

Биофизика зрения

Вопросы для подготовки к занятию:

1. **Элементы геометрической оптики**
 - 1.1 Линзы, виды линз.
 - 1.2 Главная оптическая ось, фокус линзы.
 - 1.3 Построение изображения в линзе, формула линзы.
 - 1.4 Оптическая сила линзы. Связь оптической силы линзы с радиусами кривизны поверхностей линзы.
2. **Формирование изображения оптической системой глаза**
 - 2.1 Строение глаза.
 - 2.2 Оптическая система глаза, виды и характеристики биолинз.
 - 2.3 Редуцированный глаз. Построение изображения в глазу.
 - 2.4 Угол зрения. Разрешающая способность. Острота зрения.
 - 2.5 Аккомодация.
 - 2.6 Бинокулярное зрение.
 - 2.7 Недостатки оптической системы глаза и физические основы их исправления.
3. **Биофизические основы зрительной рецепции**
 - 3.1 Морфофункциональные слои сетчатки глаза.
 - 3.2 Строение палочки.
 - 3.3 Первичные механизмы световосприятия и цветовосприятия.
 - 3.4 Цветное зрение.

Введение

Зрительная система человека функционирует так естественно, что трудно представить, что в основе зрительного акта лежат сложные процессы.

Прежде всего, глаз — это оптический прибор, который формирует изображение предметов внешнего мира на сетчатке глаза, где расположены зрительные рецепторы — палочки и колбочки. Для понимания принципов его работы необходимо знать некоторые элементы геометрической оптики, которые рассматриваются в учебно-методическом пособии. Рассматривается строение глаза, особенности формирования изображений на сетчатке, вопросы аккомодации, остроты зрения, а также некоторые недостатки зрения. Описано строение сетчатки, устройство зрительных рецепторов, а также биофизические механизмы преобразования светового раздражения в нервный импульс. Окончательная обработка зрительного образа происходит в зрительных центрах головного мозга. Рассмотрены некоторые особенности цвето- и световосприятия глаза.

1.Элементы геометрической оптики

Оптика – раздел физики, изучающий свойства и физическую природу света, а также его взаимодействие с веществом.

Видимый свет – это электромагнитное излучение в диапазоне длин волн от 400 до 760 нм. Этот диапазон является главным источником информации для человека.

Раздел оптики, в котором законы распространения света рассматриваются на основе представлений о световых лучах, называется геометрической оптикой. Под *световым лучом* понимается направленная линия, вдоль которой распространяется световая энергия. Геометрическая оптика является приближенным методом построения изображений в оптических системах, но позволяет разобрать основные явления, связанные с прохождением через них света.

1.1 Линзы, виды линз. Главная оптическая ось, фокус линзы

Линзой называется прозрачное тело, ограниченное двумя сферическими поверхностями и по показателю преломления отличающееся от окружающей среды. Линза называется *тонкой*, если ее толщина мала по сравнению с радиусами кривизны ее поверхностей.

Прямая O_1O_2 , проходящая через центры кривизны поверхностей линзы, называется **главной оптической осью** (рис.1). Для всякой линзы существует точка O , называемая оптическим центром линзы. Любая прямая, проходящая через оптический центр, называется оптической осью линзы.

Лучи света, идущие вдоль оптических осей линзы, т.е. проходящие через ее центр, не преломляются. Если луч света идет не вдоль оптической оси, то после прохождения он изменяет свое направление, т.е. преломляется линзой.

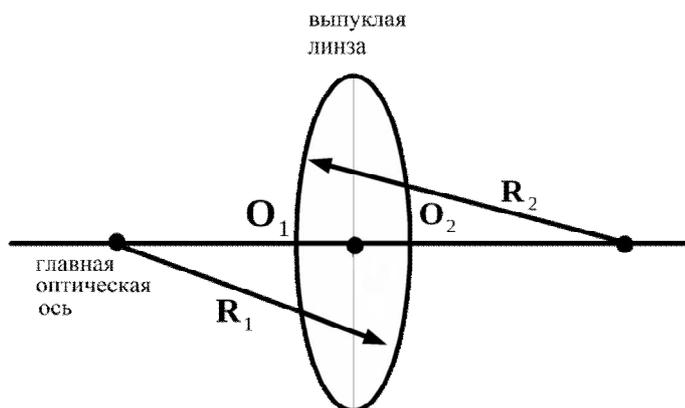


Рис. 1.1 Схематическое изображение линзы

Если на линзу падает параллельный пучок света и после прохождения он сходится в одной точке F , то линзу называют *собирающей* (рис. 1.2,а), а точку F - *действительным фокусом* линзы. Если же параллельный пучок света после прохождения линзы расходится так, что

кажется исходящим из одной точки, то линза называется *рассеивающей*, а точка F – *мнимым фокусом* линзы (рис. 1.2, б).

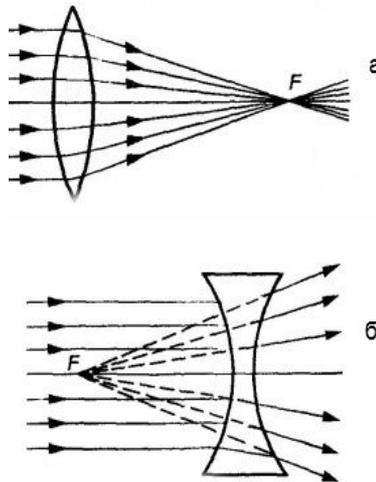


Рис.1.2 Линза: а- собирающая; б - рассеивающая

Если в фокус собирающей линзы поместить точечный источник света, то после прохождения линзы все лучи пойдут параллельно оптической оси линзы. Фокус линзы, лежащий на главной оптической оси, называется *главным фокусом* линзы. Расстояние F от центра линзы до ее *главного фокуса* называется ее *фокусным расстоянием*.

