

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 сжатом 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 2006 г. В этих номерах были изложены вопросы геометрической, физической и физиологической оптики.

Публикация 6 Физиологическая оптика: Глаз (продолжение)

Зрительное представление

Порог светочувствительности

Порог относительной светочувствительности (контрастная светочувствительность) — это наименьшее изменение (разница) уровня освещенности, которое глаз способен зарегистрировать. Этот порог ($\Delta L/L$) зависит от уровня освещенности (L) и адаптации глаза, и он тем выше, чем ниже освещенность (рис.6.1).

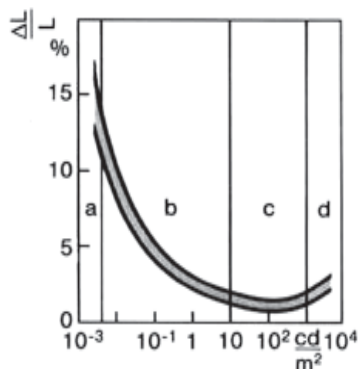


Рис. 6.1. Зависимость порога светочувствительности глаза от уровня освещенности (a – ночное зрение, b – сумеречное зрение, c – дневное зрение, d – граница ослепления)

Периодическое мелькание с частотой выше определенной величины (частоты слияния) вызывает такое же ощущение, как и постоянный стимул, соответствующий ровному распределению освещенности во время периода мелькания. Частота слияния зависит от амплитуды мелькания и в большинстве случаев ниже 30 Hz. Она ниже в области фовеа, чем за ее пределами.

Разрешающая способность глаза

Разрешающая способность глаза (минимальное расстояние между точками) характеризует способность глаза различать отдельные детали объекта. Разрешающая способность зависит от следующих факторов:

1. Геометрических: формы и ориентации отдельных деталей объекта
2. Физических: освещенности и цвета объекта (табл.6.1) и окружающего его фона, а также периода времени, в течение которого рассматривают объект
3. Оптических: качества изображения на сетчатке
4. Анатомических: положения изображения на сетчатке (рис.6.2)
5. Физиологических: адаптации и состояния зрительного нерва
6. Психологических: внимательности наблюдателя и от того, насколько ему привычна окружающая обстановка
7. Возраста (рис.6.3)

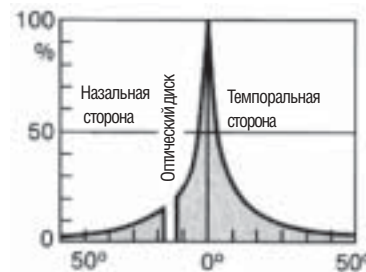


Рис.6.2. Относительная острота зрения в зависимости от положения изображения на сетчатке (0° - центр фовеа)

Табл.6.1. Зависимость диаметра зрачка глаза от яркости

Яркость (люкс)	Диаметр (мм) эметропич. зрачка	Диаметр (мм) миопич. зрачка	Диаметр (мм) гиперметр. зрачка	Среднее значение (мм)
0 (темнота)	7,63	7,79	7,23	7,55
0,1	6,66	6,84	6,09	6,53
1,0 (сумерки)	5,88	6,13	5,48	5,83
10	4,98	5,02	4,91	4,97
100 (киноэкран)	3,92	3,97	3,88	3,92
1000 (через 10 мин. после восхода солнца)	3,09	3,13	3,06	3,09
2500	2,61	2,68	2,51	2,60

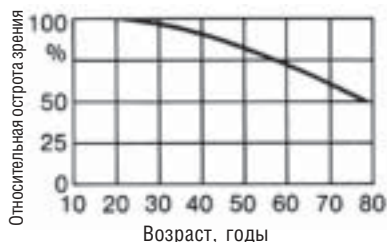


Рис.6.3. Относительная острота зрения в зависимости от возраста

Разрешающая способность глаза измеряется величиной наименьшего углового расстояния между деталями объекта, которые глаз еще различает как отдельные. Это угловое расстояние для точечных объектов составляет около 40-60 угл. секунд и около 5-10 угл. секунд для линий.

