3. – С. 2–8.
27. Сорокин В.Н., Аветисов Э.С. О новой гипотезе происхождения миопии // Матер. научн. конф., посв. 90-летию В.П. Филатова. – Киев, 1965. – С. 34–39.
28. Стахеев А.А., Балашевич Л.И. Артифакция и аккомодация. Пути оптимизации рефракционных результатов в хирургии катаракты у пациентов со сферичным хрусталиком: доклад на конференции «Современные технологии катарактальной и рефракционной хирургии – 2012» // URL: <http://www.eyepress.ru/article.aspx?12166> (дата обращения: 20.08.2016)
29. Фундаментальная и клиническая физиология: учеб. для студ. высш. учеб. заведений / Под ред. А. Г. Камкина, А. А. Каменского. – М.: Академия, 2004. – 1072 с.
30. Шамшинова А.М., Волков В.В. Функциональные методы исследования в офтальмологии.
31. Шаповалов С.Л. Клинико-физиологические особенности абсолютной аккомодации глаз человека и методы ее исследования: автореф. дис. ... д-ра мед. наук. – М., 1977. – 29 с..

### Глава 3. Контактная коррекция зрения

1. Андерсен Й.Ш., Дэвис Я.П., Круз А., Лефстрем Т., Рингманн Л. Руководство по контактным линзам: Обучающее пособие. – М.: Изд. Института Johnson & Johnson Vision Care, 2006. – 93 с.
2. Бош Р.П., Розенбранд Р.М., Ключаева Т.Ю. Мягкие контактные линзы: Практическое пособие для специалистов. – М.: Bausch & Lomb University, 2009. – 80 с.
3. Брюс А.С., Бреннан Н.А. Клинические аспекты контактной коррекции: Справочное руководство. – М.: Изд. компании CIBA Vision A Novartis Company, 2005.
4. Киваев А.А., Шапиро Е.И. Контактная коррекция зрения. – М.: Сервис, 2000. – 224 с.
5. Даниличев В.Ф., Новиков С.А., Ушаков Н.А. и соавт. Контактные линзы /под ред. В.Ф. Даниличева и С.А. Новикова. – СПб.: Веко, 2008. – 271 с.
6. Кузнецова М.В. Пособие по профессиональному подбору контактных ортокератологических линз (ОКЛ). – Казань, 2011. – 48 с.
7. Леценко И.А. Мягкие контактные линзы и их подбор. – 2-е изд., доп. – СПб.: Веко, 2013. – 296 с.
8. Леценко И.А. Практическое руководство по подбору мягких контактных линз. – 2-е изд., доп. – СПб.: Веко, 2010. – 224 с.
9. Мязгов А.В., Парфенова Н.П., Демина Е.И. Руководство по медицинской оптике. Часть 1: Основы оптометрии. – М.: Апрель, 2016. – 205 с.: ил.
10. Офтальмоконтактология /под ред. А.Б. Белевитина, Э.В. Бойко, В.Ф. Даниличева. – СПб.: Веко, 2011. – 520 с.
11. Свердлик А.Я. Оптометрия для начинающих оптометристов: Методическое пособие. – 2-е изд., доп. – Н. Новгород, 2013. – 352 с.
12. Сенокосов А.В. Контактная коррекция зрения для начинающих и не только... – СПб., 2007. – 240 с.
13. Сенокосов А.В., Дронов М.М. Нарушения зрения и контактная коррекция. – СПб.: Веко, 2011. – 208 с.
14. Справочник офтальмолога и оптометриста – 2014. Контактная коррекция зрения. Офтальмофармакология /Под общей редакцией А.В. Мягкова, Т.В. Ставицкой. – Москва: Последнее слово, 2011. – 552 с., илл.
15. Филлипс Э.Дж., Давыдова В.А. Атлас оптометриста для работы с пациентом. – СПб.: Веко, 2013. – 152 с.

### Глава 4. Очковые линзы

1. Хацевич Т.Н. Медицинские оптические приборы. Ч. II. Очковая оптика: учеб. пособие. – Новосибирск: СГГА, 2012. – 367 с.
2. Voke J. Radiation effects on the eye. Part 1 – Infrared radiation effects on ocular tissue // Optometry Today. – 1999. – № 8. – P. 30–35.
3. Избранное о современных очках: Сборник статей и материалов /Под ред. Н.Б. Денисюк, И.В. Присташ, С.В. Скицкий.
4. Беломестнов Е.М. Минеральные очковые линзы. – М.: Оптик-пресс, 2000. – 135 с.: ил.
5. Джали М. Очковые линзы и их подбор. – 2-е изд. – СПб.: РА «Веко», 2010. – 304 с.
6. ГОСТы РФ по очковой и офтальмологической оптике.