Каждая линза имеет передний и задний (по ходу луча) фокусы. Если по обе стороны линзы одинаковая среда, то переднее и заднее фокусные расстояния линзы равны. Если же по обе стороны линзы разные среды (например, по разные стороны роговицы глаза находится воздух и водянистая влага) с показателями преломления n_1 и n_2 , то переднее F_1 и заднее F_2 фокусные расстояния будут отличаться примерно в (n_1/n_2) раз.

1.2 Оптическая сила линзы

Основной характеристикой и мерой преломляющего действия линзы служит ее *оптическая сила*(D) – величина, обратная фокусному

расстоянию линзы.
$$D = \frac{1}{F}$$

В СИ оптическая сила линзы измеряется в *диоптриях* (дптр), при этом фокусное расстояние должно измеряться в метрах:

$$1 \text{ дптр} = 1 \text{ м}^{-1}.$$

1 диоптрия-это оптическая сила линзы с фокусным расстоянием 1м. У собирающих линз оптическая сила положительна, у рассеивающих – отрицательна. Оптическая сила зависит от показателей преломления вещества линзы и среды, окружающих линзу, а также радиусов кривизны ее поверхностей.

Связь оптической силы линзы с радиусами кривизны поверхностей линзы

Связь оптической силы линзы с радиусами кривизны поверхностей линзы (рис. 1.1) может быть определена по формуле:

$$D = (n_{21} - 1) \left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right)$$

где $n_{21} = \frac{n_l}{n_s}$ – относительный показатель преломления линзы и окружающей среды; R_1 и R_2 – радиусы кривизны ее 1-й и 2-й (по ходу луча) поверхностей, которые считаются положительными, если их центры расположены справа (т.е. по ходу луча) от линзы, и отрицательными, если слева от нее.

1.3 Построение изображения в линзе

Чтобы получить изображение точки, создаваемое линзой, необходимо найти пересечение лучей, исходящих из этой точки, после их преломления. Для этого удобно использовать любую пару из следующих трех лучей (рис. 1.3):

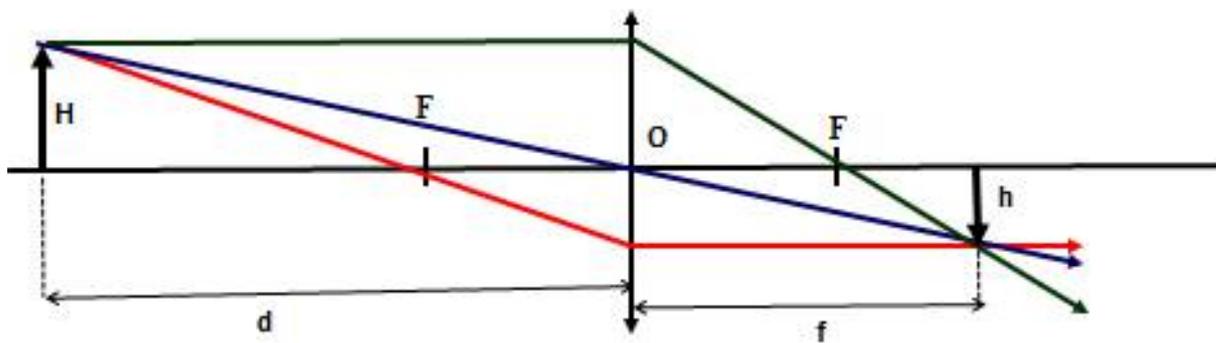


Рис. 1.3

а) луч, параллельный оптической оси, после преломления в линзе проходит через ее задний фокус;

б) луч, проходящий через передний главный фокус, после преломления идет параллельно главной оптической оси;

в) луч, идущий через оптический центр линзы, не преломляется, т.е. после преломления идет в том же направлении.

1.4. Формула линзы

Если предмет находится на расстоянии d , а его изображение на расстоянии f от линзы с фокусным расстоянием F (Рис. 1.3), то выполняется соотношение, называемое *формулой линзы*:

Здесь фокусное расстояние F считается положительным для собирающих линз и отрицательным – для рассеивающих. Расстояние d от предмета до линзы всегда положительно, а расстояние f от линзы до изображения положительно для действительных изображений и отрицательно для мнимых.

Если предмет находится на бесконечности (т.е. удален на большое расстояние $d \rightarrow \infty$), то его изображение будет расположено в фокусе

линзы ($f=F$), а по мере приближения предмета к линзе его изображение удаляется от линзы и $f>F$.

Собирающая линза может давать как действительные, так и мнимые изображения.

Действительные изображения предмета формируются в тех случаях, когда он расположен перед передним фокусом линзы, т.е. при $d > F$. При этом можно получить три вида действительных изображений: *уменьшенное* (если $d > 2F$), *равное* ($d = 2F$) и *увеличенное* ($F < d < 2F$). **Действительные изображения** всегда находятся по другую сторону линзы относительно предмета и **всегда перевернутые**.

2. Формирование изображения оптической системой глаза

2.1 Строение глаза

Зрение – это один из способов познавать окружающий мир и ориентироваться в пространстве. Несмотря на то что другие органы чувств тоже очень важны, с помощью глаз человек воспринимает около 90% всей информации, поступающей из окружающей среды.

Глаз — воспринимающий отдел зрительного анализатора, служащий для восприятия световых раздражений.

Строение глаза показано на рис.2.1

Глазное яблоко имеет почти сферическую форму и окружено тремя оболочками.

1. **Склера**— достаточно прочная внешняя белковая оболочка, защищающая глаз от повреждений и придающая ему постоянную форму.

2. **Роговица** - передняя часть склеры, более выпуклая и прозрачная; действующая как собирающая линза с оптической силой +40 дптр. Склера обеспечивает до 75 % фокусирующей способности глаза. Ее толщина 0,6—1 мм, а показатель преломления $n=1,38$.

