

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.

Всем читателям этой рубрики предлагается письменно ответить на несколько вопросов по «пройденному» материалу. Ответы следует высылать в ООО «Карл Цейсс» по указанному в конце статьи адресу. Читатели, активно участвующие в работе «Заочной школы», по окончании ее получают сертификат компании Carl Zeiss. «Заочная школа Carl Zeiss» была уже напечатана в следующих номерах: №6, №7 2005 г., №1 2006 г. В этих номерах были изложены вопросы геометрической и физической оптики.

Публикация 4 Физиологическая оптика: Глаз

Структура глаза Анатомическая структура

Глазное яблоко имеет почти сферическую форму, но его оптическая система не совсем точно центрирована. Оптической осью (ОА) глаза принято называть нормаль к передней поверхности роговицы, проходящую через центр входного отверстия зрачка.

На рис.4.1 показано горизонтальное сечение глаза со схематическим изображением его структур. Внутреннее пространство глаза заполнено стекловидным телом G. Перед стекловидным телом расположен хрусталик L, а позади стекловидного тела находится многослойная сетчатка N. Сетчатка имеет толщину около 0,3 мм и содержит фоточувствительные клетки — палочки и колбочки. Область наивысшей остроты зрения расположена в центральной зоне фовеа (центральной ямки сетчатки) F и имеет диаметр около 1,5 мм (около 5°).

На расстоянии около 4,5 мм (15°) в назальную сторону от центра фовеа находится диск зрительного нерва В диаметром около 1,6 мм (около 6°). Точка, в которой оптическая ось достигает сетчатки, называется задним полюсом Р.

Окружающая оболочка называется увеа. Она состоит из хориоидеи А, питающей глаз, цилиарного тела Z, изменяющего форму хрусталика, и радужной оболочки глаза R, контролирующей количество света, проникающего в глаз. Глаз покрывает наружная (фиброзная) оболочка толщиной 1 мм, состоящей из склеры S (сзади) и прозрачной роговицы Н (спереди), толщиной в центре около 0,5 мм; переходная зона называется лимбом. Самая слабая точка склеры — решетчатая пластинка С, лежащая за диском зрительного нерва В, через которую проходит зрительный нерв О. Передняя камера глаза V расположена между роговицей и радужкой; задняя камера W расположена между радужкой, цилиарным телом и хрусталиком. Обе камеры заполнены водянистой влагой.



Рис.4.1. Горизонтальное сечение глаза (описание в тексте)

Движение глаза обеспечивают 6 мышц, связанных со склерой. Глазное яблоко имеет диаметр около 24 мм и находится в костной орбитальной полости, покрытой жировой тканью.

Конъюнктивa — это соединение между глазным яблоком и веком. Слезный аппарат глаза со слезной железой на темпоральной стороне служит, главным образом, для очистки поверхности глаза.

Оптические функции

Падающие на глаз световые лучи преломляются роговицей, потом они идут через влагу передней камеры до хрусталика, где они снова преломляются. После прохождения стекловидного тела лучи попадают на светочувствительные элементы сетчатки. Роговица представляет собой собирающий мениск с показателем преломления 1,376 и положительной оптической силой $F_H = 43 D$, обусловленной разницей показателей преломления смежных сред. Перед роговицей находится воздух с показателем преломления $n=1$, а позади нее — водянистая влага с $n_K=1,336$. Поэтому наибольшее преломление световых лучей происходит на передней поверхности роговицы. На

расстоянии примерно 5 мм за роговицей находится двояко-выпуклый хрусталик с показателем преломления $n_L=1,4$. Стекловидное тело позади хрусталика имеет тот же показатель преломления, что и водянистая влага перед ним. Это создает положительную оптическую силу хрусталика около $F_L = 19 D$ при покое аккомодации. Глаз в целом обладает положительной оптической силой около $F_{EYE} = 59 D$. На сетчатке формируется изображение, а апертура зрачка (перед хрусталиком) является апертурой всей оптической системы.

