

Глава VII

ОПТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ ПРИБОРОВ

§ 52. ГЛАЗ

Глаз является природным оптическим инструментом и имеет сложное устройство (рис. 67). Снаружи глаз покрыт твердой белковой оболочкой — *склерой* толщиной 0,4—1,1 мм. Передняя часть склеры прозрачна, несколько изогнута, она называется *роговицей*. Ее наружный покров переходит в *конъюнктиву*, прикрепленную к векам. За роговой оболочкой спереди располагается *передняя камера*. Она заполнена водянистой влагой. Под склерой расположена *сосудистая оболочка*, представляющая собой систему кровеносных сосудов, питающих глаз. Спереди сосудистая оболочка переходит в *радужную оболочку*. Радужная оболочка посередине имеет отверстие, выполняющее роль действительной диафрагмы (зрачок глаза). За радужной оболочкой располагается *хрусталик*. Форма хрусталика под воздействием мышц изменяется, а тем самым изменяется оптическая сила глаза. За хрусталиком расположена *задняя камера*, наполненная водянистой влагой. К сосудистой оболочке, заполняющей внутреннюю полость склеры, прилегает пигментный слой, за которым располагается сетчатая оболочка, или *ретины*. Ретина имеет сложное устройство из 10 слоев. В ней расположены чувствительные к свету элементы, имеющие вид *палочек* и *колбочек*. Длина палочки около 0,06 мм, а колбочки — 0,035 мм. Внутренние членики палочки имеют размер около 0,002 мм, а колбочки — 0,0065 мм. Число палочек составляет около $13 \cdot 10^7$, а колбочек — около $7 \cdot 10^6$. В середине сетчатки, в области, прилегающей к месту вхождения зрительного нерва в глазное яблоко, располагается больше колбочек, а в боковых частях — больше палочек. В месте входа зрительного нерва нет этих элементов, поэтому оно называется *слепым пятном*. Диаметр его около 1,8 мм. Над слепым пятном находится *желтое пятно*, наполненное преимущественно колбочками. В центре желтого пятна имеется углубление

диаметром около 0,4 мм, в котором располагаются только колбочки. Это место наиболее ясного видения. Центр его не совпадает со следом оптической оси на сетчатке, т. е. с точкой заднего фокуса. Таким образом, и линия, называемая *зрительной осью*, по которой происходит наблюдение рассматриваемого предмета, не

