

# ЗАОЧНАЯ ШКОЛА CARL ZEISS

Уважаемые читатели! Мы продолжаем публикацию учебных материалов из руководства «Handbook of Ophthalmic Optics», подготовленного компанией Carl Zeiss. В указанном руководстве в конспективном виде изложены практически все необходимые для работы врача-офтальмолога и оптика вопросы.

«Заочная школа Carl Zeiss» была уже напечатана в следующих номерах: №6, №7 2005 г., №1, №2, №4, №5 2006 г. В этих номерах были изложены вопросы геометрической, физической и физиологической оптики.

## Публикация 7 Физиологическая оптика: Глаз (продолжение)

### Эмметропичный глаз

#### Эмметропия

Глаз считается эмметропичным, если его дальнейшая точка ясного видения расположена в бесконечности. Рефракция, соответствующая этой бесконечно удаленной точке,  $K = 0$  (см. Публикацию 5 в «Вестник оптометрии», 2006, №4). Однако, главное не то, какова величина оптической силы глаза  $F_R$ , а то, чтобы эта сила строго соответствовала длине глаза, т.е. чтобы изображение бесконечно удаленного точечного объекта было расположено точно на сетчатке глаза.

#### Модель глаза

Основываясь на тщательном изучении геометрических и оптических размеров большого числа эмметропичных глаз, Гульстранд разработал 2 модели глаза: схематический глаз и упрощенный схематический глаз. Параметры последней модели, в которой роговица и хрусталик считаются бесконечно тонкими, приведены в табл.7.1.

#### Хроматические aberrации

Эффект дисперсии (разложение белого света на составляющие цвета) при прохождении света через любую оптическую среду приводит к хроматическим aberrациям глаза. Зависимость хроматических aberrаций глаза от длины волны в предположении, что глаз эмметропичный для длины волны 680 нм, показана на рис.7.1. Как видно из рисунка, при длине волны 490 нм эти aberrации приведут к миопии 1 D. Отсюда понятно, почему голубое освещение уличной рекламы эмметропичному глазу представляется нечетким.

#### Фокусирующая длина волны

Если изображение объекта на сетчатке формируется белым светом, то изображения, соответствующие раз-

Таблица 7.1. Параметры схематического глаза по Гульстранду

	Аккомодация	
	Покой	Максимум
<b>Показатель преломления:</b>		
Водянистая влага и стекловидное тело	1,336	1,336
хрусталик	1,413	1,424
<b>Оптическая сила (D):</b>		
роговица	43,08	43,08
хрусталик	20,53	33
глаз в целом	59,74	70,54
<b>Фокусные расстояния глаза (мм):</b>		
пространство объекта	-16,74	-14,17
пространство изображения	22,36	18,94
<b>Радиус кривизны (мм):</b>		
роговицы	7,8	7,8
передней поверхности хрусталика	10	5,33
задней поверхности хрусталика	-6	-5,33
<b>Расстояния от вершины роговицы (мм) до:</b>		
хрусталика	5,85	5,2
передней главной точки	1,5	1,83
задней главной точки	1,63	2,02
переднего фокуса	-15,24	-12,34
заднего фокуса	23,99	20,96
фовеа	24	24

ным цветам, составляющим белый свет, (т.е. для разных длин волн) из-за наличия хроматических aberrаций будут расположены одно перед другим: красное изображение будет наиболее удаленным, а голубое — наименее удаленным. Длина волны, преимущественно фокусирующая изображение на сетчатке, называется фокусирующей длиной волны. Фокусирующая дли-

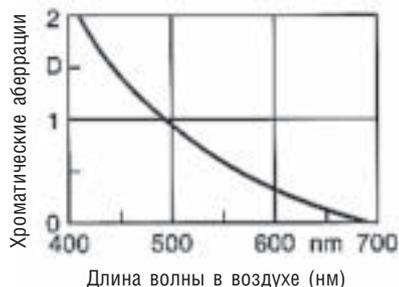


Рис.7.1. Хроматические аберрации глаза

на волны зависит от расстояния до объекта (аккомодации). Если глаз настроен на дальнейшую точку ясного видения (при покое аккомодации), то для большинства глаз на сетчатке фокусируются лучи с длиной волны 685 нм (красный цвет). Отметим, что здесь нет соответствия максимумам спектральной чувствительности. При уменьшении расстояния до объекта глаз использует хроматические аберрации и «переходит» на более короткую фокусирующую длину волны (для того, чтобы минимизировать необходимое увеличение оптической силы). Зависимость фокусирующей длины волны от расстояния до объекта (аккомодации) показана на рис. 7.2.