Острота зрения

В офтальмологии разрешающая способность глаза определяется как острота зрения, измеренная с помощью стандартного теста – «кольца Ландольта». Тест представляет собой кольцо, в определенном месте которого имеется разрыв (рис.6.4). Ширина кольца и размер разрыва в 5 раз меньше диаметра кольца. При тестировании необходимо определить положение разрыва (вверху, внизу, слева, справа).

Острота зрения 1,0 соответствует видимости разрыва в кольце Ландольта диаметром 5 угл. мин., при этом разрыв в кольце видим с угловым разрешением 1 угл. мин. В стандартном наборе тестов размер кольцо Ландольта выбирается таким образом, чтобы получить логарифмическую шкалу для остроты зрения.



Рис.6.4. Стандартный тест «кольцо Ландольта»

Острота зрения зависит от наблюдаемого объекта и определяется как минимальная острота зрения, при которой различимы детали тест-объекта (в данном случае положение разрыва в кольцах Ландольта) с определенного расстояния.

Если используются другие тесты, то они должны соответствовать кольцам Ландольта (который выбран в качестве стандартного теста).

Специальные тесты применяются для определения способности читать (минимальная четкость). В этом случае проверяется способность распознать слово, напечатанное шрифтом разного размера, целиком.

Если тесты используются на другом расстоянии (R_x), отличном от того, для которого тесты разработаны (R_n), то острота зрения VA (для R_n) рассчитывается по измеренному значению (VA_x) по формуле:

$$VA = (R_x)/(R_n) * VA_x \quad (6.1)$$

Пример. Если набор тестов должен проецироваться с расстояния 5 м, а реальное расстояние равно 4 м и наименьшие по размерам распознаваемые тесты соответствуют остроте зрения 0,8, то острота зрения равна 0,64.

Зрением без коррекции называется острота зрения без использования средств коррекции; соответственно, при использовании средств коррекции измеряется скорректированная острота зрения.

Бинокулярное зрение обычно несколько лучше, чем монокулярное.

Восприятие направления

Способность распознавать направление (от точки направления взгляда глаза), в котором расположены объекты, находящиеся в поле зрения, называется (монокулярным) восприятием направления. В норме точка объекта, изображение которой находится в центре фovea, располагается «прямо впереди перед глазом» (центральная фиксация). Ощущение направления, передаваемое другими точками сетчатки, определяется по отношению к этому «прямо вперед» направлению.

В точке сетчатки, соответствующей направлению «прямо вперед», пересекаются так называемые вертикальный и горизонтальный меридианы

сетчатки. Если на сетчатке изображение линии совпадает с одним из этих меридианов, то линия воспринимается как горизонтальная или вертикальная. Все точки на сетчатке справа (слева) от вертикального меридиана определяются как «левые» («правые»), а все точки на сетчатке выше (ниже) горизонтального меридиана определяются как «ниже» («выше») расположенные. В случае эксцентричной фиксации видимые точки объекта изображаются не в центральной области фовеа.

Восприятие глубины пространства

Способность различать расстояния, на которых расположены объекты, называется восприятием глубины пространства. Здесь различают латеральное диспаратное восприятие глубины (стереозрение), которое возможно только при наличии бинокулярного зрения, и латеральное недиспаратное восприятие глубины, которое главным образом осуществляется монокулярно. Следующие факторы играют роль в латеральном недиспаратном восприятии глубины пространства:

1. Порядок расположения наблюдаемых объектов (выше расположенные объекты воспринимаются как расположенные дальше)
2. Геометрическая перспектива
3. Резкость контуров объекта (объект с размытыми контурами воспринимается как удаленный, особенно из-за влияния атмосферы)
4. Распределение света и теней
5. Перекрытие объектов
6. Смещение объекта из-за его движения
7. Конвергенция
8. Аккомодация
9. Размер изображения на сетчатке.