3. **Сосудистая оболочка**— с внутренней стороны склера выстлана сосудистой оболочкой. Это очень тонкая перепонка, содержащая кровеносные сосуды. В передней части она утолщается и принимает форму кольца. Здесь-то и прикрепляется радужная оболочка и ресничная мышца.

4. **Радужная оболочка** — в передней части сосудистая оболочка переходит в окрашенную радужную оболочку, цвет которой определяет цвет глаз.

5. **Зрачок**— круглое отверстие в радужной оболочке, пропускающее свет. Диаметр зрачка может изменяться от 2 до 8 мм. Радужная оболочка и зрачок играют роль диафрагмы, регулирующей поступление света внутрь глаза.

6. **Хрусталик**— природная эластичная двояковыпуклая линза диаметром 8-10 мм и оптической силой +20 дптр. Хрусталик имеет слоистую структуру с наибольшим показателем преломления $n = 1,41$; находится за радужной оболочкой. Хрусталик эластичен, он может менять свою кривизну с помощью специальной мышцы, благодаря чему обеспечивается фокусировка глаза на предметы, удаленные от него на разные расстояния.

7. **Кольцевая мышца**— мышца, которая охватывает хрусталик и может изменять кривизну его поверхностей. При сжатии кольцевой мышцы оптическая сила хрусталика увеличивается.

8. **Передняя камера**— камера с водянистой массой ($n = n_{\text{воды}}$), которая находится в передней части глаза между роговицей и хрусталиком.

9. **Зрительный нерв**, обеспечивающий передачу зрительной информации в мозг. Подходя к глазу, он разветвляется, образуя на задней стенке сосудистой

оболочки светочувствительный слой- сетчатку.

10. **Сетчатка** — светочувствительный слой, воспринимающий свет и преобразующий его в нервные импульсы. Сетчатка представляет собой разветвление зрительного нерва с нервными окончаниями в виде палочек и колбочек.

11. **Стекловидное тело**— студенистое вещество, заполняющее пространство между хрусталиком и сетчаткой (задняя глазная камера).

Желтое пятно (макула) — самая чувствительная область сетчатки, площадью около 3мм². Человек видит ясно те предметы, изображение которых проецируется на желтое пятно.

13. **Центральная ямка**— наиболее чувствительная часть желтого пятна. Это область диаметром примерно полмиллиметра, в которой сетчатка углублена. Здесь палочки совсем отсутствуют, а концентрация колбочек максимальна.

14. **Слепое пятно** — расположено в том месте, где зрительный нерв входит в глаз. Здесь нет ни палочек, ни колбочек, и лучи, попадающие на эту область, не вызывают световых ощущений (отсюда и название «слепое пятно»).

15. **Конъюнктивa** — наружная оболочка глаза, выполняет барьерную и защитную роль.

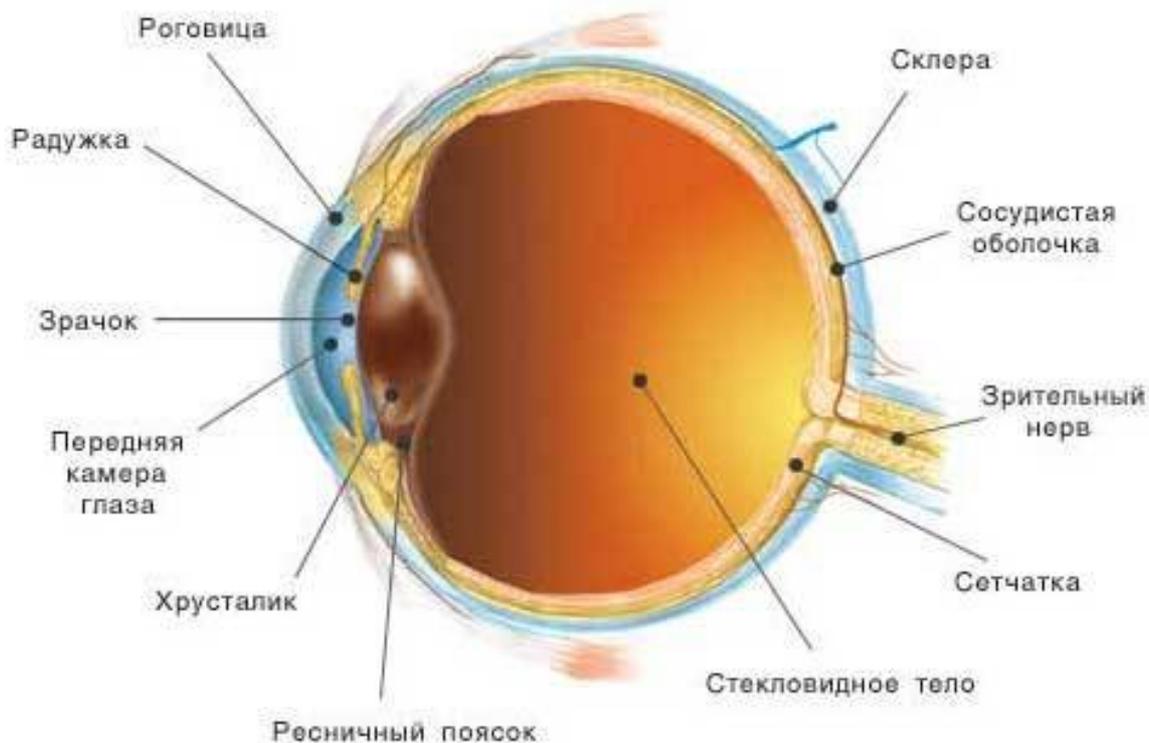


рис. 2.1

2.2 Оптическая система глаза, виды и характеристики билинз

Светопроводящий аппарат глаза образован роговицей, жидкостью передней камеры, хрусталиком и стекловидным телом. Первые три элемента подобны собирающим линзам, а последний - рассеивающей. Глаз — центрированная оптическая система, *главная оптическая ось* (OO) которой проходит через центры роговицы, зрачка, хрусталика. **Оптическая сила глаза** складывается из оптических сил всех перечисленных элементов.