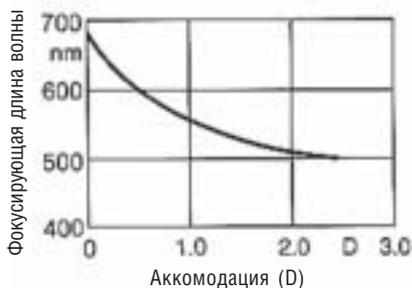


Рис. 7.2. Зависимость фокусирующей длины волны глаза для белого света от расстояния до объекта

## Аметропичный глаз

### Аметропия

Глаз называют аметропичным, если его дальнейшая точка ясного видения расположена не на бесконечности, а на конкретном расстоянии от глаза. В этом случае изображение на сетчатке бесконечно удаленного точечного объекта не является точкой. Если роговица и хрусталик имеют сферические поверхности, то для всех меридианных плоскостей оптические условия будут одинаковы, и глаз сферически аметропичен.

Если же лучи сходятся лишь в двух взаимно перпендикулярных меридианных плоскостях (соответствующих главным меридианам), то говорят, что глаз имеет астигматизм.

### Миопия

Глаз считается миопичным, если его дальнейшая точка ясного видения расположена не в бесконечности, а на конечном расстоянии перед хрусталиком (ри-

с.7.3.а). Рефракция, соответствующая этой точке, будет отрицательной:  $K < 0$ . У миопичного глаза длина слишком большая по сравнению с рефракцией среднего эметропичного глаза (осевая миопия). В некоторых случаях у миопичного глаза может быть оптическая сила  $F_R$  слишком большой по сравнению с длиной среднего эметропичного глаза (рефракционная миопия). Фокус  $F'_{eye}$  глаза при покое аккомодации расположен внутри глаза перед сетчаткой, и изображение точечного объекта, удаленного на бесконечно большое расстояние, получается нечетким в виде размытых окружностей ( $O'$  на рис. 7.3.б). Поскольку ближайшая точка ясного видения миопичного глаза находится перед глазом, то диапазон аккомодации реален.



Рис. 7.3. Миопичный глаз (при покое аккомодации): а) дальняя точка ясного видения; б) фокус

На рис.7.4 показана зависимость относительной остроты зрения от степени миопии. Острота зрения миопичного глаза еще больше снижается в результате аккомодации, так как фокус будет смещен еще дальше от сетчатки (перед ней), и это приведет к еще большему увеличению размеров колец размытия бесконечно удаленного точечного объекта.



Рис. 7.4. Уменьшение относительной остроты зрения при миопии

### Гиперметропия

Глаз гиперметропичный, если его дальнейшая точка ясного видения находится позади хрусталика (рис. 7.5.а). Рефракция, соответствующая этой точке, — положительная:  $K > 0$ . У гиперметропичного глаза оптическая длина слишком мала по сравнению с рефракцией среднего эметропичного глаза (осевая гиперметропия). В некоторых случаях у гиперметропичного глаза может быть оптическая сила  $F_R$ , слишком малой по сравнению с длиной среднего эметропичного глаза (рефракционная гиперметропия). Фокус  $F'_{eye}$  глаза при покое аккомодации расположен позади сетчатки, и изображение точечного объекта, уда-

ленного на бесконечно большое расстояние, получается нечетким в виде размытых окружностей ( $O'$  на рис. 7.5.б).

Положение ближайшей точки ясного видения зависит от максимального объема аккомодации глаза. Если этот объем меньше, чем рефракция, соответству-

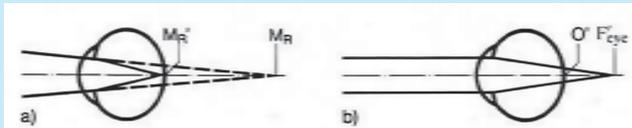


Рис. 7.5. Гиперметропичный глаз (при покое аккомодации): а) дальнейшая точка ясного видения; б) фокус

ющая дальнейшей точке ясного видения ( $\Delta A_{max} < K$ ), то ближайшая точка будет мнимой (расположена за глазом) и диапазон аккомодации мнимый. При  $\Delta A_{max} = K$  ближайшая точка ясного видения лежит в бесконечности и при  $\Delta A_{max} > K$  ближайшая точка ясного видения лежит перед глазом, и в результате соответствующий диапазон аккомодации – реальный. Аккомодация увеличивает остроту зрения гиперметропичного глаза, так как фокус  $F'_{eye}$  становится ближе к сетчатке, уменьшая тем самым размер колец размытия для удаленных объектов. При  $\Delta A = K$  фокус  $F'_{eye}$  лежит на сетчатке, и удаленный объект виден четко.