Адаптация и ослепление

Способность глаза приспособляться к широкому диапазону уровней освещенности называется адаптацией. В зависимости от среднего уровня освещенности в восприятии света участвуют либо колбочки, либо палочки, либо и те, и другие. Высокочувствительные палочки участвуют в адаптации при освещенности меньше 10 кд/м^2 ; менее светочувствительные (но чувствительные к цвету) колбочки начинают реагировать при освещенности выше примерно $5 \times 10^{-3} \text{ кд/м}^2$. Поэтому при освещенности менее $5 \times 10^{-3} \text{ кд/м}^2$ (ночное или скотопическое зрение) активны только палочки. При освещенности между 5×10^{-3} и 10 кд/м^2 (сумеречное или мезопическое зрение) активны и палочки, и колбочки. При освещенности выше 10 кд/м^2 (дневное или фотопическое зрение) активны только колбочки.

Адаптация (колбочек) к высокой освещенности происходит относительно быстро — световая адаптация. Адаптация (палочек) к низким уровням освещенности осуществляется медленнее — темновая адаптация. Адаптация к низким уров-

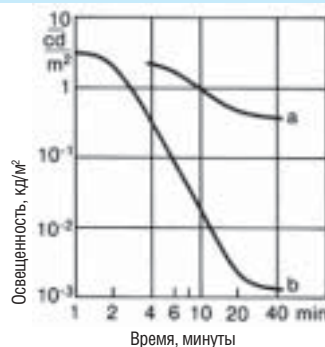


Рис.6.5. Процесс адаптации к низким уровням освещенности внутри фовеа (а) и вне ее (в)

ням освещенности спустя 3-5 минут называется быстрой адаптацией, после по меньшей мере 30 минут начинается перманентная стадия адаптации. Эти две стадии адаптации могут не зависеть друг от друга; хорошая быстрая адаптация (важна для вождения) может сочетаться с плохой перманентной адаптацией. Адаптация по всей площади сетчатки называется общей адаптацией, а в определенной области сетчатки — локальной. Так как локальная адаптация в фовеа заметно меньше, чем на периферии сетчатки, то ночное зрение вне фовеа лучше, чем внутри. На рис. 6.5 показана адаптация к низким уровням освещенности внутри фовеа и вне ее. Так называемая ночная слепота — это дефицит адаптации к низким уровням освещенности.

Адаптацию измеряют с помощью специальных приборов: адаптометра (скотопическое и мезопическое зрение), мезоптометра (мезопическое зрение) и никтометра (мгновенная адаптация мезопического зрения).

Ослепление наступает, если адаптация глаза нарушена освещением, яркость которого на некоторую минимальную величину выше освещения, к которому глаз уже адаптирован.

Следует различать:

1. Абсолютное ослепление: освещение слишком яркое
2. Относительное ослепление: слишком высока разница в уровнях освещения (рис.6.6)
3. Адаптационное ослепление: слишком быстрое изменение уровня освещенности.

Цветовое зрение

Спектральная чувствительность

Любое излучение в видимом диапазоне спектра электромагнитных излучений при попадании в глаз вызывает определенные зрительные ощущения. Относительная спектральная чувствительность глаза к монохроматическому излучению одинаковой интенсивности показана на рис.6.7.

Кривая $V(\lambda)$ чувствительности колбочек (дневное зрение) лежит примерно между 380 и 750 нм с мак-

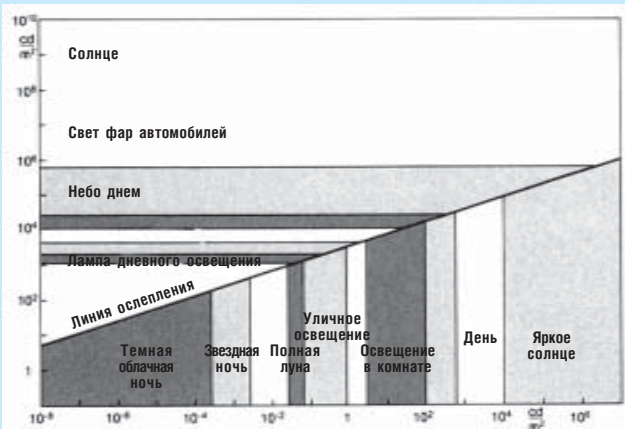


Рис.6.6. Освещенность, вызывающая ослепление, как функция фоновой освещенности. Уровни освещенности выше линии ослепления вызывают ослепление.