Преломляющие среды глаза

- $D_p = 40$ дптр
- $D_x = 20$ дптр
- $D_{пк+ст} = 3-5$ дптр

Среднее значение оптической силы глаза равно: $D_{\text{гл}} = 63-65$ дптр

При полностью расслабленной кольцевой мышце оптическая сила глаза - около +60 дптр, при максимальном напряжении кольцевой мышцы (рассматривании близких предметов) $D > 70$ дптр.

Таким образом, глаз приближенно можно рассматривать как тонкую линзу с переменной оптической силой в 60-70 дптр. Поскольку рассматриваемый предмет располагается, как правило, за двойным фокусным расстоянием, на сетчатке глаза получается *действительное, уменьшенное и перевернутое* изображение предмета.

2.3 Редуцированный глаз

Редуцированный глаз(рис. 2.1) — условная, сильно упрощенная оптическая система.

Наиболее точным является редуцированный глаз, предложенный В. К. Вербицким.

В редуцированном глазе только одна преломляющая поверхность—роговица, и весь глаз наполнен однородной средой с одним показателем преломления $n=1,4$.

Характеристика:

- радиус кривизны роговицы 6,8 мм;
- длина глаза 23,4 мм;
- радиус кривизны глаза 10,2 мм;
- фокус глаза 16мм;
- показатель преломления внутриглазной среды 1,4;
- общая преломляющая сила 63-65 дптр.
- внутриглазное давление $P=23-25$ мм.рт.ст.

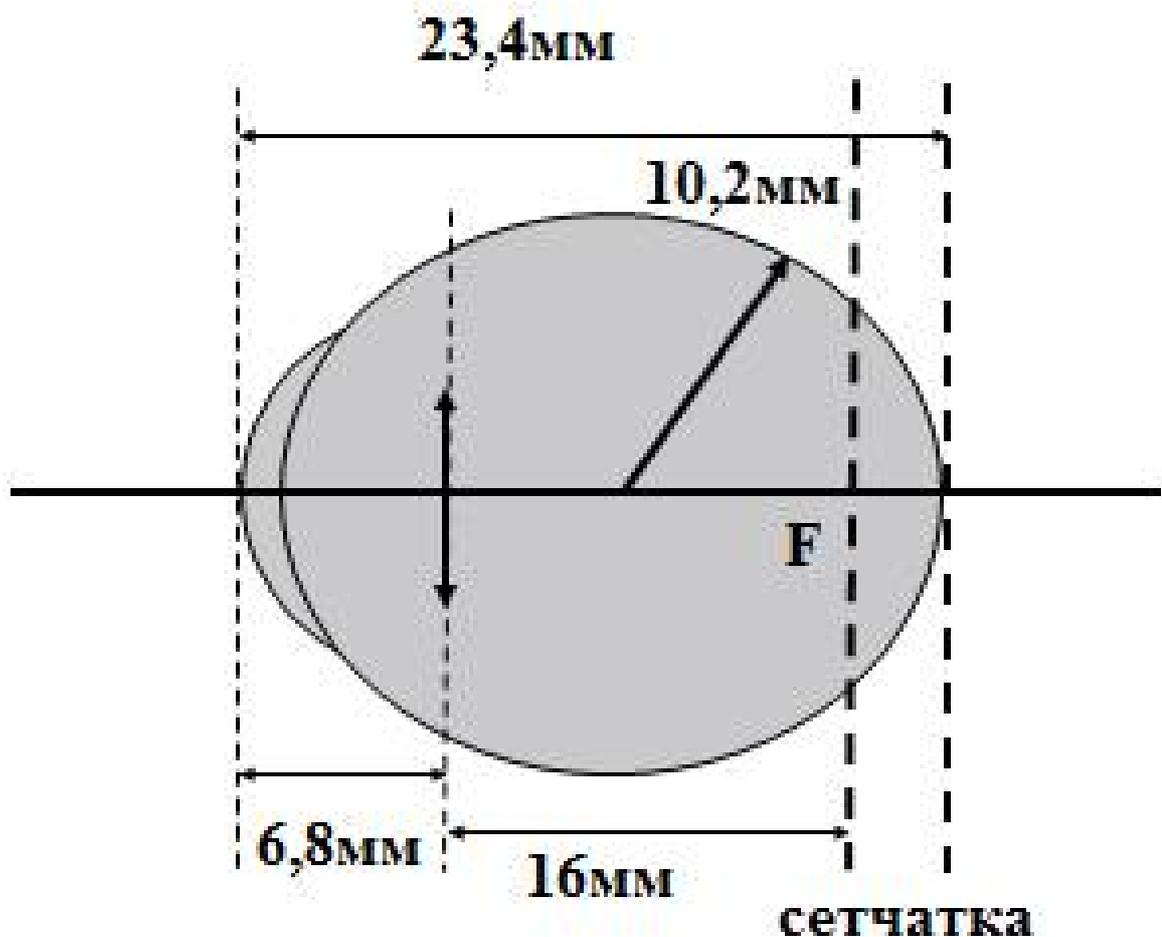


рис. 2.1

Хотя схема глаза по Вербицкому построена приближенно, с ее помощью можно производить расчеты с точностью, вполне достаточной для практических целей. Рассмотрим, как построить изображение предмета на сетчатке.

Построение изображения в глазу

Для получения изображения предмета высотой h в глазу достаточно провести два луча из конца этого предмета:

1. луч, параллельный оптической оси, после преломления в линзе проходит через ее задний фокус;

2. луч, идущий через оптический центр линзы, не преломляется, т.е. после преломления идет в том же направлении.