### Астигматизм

Аметропичный глаз с астигматизмом имеет два различных положения дальнейшей точки ясного видения, соответствующих двум главным меридианам с оптической силой  $F_{RI}$  и  $F_{RII}$ . Главный меридиан с большей оптической силой часто занимает практически вертикальное положение (между  $70^\circ$  и  $110^\circ$  по шкале Табо). Такой астигматизм называется прямого типа. Если главный меридиан с наибольшей оптической силой занимает почти горизонтальное положение (от  $0^\circ$  до  $20^\circ$  и от  $160^\circ$  до  $180^\circ$ ), то астигматизм называется обратного типа (в отечественной практике диапазон допустимого отклонения от вертикали и горизонтали составляет не  $\pm 20^\circ$ , а  $\pm 30^\circ$ ). При других расположениях главных меридианов говорят об астигматизме с косыми осями.

Каждый главный меридиан сам по себе может быть эмметропичным, миопичным или гиперметропичным, создавая изображение бесконечно удаленной точки в виде отрезка прямой. Дальнейшая классификация астигматизма зависит от положения двух фокальных отрезков относительно сетчатки. На рис. 7.6 показаны 5 видов астигматизма. Проходящие через глаз лучи образуют коноид Штурма.

Существуют роговичный и хрусталиковый астигматизм (первый встречается чаще). Вместе они формируют общий астигматизм (который не является их простой суммой). Разницу между общим и роговичным астигматизмом часто называют остаточным или физиологическим астигматизмом.

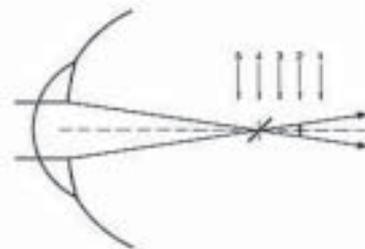


Рис. 7.6. Классификация астигматизма:  
 1. сложный миопический астигматизм  
 2. простой миопический астигматизм  
 3. смешанный астигматизм  
 4. простой гиперметропичный астигматизм  
 5. сложный гиперметропичный астигматизм

### Афакия

Афакией называется отсутствие хрусталика, наиболее часто встречающееся после его удаления хирургическим путем. Для коррекции афакии требуются линзы как для дали, так и для близи. Удаленный хрусталик можно заменить очковой или контактной линзой высокой положительной силы. При коррекции с помощью контактной линзы для дали очковая линза может быть использована в качестве дополнительной коррекции для близи. Коррекция односторонней афакии с помощью очковой линзы приводит к очень большой разнице в размерах изображений, формирующихся на сетчатке двух глаз.

#### Контрольные вопросы по материалам, опубликованным в №5 и №6 2006 (Публикации 6 и 7)

1. Специальные тестовые таблицы для определения остроты зрения должны располагаться на расстоянии 5 м. При их расположении на расстоянии 3 м определена острота зрения 0,8. Какой должна быть острота зрения для 5 м: А. 0,8; Б. 0,64; В. 0,48
2. Спектральная чувствительность глаза для дневного зрения имеет максимум в области: А. красного цвета; Б. желто-зеленого; В. фиолетового
3. Изображение бесконечно удаленного объекта эмметропичный глаз для длины волны 680 нм фокусирует точно на сетчатке. Изображение этого объекта, соответствующее длине волны 490 нм: А. будет сфокусировано точно на сетчатке; Б. будет сфокусировано за сетчаткой и иметь хроматические аберрации 1 D; В. будет сфокусировано перед сетчаткой и иметь хроматические аберрации 1 D
4. Оптическая сила глаза  $F_g$  слишком большая по сравнению с длиной среднего эмметропичного глаза. Это: А. рефракционная миопия; Б. рефракционная гиперметропия; В. осевая миопия
5. Аккомодация изменяет остроту зрения гиперметропичного глаза в сторону: А. увеличения; Б. уменьшения; В. не оказывает влияния
6. Ось главного меридиана с наибольшей оптической силой расположена под углом  $65^\circ$ . Это: А. астигматизм прямого типа; Б. астигматизм с косыми осями; В. астигматизм обратного типа

Ответы присылать по факсу: (495) 933-51-50, e-mail: dyadina@zeiss-msk.ru или по почте: 105005, Москва, Денисовский пер., 26, ООО «Карл Цейсс» с пометкой на конверте «Заочная школа».

На сообщениях для факса также следует сделать пометку: «Заочная школа». Обязательно укажите свои координаты (ФИО, адрес, телефон для связи), номер журнала, в котором был напечатан материал, к которому даны вопросы, и номера вопросов и ответов на них.

Образец ответов: Иванова А.Т., почтовый адрес, номер телефона, №6 2005, 1.А, 2.В, 3.Б, 4.В