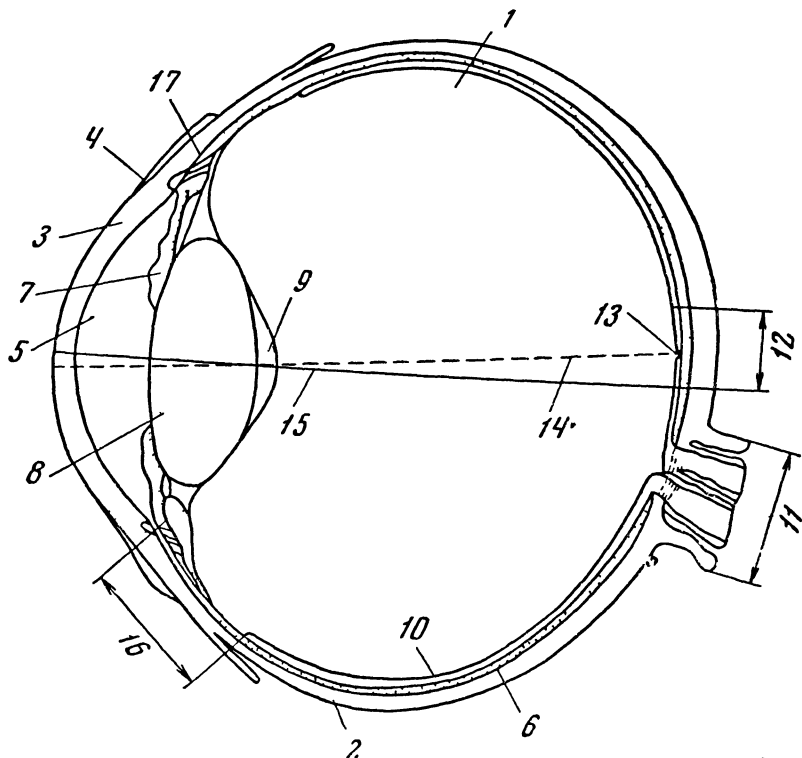


Рис. 67. Разрез глаза человека. 1 — стекловидное тело; 2 — склера; 3 — роговица; 4 — конъюнктивa; 5 — передняя камера; 6 — сосудистая оболочка; 7 — радужная оболочка; 8 — хрусталик; 9 — захрусталиковое пространство; 10 — ретина; 11 — зрительный нерв; 12 — желтое пятно; 13 — центральная ямка; 14 — зрительная ось; 15 — оптическая ось; 16 — ресничное тело; 17 — ресничная мышца

совпадает с оптической осью, а составляет с ней так называемый *угол альфа*, примерно равный 5° . При наблюдении тех или иных предметов глаз человека своей зрительной осью как бы ощупывает все контуры, последовательно приводя их в область желтого пятна.

Существуют различные гипотезы, объясняющие сущность зрения. Большинство исследователей признает, что зрительные ощущения связаны с изменением зрительного пурпура, находящегося в наружных члениках палочек и колбочек, который под действием света разлагается и обесцвечивается.

Зрительный пурпур выцветает на тех частях сетчатки, на которые упал свет, вызывающий фотохимическую и термическую реакции. Зрительный пурпур восстанавливается в темноте. Глаз предохраняется от ослепления ярким светом пигментными зернами, выделяющимися из пигментного слоя.

Основными свойствами глаза являются: 1) аккомодация, 2) адаптация, 3) световая чувствительность, 4) спектральная чувствительность, 5) острота зрения, 6) поле зрения, 7) бинокулярное зрение, 8) стереоскопическое зрение.

Аккомодацией называется способность глаза приспособливаться к четкому наблюдению разноудаленных предметов. Она достигается изменением формы хрусталика. При максимальном напряжении аккомодации оптическая сила глаза увеличивается с 58,64 диоптрии до 70,57.

Различают *ближнюю точку ясного зрения*, соответствующую максимальному напряжению, и *дальнюю точку ясного зрения*, соответствующую полному покою аккомодации. Расстояние между этими точками в метрах определяет область, или *длину аккомодации*, а выраженное в диоптриях — *силу аккомодации*. Сила аккомодации изменяется с возрастом, так, например, в возрасте 20 лет она составляет 10 диоптрий, а в 50 — 2,5 диоптрии. За расстояние наилучшего зрения принимают 250 мм.

Адаптацией называется способность глаза приспособливаться к различным условиям освещенности. Различают *световую* и *темновую адаптацию* глаза.

Понижение чувствительности глаза при световом раздражении называется световой адаптацией. При переходе из темного помещения в светлое глаз ощущает чувство ослепления, проходящее через некоторое время. При ярком освещении зрительный пурпур, покрывающий палочки, полностью разлагается и палочки не действуют. Изображения воспринимают колбочки, которых от яркого света защищают пигментные зерна. Одновременно сужается зрачок глаза (с 9 до 2 мм). Для полной адаптации необходимо время 20—30 мин.

Темновой адаптацией называется повышение чувствительности глаза при световом раздражении. Известно, что при переходе из светлого помещения в темное глаза сначала ничего не видят или плохо видят, но спустя некоторое время они начинают различать предметы. При слабом освещении колбочки не действуют. В палочках образуется зрительный пурпур, разложение которого небольшими дозами света вызывает ощущение света. Для темновой адаптации необходимо время около часа, но, однако, спустя 5—7 мин пребывания в темноте зрение восстанавливается достаточно.