Пересечение этих лучей произойдет в т. B' . Восстановив перпендикуляр на оптическую ось, получим изображение этого предмета- h' на сетчатке глаза.

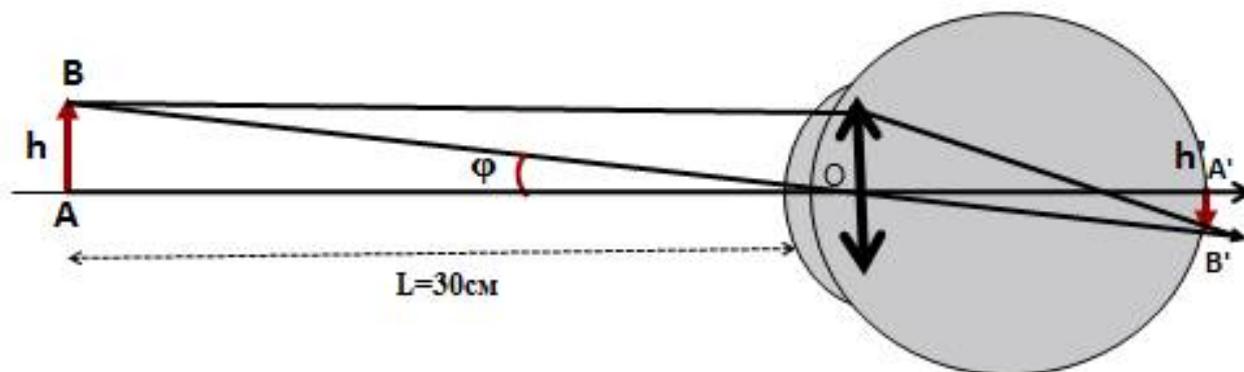


рис. 2.2 Угол зрения, построение изображения в глазу

2.4 Угол зрения, разрешающая способность, острота зрения

Угол зрения (ϕ)- это угол между лучами, идущими от крайних точек предмета через оптический центр глаза (рис. 2.2).

Разрешающая способность глаза — это величина, характеризующая его способность давать раздельное изображение двух близких друг к другу точек объекта.

Разрешающая способность глаза, т. е. способность раздельно видеть две точки, находящиеся на небольшом расстоянии друг от друга, называется **остротой зрения** и связана с раздельным и слитным восприятием светового изображения этих точек на сетчатой оболочке глаза. Если изображение точек попадает на два не рядом расположенных светочувствительных элемента: палочки и колбочки, - то они воспринимаются раздельно, т. е. разрешаются глазом, если изображения

попадают на два соседних элемента, то они воспринимаются слитно, т. е. глазом не разрешаются.

Острота зрения характеризуется углом Φ , под которым видны рассматриваемые точки **A** и **B** (рис. 2.2). Минимальный угол, необходимый для раздельного видения этих точек, Φ_{min} составляет для среднего нормального глаза **1'**. Этот соответствует расстоянию **A'B'** между изображениями точек на сетчатке, равному примерно **5 мкм**.

Действительно, в центральной ямке желтого пятна сетчатки, куда обычно фокусируется изображение хорошо освещенного предмета, на отрезке длиной **5 мкм** сосредоточено в среднем **3 колбочки**, т. е. выполняется условие разрешения, приведенное выше, т. к. между двумя засвеченными колбочками, на которых формируются изображения точек, остается одна не засвеченная.

При отклонениях острота зрения во столько раз меньше нормы, во сколько раз наименьший угол зрения больше единицы.

В медицине острота зрения γ количественно оценивается отношением значения $\Phi_{min}=1'$ (что соответствует нормальному глазу) к Φ_{min} , определяемому с помощью специальных таблиц для конкретного пациента:

$$\gamma = \frac{1'}{\Phi_{min}}$$

Например, если $\Phi_{min}=2'$, то острота зрения для такого пациента:

$$\gamma = \frac{1}{2} = 0.5$$

Наименьшее расстояние **AB** между двумя точками предмета, видимое невооруженным глазом на расстоянии наилучшего зрения **L**, называется **пределом разрешения глаза**. Для нормальной остроты зрения оно равно

AB= 70 мкм.

Острота зрения – величина безразмерная. Она зависит от многих условий, прежде всего, от яркости фона. На остроту зрения также влияют диаметр зрачка, возраст человека, уровень цветового и яркостного контраста между рассматриваемым объектом и фоном.