симумом при 555 нм. Кривая $V'(\lambda)$ чувствительности палочек (ночное зрение) сдвинута в коротковолновую часть спектра относительно $V(\lambda)$ примерно на 50 нм (максимум при 507 нм). Это смещение объясняет эффект Пуркинье: объекты разного цвета, но одинаковой яркости при дневном зрении воспринимаются глазом при сумеречном и ночном зрении как объекты различной яркости.

Цветочувствительность

Цвет объекта, который мы видим, не является свойством этого объекта, это всего лишь наше сенсорное восприятие. Цветовое ощущение, вызванное определенным излучением (цветовой стимул), – это физиологическая реакция. Соответствие цвета определенной длине волны излучения приведено в табл.6.2.

Различают хроматические цвета (одной длины волны) и ахроматические (белый, серый, черный). Насыщенность дает пропорция цвета в цветовом ответе (эквивалентно яркости для ахроматического цвета). Яркость характеризует интенсивность светового ответа. Яркость и насыщенность присущи хроматическому цвету, ахроматический цвет характеризуется только яркостью.



Рис.6.7. Спектральная чувствительность глаза: $V(\lambda)$ для дневного зрения, $V'(\lambda)$ для ночного зрения

Табл.6.2. Частота и длина волны излучений разных цветов

Цвет	Частота, ν (10^{14} Гц)	Длина волны в воздухе, λ (нм)
Красный	4,0...4,7	750...640
Оранжевый	4,7...5,0	640...600
Желтый	5,0...5,4	600...555
Зеленый	5,4...6,2	555...485
Голубой	6,2...7,0	485...430
Фиолетовый	7,0...8,0	430...375

За цветное зрение отвечают колбочки, а за ощущение ахроматического цвета – палочки. Состояние глаза, при котором он адаптирован к цветному стимулу, называется цветовой адаптацией. Если объекты освещены не слишком ярким цветным источником, они проявятся в своих натуральных цветах спустя несколько минут.

Трихроматическая теория

Каждый цвет может быть получен специфическим смешением трех первичных цветов, независимых друг от друга. Таким образом, ощущение каждого цвета характеризуется величиной трех стимулов с определенным цветовым значением трех определенных первичных цветов. Значения трех стимулов x , y и z стандартной хроматической системы, которые преимущественно используются, показаны на графике (рис.6.8) напротив значения длины волны.

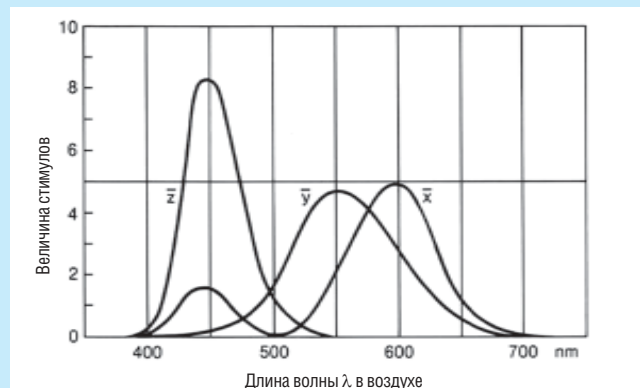


Рис. 6.8. Кривые трех стимулов эквиэнергетического спектра

Дефекты цветового зрения

Так как нормальное цветовое зрение осуществляется тремя типами рецепторов, оно называется трихроматическим зрением.

Различают 3 основных типа нарушений цветового зрения:

1. Ослабленное цветоощущение (аномальный трихроматизм)
2. Частичная цветовая слепота (дихроматизм)
3. Полная цветовая слепота (монохроматизм).

В следующем номере журнала будет продолжено рассмотрение физиологической оптики глаза.