Световая чувствительность характеризуется наименьшим количеством световой энергии, могущей вызвать световое раздражение — *темновым порогом раздражения*. Темновой порог раздражения иногда называют *абсолютным порогом зрения*. Минимальная

яркость, вызывающая зрительное ощущение, называется *пороговой яркостью*, а величина, обратная пороговой яркости, и есть световая чувствительность. Для получения светового раздражения необходимо иметь освещенность на зрачке глаза в $5 \cdot 10^{-9} \div 8 \cdot 10^{-9}$ лк, при этом зрачок глаза раскрыт до диаметра $7 \div 8$ мм.

Обычно глаз воспринимает цвета в диапазоне длин волн $380—770$ нм. Такой способностью обладают колбочки, поэтому при сумеречном зрении, при котором действуют палочки, все кажется бесцветным. Различные цвета воспринимаются с различной интенсивностью. Для дневного зрения максимум *спектральной чувствительности* имеет место для длины волны 564 нм, однако для практических расчетов его принято принимать для длины волны 555 нм. Чувствительность глаза к лучам спектра с различной длиной волны определяется *кривой относительной видности* K_{λ} .

Остротой зрения, или разрешающей силой глаза, называется способность глаза различать две близкие точки отдельно друг от друга. Острота зрения является функцией размера колбочки. За среднюю остроту зрения принимают $60''$.

Острота зрения зависит от условий наблюдения. При наблюдении изображений на экране (проекции) за разрешающую силу глаза принимают $2—3'$, при наблюдении в обычные приборы — $1'$, при наблюдении в высококачественные приборы — $30''$, а в дальномеры — $10''$. Наилучшая острота зрения достигается при освещенности предметов в 50 лк и при применении монохроматического света.

Острота зрения возрастает при увеличении диаметра зрачка глаза от 2 до 3 мм, остается неизменной при $3—5$ мм и далее падает из-за аберраций оптической системы глаза. Острота зрения имеет максимум при наблюдении черных предметов на белом фоне при освещенности в 150 лк, а при наблюдении белых предметов на черном фоне — в $5—10$ лк.

Поле зрения определяется пространством, наблюдаемым неподвижным глазом. Оно равно: книзу 70° , кверху 55° , к носу 60° и к виску 90° (125° по вертикали и 150° по горизонтали). Движение глаз позволяет увеличить угловую величину просматриваемого пространства. Наибольшее отклонение зрительной оси в сторону достигает $45—50^\circ$.

В каждом глазу образуются отдельные изображения, которые в зрительном впечатлении сливаются в одно. Геометрическое место точек пространства, которые видны одиночными, называется *гороптером*. Поле зрения, видимое одновременно обоими глазами, называемое *бинокулярным*, составляет около 120° . *Глазной базис* (расстояние между осями глаз) для различных людей колеблется в пределах от 58 до 72 мм, составляя в среднем 65 мм. При наблюдении близко расположенных предметов глаза поворачиваются, а их оси составляют некоторый угол, называемый *углом конвергенции*. Максимальный угол конвергенции 32° .

Способность глаз ощущать предметы в глубину называется

стереоскопическим зрением, или стереоскопизмом. Такая возможность образуется при наблюдении двумя глазами. Основными факторами стереоскопического зрения являются: 1) конвергенция глаз при одновременной аккомодации, 2) положение изображений на различных расстояниях от центральной ямки в левом и правом глазах.

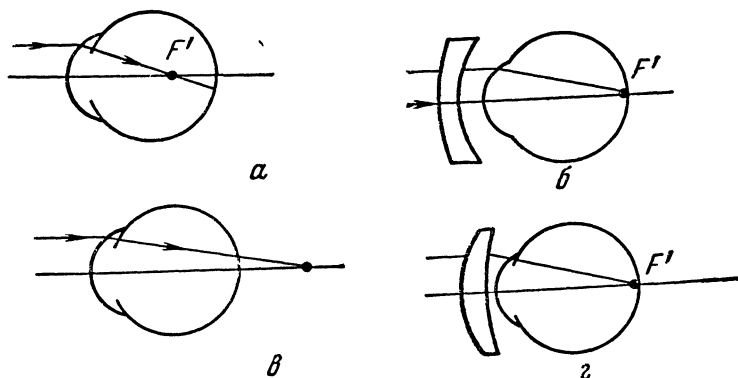


Рис. 68 Недостатки зрения

Глазной базис b определяет базис стереоскопического зрения, как расстояние между главными точками глаз. Угол с вершиной в точке предмета, образованный визирными осями глаз, называется параллактическим углом ε :

$$\varepsilon = \frac{b}{R}, \quad (52,1)$$

где R — дистанция до предмета.