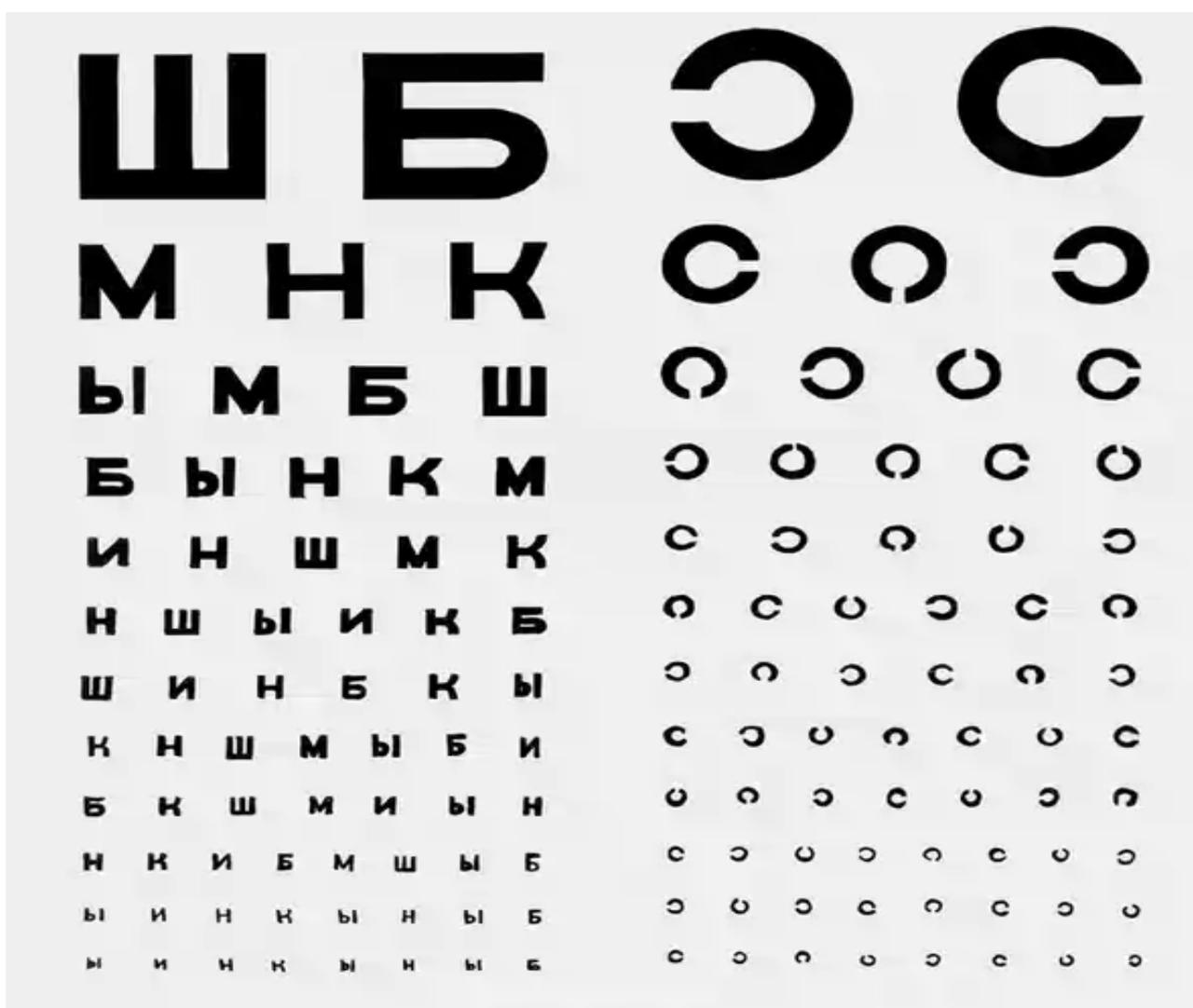
При нормальном освещении острота зрения максимальна, когда изображение предмета попадает на центральную ямку сетчатки, где плотность колбочек наибольшая. В сумерках острота зрения максимальна при попадании света на тот участок сетчатки, где наибольшая плотность палочек, т. е. под углом 20° от центральной ямки.

Таблицы Сивцева для определения остроты зрения

Таблицы помещены в осветительный аппарат с лампой накаливания или двумя люминесцентными лампами. Освещенность таблиц 700 лк. Осветитель укрепляют на стене так, чтобы нижний край его находился на расстоянии 120 см от пола. Во время исследования больной должен держать голову прямо, веки обоих глаз открыты. Неисследуемый глаз прикрывают непрозрачным щитком белого цвета. В течение 2 — 3 с. показывают знак на таблице и просят исследуемого назвать его. Определение лучше начинать с мелких знаков, а затем переходить к более крупным.

В таблицах для определения остроты зрения (таблицы Сивцова) буквы и кольца с разрывами (кольца Ландольта), составляющие третью строку снизу, имеют разрывы, края которых образуют с оптическим центром глаза угол в $1'$, если таблица расположена на расстоянии **5 м** от глаза. Следовательно, острота зрения человека, различающего буквы и кольца этой строки, равна **1**. Поделенный на десять номер строки, которую испытуемый распознает еще безошибочно, является остротой зрения. Например, $\gamma = 0,3$, если испытуемый без ошибок читает третью строку таблицы. Здесь определяется

способность распознавать *нечеткие* (несфокусированные) изображения. Норме соответствует чтение *десятой* строки. Естественно встречаются люди, способные различать более мелкие предметы, например, буквы и кольца второй и даже первой строки таблицы Сивцова. У столь зорких людей острота зрения выше среднестатистической нормы, но не потому что их глаз строит более крупное изображение на сетчатке. Просто в центральной ямке сетчатки такого человека колбочки расположены более плотно, чем у большинства людей, что и позволяет воспринимать изображение предметов, имеющих угловые размеры меньше 1'.



Знаки для определения остроты зрения у детей

Для определения остроты зрения у детей дошкольного возраста обычно пользуются таблицами (Алейниковой или Орловой) с картинками. Целесообразно до исследования подвести ребенка к таблице и попросить назвать изображенные на ней предметы, чтобы он мог понять, что от него потребуют. Следует учитывать, что во время исследования дети быстро устают. Поэтому лучше, начав с верхнего ряда таблицы, показывать ребенку в каждом ряду только по одной картинке. Если он не сможет назвать ее, то указывают все остальные картинки данного ряда, затем выше расположенного ряда и т. д., пока не будет правильно названо подавляющее число картинок в одном ряду. Этот ряд и определит остроту зрения у обследуемого ребенка.



Аккомодация

Аккомодация – способность глаза четко видеть предметы, находящиеся от него на различных расстояниях. К глазу (с некоторыми ограничениями) применима формула линзы:

Действительное изображение предмета, даваемое светопроводящим аппаратом глаза, проецируется на сетчатку, которая играет роль экрана.

Если рассматриваемый предмет находится на достаточно большом расстоянии ($d \rightarrow \infty$), то $\frac{1}{d} \rightarrow 0$ и, как следует из формулы, $F=f$, т.е. удаленные предметы проецируются непосредственно на сетчатку. При рассмотрении более близких предметов $\frac{1}{d} \neq 0$ плоскость их изображения перемещается за сетчатку, и изображение на сетчатке теряет резкость. Удержание четкого изображения на сетчатке возможно только путем увеличения оптической силы глаза **D**.