Новое инновационное средство

# АНТИ-ТУМАН ДЛЯ ВСЕХ ТИПОВ ЛИНЗ

Все средства имеют свидетельство о регистрации  
РОСПОТРЕБНАДЗОРА.

Практика показала, что спреи не всегда эффективны как средства против запотевания.

В оптике есть такая проблема, как образование конденсата на поверхностях при резкой смене температур. Многие производители пытаются решить проблему за счёт химических составов спреев, но эффективность нулевая. Некоторые спреи показывают результат, но для этого требуются идеальные условия, как то: обезжиренная поверхность, специальные покрытия на линзы, определённая влажность. Тем более спреи не работают на морозе. И не всегда удобно пользоваться на морозе салфеткой,

которая становится влажной при использовании спрея. Кстати, на оптическом рынке присутствуют какие-то сомнительные жидкости, рекомендованные как средства от запотевания; их упаковка и хим. состав, сопроводительная документация, никак не соответствуют заявленным функциям, требованиям Роспотребнадзора, поэтому не имеют права предлагаться к продажам.

Средство АНТИ-ТУМАН – это специальный химический состав, который при образовании конденсата немедленно вступает в реакцию, испаряя влагу в воздух и тем самым предотвращая запотевание поверхности. Действует при  $t -40^{\circ}\text{C} / +40^{\circ}\text{C}$ , мгновенно, не оставляет разводов. Срок годности 3 года.

Эффект действия не менее 24 часов, экологически безопасное гипоаллергенное средство.

Новые средства АНТИ-ТУМАН в удобных и практичных упаковках рекомендованы к использованию с индивидуальными средствами защиты и коррекции глаз, для оптического оборудования, приборов, прицелов. Это эффективные средства от запотевания в экстремальных условиях на производстве, в быту, в спорте, в профессиональной деятельности.



**PRIDE**  
OPTICAL

www.pride-optical.ru



## Справочник медицинского оптика. Часть 1.

Над книгой работали:

**Бахтин Вадим** (владелец оптического предприятия «Зайди – Увидишь»),  
**Керник Наталия** (медицинский консультант «Essilor – ЛУИС-Оптика»,  
преподаватель ФГБПОУ СПб МТК ФМБА России),  
**Кушель Татьяна** (консультант отдела международной дистрибуции  
по офтальмологическим продуктам концерна Rodenstock),  
**Певко Дмитрий** (редактор журнала «Глаз»), **Тибилев Евгений**.

Главный редактор: **Вадим Бахтин**. Редактор, корректор: **Певко Дмитрий**.  
Верстка, оформление: **Тибилев Евгений**.

Рецензирование:

**Абрамов Максим** (офтальмолог, кандидат медицинских наук, член IACLE, менеджер по профессиональной поддержке CooperVision), **Балан Анна** (руководитель центра Rx оптики, Компания МОК), **Батракова Вероника** (зав. практическим обучением по специальности «медицинская оптика», преподаватель ФГБПОУ СПб МТК ФМБА России), **Гнатьюк Вадим** (директор НПФ «МЕДСТАР», кандидат хим. наук, профессор РАЕ), **Долганов Михаил** (директор по продажам, Компания МОК), **Иванидзе Николай** (инженер-технолог оптических производств), **Коровенков Руслан** (офтальмолог, заслуженный врач РСФСР, доцент), **Корешев Максим** (специалист по профессиональной поддержке Vausch & Lomb), **Лютинская Анна** (преподаватель ФГБПОУ СПб МТК ФМБА России), **Майорова Марина** (главный офтальмолог сети оптик «Зайди – Увидишь»), **Пичугин Сергей** (и.о. руководителя регионального центра Rx оптики по УРФО, Компания МОК), **Ларьков Артем** (контент-менеджер SEIKO Optical).

Участники проекта:

«Авивита», «Компания МОК», НПФ «Медстар», Vausch & Lomb, CooperVision, «ИнтерОПТИК», компания «ОптикЦентр» (opticcenter.ru), Dek-Optica, La Strada, «Essilor – ЛУИС-Оптика», «Зайди - Увидишь», SEIKO Optical, PRIDE Optical.

Распространение: **Вихлянцев Эдуард** +79037984087, oftalmbook@mail.ru

Реклама: **Волков Илья**

Интернет-версия: **weboptica.ru**

Отдельное спасибо за помощь в подготовке и реализации проекта:

**Артюшину Андрею, Крылову Сергею, Петрову Игорю,  
Смирнову Петру, Чубаеву Александру.**

Координатор проекта: Тибилев Евгений

Заказчик: ЧП Бахтин

Пилотный проект. Тираж 999 экз.

Подписано в печать 30.10.2016.

Отпечатано в типографии КАРО. Заказ № 12.10