Способность замечать малые различия стереоскопических параллаксов называется остротой стереоскопического зрения η . Она достигает $10''$. Рельефно можно видеть и одним глазом — по ощущению мышечных усилий при направлении визирной оси глаза на фиксируемую точку и при аккомодации.

К числу основных недостатков зрения относится близорукость (миопия) и дальнозоркость (гиперметропия). Оптическая сила близорукого глаза увеличена по сравнению с нормальным (эмметропическим). Вследствие этого (рис. 68, а) точка заднего фокуса расположена перед сетчаткой. Наличие объема аккомодации не помогает, так как с увеличением оптической силы глаза точка F' переместится еще ближе к хрусталику. Для исправления этого недостатка необходима отрицательная линза (рис. 68, б). Без линзы или с помощью объема аккомодации близорукий глаз может рассматривать предметы вблизи.

Оптическая сила дальнозоркого глаза ослаблена в сравнении

с нормальным. Поэтому (рис. 68, в) точка заднего фокуса расположена за сетчаткой. При приближении предметов к глазу точка изображения передвигается еще дальше от сетчатки. Следовательно, дальновзоркий глаз всегда работает с напряжением аккомодации. Для исправления этого недостатка необходима положительная линза (рис. 68, г).

Существуют и другие недостатки: пресбиопия (отсутствие объема аккомодации), астигматизм (различная оптическая сила глаза в различных направлениях), афакия (отсутствие хрусталика), дальтонизм (ошибка в определении цвета) и др.

§ 53. ОПТИЧЕСКИЕ ДЕТАЛИ

Во многих оптических приборах различных конструкций применяются однотипные оптические детали в виде плоскопараллельных пластин, отражательных призм, объективов, коллективов и окуляров. Эти детали и узлы имеют определенные оптические свойства, которые не зависят от принципа устройства того или иного оптического прибора.

Плоскопараллельные пластины применяются в виде защитных, покровных, предметных, компенсационных стекол, светофильтров, сеток и зеркал. Оптический расчет их сводится к определению толщины и диаметра. Толщина пластины устанавливается из условий прочности или возможности изготовления точных полированных поверхностей. В последнем случае толщина пластины выбирается порядка $1/8$ — $1/10$ диаметра. При определении диаметра пластины необходимо учитывать преломление лучей внутри пластины, однако приемом редуцирования можно избежать определения величин углов преломления.

Редуцирование заключается в приведении оптической среды пластины к воздуху путем деления ее толщины на показатель преломления. Найдем разность действительной толщины и редуцированной:

$$d - d_0 = d - \frac{d}{n} = d \left(1 - \frac{1}{n} \right) = d \frac{n-1}{n}. \quad (53,1)$$

Это уравнение тождественно уравнению (17,2). Следовательно, в редуцированной пластине точка P_1' (рис. 69) находится на том же месте, где она находилась бы в случае отсутствия пластины. Следовательно, можно рассматривать ход луча в редуцированной пластине без преломления, а так как

$$d - d_0 = L_0, \quad \text{то} \quad h_0 = h.$$

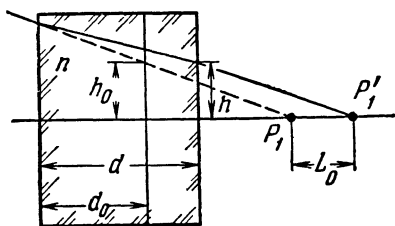


Рис. 69. Оптическое редуцирование