Процесс «наводки на резкость» называется *аккомодацией*.

Аккомодация осуществляется благодаря сокращению специальных цилиарных мышц – хрусталик увеличивает свою кривизну (в основном за счет передней поверхности), (радиус при этом уменьшается), увеличивая тем самым оптическую силу в соответствии с формулой:

и его оптическая сила может возрасти на 12-13 диоптрий. При расслаблении цилиарных мышц хрусталик наоборот принимает свою прежнюю более плоскую форму, и его оптическая сила уменьшается.

Так как изменение кривизны хрусталика может происходить только в определенных пределах, для всякого глаза существуют границы расположения предмета, в пределах которых глаз может его отчетливо видеть – *дальняя и ближняя точки аккомодации* (четкого видения).

В ненапряженном состоянии нормальный глаз аккомодирован на рассмотрение бесконечно удаленных предметов, т.е. дальняя точка ясного видения **R** для нормального глаза находится в бесконечности. При этом в глаз попадает параллельный пучок лучей, который после преломления фокусируется точно на его сетчатке. С приближением предмета к глазу увеличиваются размеры изображения предмета на сетчатке, что позволяет лучше видеть его мелкие детали. Однако при этом повышается напряжение мышцы, деформирующей хрусталик, и она быстрее утомляется. Расстояние, до которого приближение предмета к глазу совершается без значительного напряжения аккомодации, называется *расстоянием наилучшего зрения***L**.

У близорукого глаза расстояние наилучшего зрения меньше 25 см, а у дальнозоркого больше.

При наибольшем напряжении аккомодации глаз четко фокусирует на сетчатке некоторую точку **P**, которая лежит от него на расстоянии примерно 7 см и называется *ближней точкой аккомодации*.

У некоторых животных, например у рыб, шарообразный хрусталик не изменяет своей кривизны, а перемещается под действием мышц вперед или вглубь глазного яблока, подобно объективу фотоаппарата.

Бинокулярное зрение

Два глаза — это два одинаковых органа зрения, расположенные на некотором расстоянии друг от друга и формирующие единый зрительный образ предмета. Способность к формированию единого образа из двух изображений называется *бинокулярным зрением* (*bini*— по два, *oculus*— глаз).

Основное назначение бинокулярного зрения - формирование *трехмерного* образа предмета. Благодаря бинокулярному зрению мы ощущаем три измерения: ширину, высоту, глубину; отличаем предметы близкие от

далеких. Один глаз воспринимать глубину и разницу в расстояниях *неспособен*.

Механизм восприятия разницы в расстояниях заключается в следующем. Когда мы фокусируем взгляд на какой-либо точке, глазные яблоки поворачиваются так, чтобы на нее были направлены зрительные оси обоих глаз (рис. 3). Чем ближе находится точка, тем больше угол сведения осей и тем больше напряжение глазных мышц.

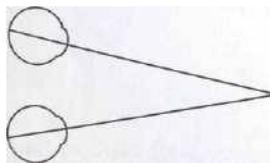


рис.3а

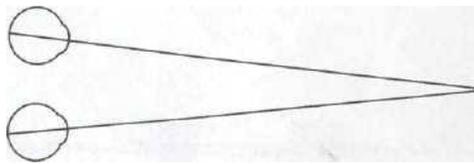


рис. 3б

рис. 3. Сведение зрительных осей на близкой (а) и далёкой (б) точках.

Величина этого напряжения и является тем признаком, по которому мозг оценивает удаленность предметов, особенно не знакомых нам.

Оба глаза человека работают как согласованная система, формируя единый зрительный образ видимого предмета. Способность создавать такой образ из изображений, формирующихся в двух глазах, называется *бинокулярным* зрением.

2.4 Недостатки оптической системы глаза и физические основы их исправления

К самым распространенным дефектам зрения относятся близорукость (миопия) и дальнозоркость (гиперметропия), связанные с излишней или недостаточной выпуклостью хрусталика.

Нормальный глаз (рис. 2.6) при покое аккомодации фокусирует

изображение удаленных предметов на сетчатке —такой глаз называется *эмметропическим*, а если это условие не выполняется —*амметропическим*.

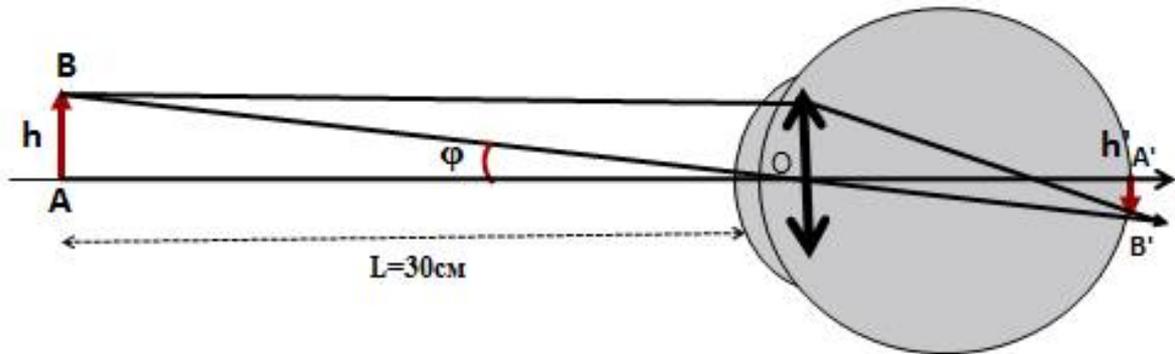


Рис.2.6. Глаз эмметропический;

Термин «амметропия» означает несовершенное зрение. Помимо отклонения от нормы оптической силы глаза, амметропия обусловлена длиной глазного яблока. Наиболее распространенными видами амметропии являются близорукость (миопия) и дальнозоркость (гиперметропия).