Оптическая система глаза включает следующие элементы вдоль оптической оси, начиная с передней вершины роговицы (расстояния от вершины роговицы указаны в скобках по Гульльстранду, в мм): главные точки Н (1,5) и Н' (1,6); центры входного отверстия зрачка EP (3) и выходного отверстия зрачка AP (3,5), узловые точки К (7,1) и К' (7,2) и оптический центр вращения глазного яблока Z', приближенно имеющего сферическую форму (рис.4.2).

Центры вращения глазного яблока

Когда глаз совершает любые движения (благодаря работе шести наружных мышц), ни одна точка внутри глаза не остается на своем месте внутри полости орбиты. Точка с минимальным изменением положения при движении глаза называется механическим центром вращения М. В эметропичном глазе эта точка обычно находится на расстоянии 13,5 мм от передней вершины роговицы. На рис.4.2 показаны главные точки и линии оптической системы глаза.

Зрительная линия GL – это прямая, соединяющая точку зафиксированного глазом объекта с сопряженной точкой изображения объекта в центре фовеа. Зрительную линию приближенно можно считать совпадающей с лучом, проходящим через узловую точку.



Рис.4.2. Глаз (зрение вдаль с положительным углом γ)
 OA - оптическая ось, FL - линия фиксации, GL - зрительная линия,
 Z' - оптический центр вращения глаза, Н, Н' – главные точки,
 EP, AP - центры входного и выходного отверстия зрачка,
 N, N' - узловые точки, P - задний полюс

Прямая, соединяющая точку рассматриваемого объекта с центром входного отверстия зрачка, называется линией фиксации FL; эта линия является главным лучом в пространстве объекта. При фиксации удаленного на бесконечность объекта зрительная линия и линия фиксации параллельны.

Направление линии фиксации при взгляде прямо вперед на удаленный объект называется нулевым направлением зрительной линии. Движение глаза внутрь называется аддукцией, а наружу - абдукцией.

Направление линии фиксации изменяется при каждом движении глаза. Если все линии фиксации продолжить внутрь глаза, то они окажутся касательными к замкнутой поверхности, близкой по форме к сфере, радиусом примерно 0,8 мм. Центр этой сферы называется механическим центром вращения глаза.

Оптический центр вращения глаза Z' – это основание перпендикуляра, проведенного из механического центра вращения глаза к линии фиксации при нулевом направлении зрительной линии. Это самая важная точка для правильного центрирования очковых линз. Линия фиксации обычно не совпадает с оптической осью глаза; угол между ними обозначают γ . Так как зрительная линия и линия фиксации параллельны, то угол γ – это мера расстояния между центром фовеа и задним полюсом. Угол γ будет положительным, если фовеа расположена темпорально относительно заднего полюса. Значения γ обычно лежат в пределах от $+8^\circ$ до -3° (это соответствует смещению фовеа относительно заднего полюса на около 2,5 мм темпорально или около 1 мм назально). Только когда $\gamma = 0$ оптическая ось совпадает с линией фиксации и зрительной линией, а задний полюс совпадает с центром фовеа, оптический центр вращения глаза лежит на оптической оси.

Поле фиксации и поля зрения

Все точки, которые могут быть зафиксированы глазом без каких-либо движений головы (вращается только глаз), образуют монокулярное поле фиксации. Изображение каждой точки поля фиксации может быть получено в центре фовеа при соответствующем движении глаза. Линии фиксации пересекаются примерно в оптическом центре вращения глаза.

Если точка в поле фиксации зафиксирована глазом (глаз и голова неподвижны), то все точки объекта, воспринимаемые вокруг точки фиксации, образуют монокулярное поле зрения для этого направления взгляда. Область, соответствующая диску зрительного нерва (слепому пятну), не участвует в этом процессе.

Совокупность всех полей зрения для всех возможных направлений называется монокулярным полем зрения. Бинокулярные поля зрения для обоих глаз получаются в результате наложения соответствующих монокулярных полей.

Контрольные вопросы к материалам этой и предыдущей публикаций будут опубликованы в следующем выпуске «Заочной школы».