1. Близорукость

При близорукости преломляющая сила глаза избыточна, поэтому лучи от далекого предмета фокусируются не на сетчатке, а перед ней и дальше расходятся, образуя размытое пятно (рис.2.7). Близорукость может являться следствием удлиненной формы глазного яблока или избыточной преломляющей способностью основных сред глаза. Такой глаз не может четко видеть удаленные предметы. Даже при небольшой степени миопии **дальний предел аккомодации** уменьшается до нескольких десятков сантиметров (у нормального глаза он равен бесконечности). Ближний предел аккомодации при этом также уменьшается. Близорукий человек выполняет тонкую работу лучше, чем человек с нормальным зрением.

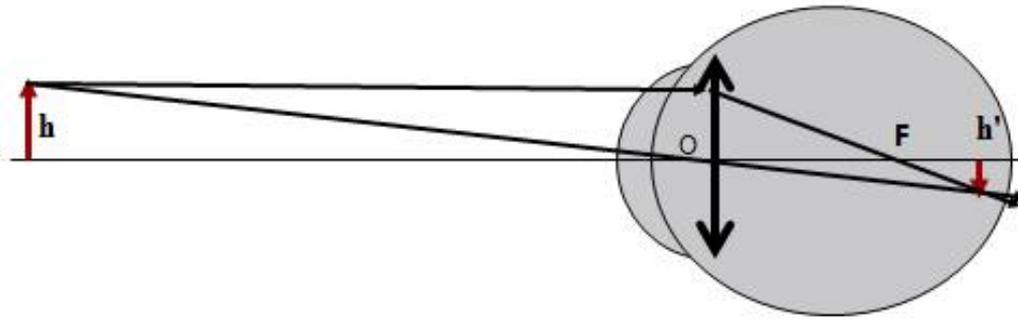


Рис.2.7. Глаз близорукий

Коррекция близорукости

Для коррекции близорукости применяют очки с рассеивающими линзами. (рис.2.7, а).

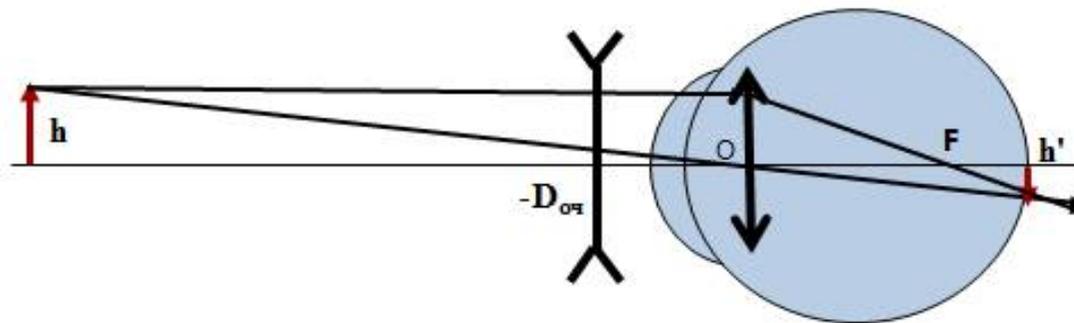


рис.2.7, а Коррекция близорукости

При этом результирующая оптическая сила уменьшается: $D_p = D_{\text{гл}} - D_{\text{оч}}$, фокусное расстояние F при этом увеличивается, изображение сдвигается на сетчатку и изображение предметов становится чётким.

2. Дальнозоркость

Дальнозоркость связана с недостаточной преломляющей способностью глаза или с укороченной формой глазного яблока (рис.2.8).

Вследствие этого лучи от далекого предмета фокусируются за сетчаткой.

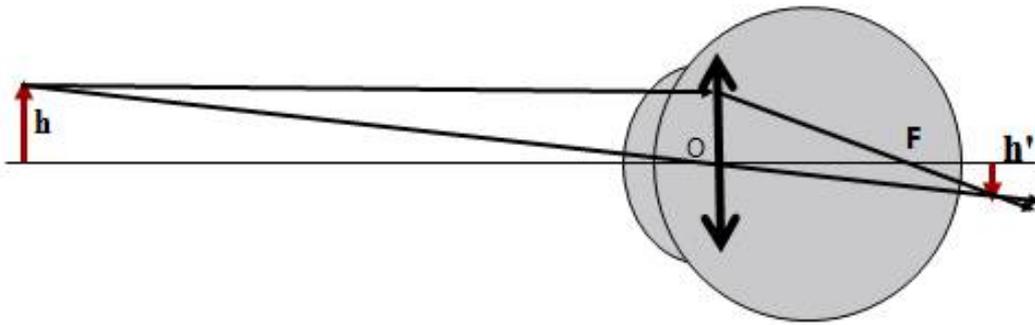


Рис.2.8 Глаз дальнозоркий

Человек, глаза которого дальнозорки, в покое аккомодации не видит ясно ни близких, ни далеких предметов. Ему приходится постоянно напрягать аккомодационный аппарат. Недостаток преломляющей силы может компенсироваться изменением формы и усилением преломления в хрусталике при помощи особой внутриглазной мышцы, напряжение которой должно быть тем сильнее, чем ближе находится рассматриваемый объект. При достаточной силе мышцы глаз справляется с усилением преломления и вдаль, и вблизи, однако при ослаблении мышцы, а также с возрастом (уплотнение и повышение ригидности хрусталика) напряжение мышцы становится недостаточным, и происходит ухудшение зрения (сначала вблизи, а затем и вдаль).

Коррекция дальнозоркости

Для коррекции дальнозоркости в очках применяют собирающие линзы (рис.2.8, а), при этом результирующая оптическая сила увеличивается:

$D_p = D_{\text{гл}} + D_{\text{оч}}$, фокусное расстояние F при этом уменьшается, изображение сдвигается на сетчатку.

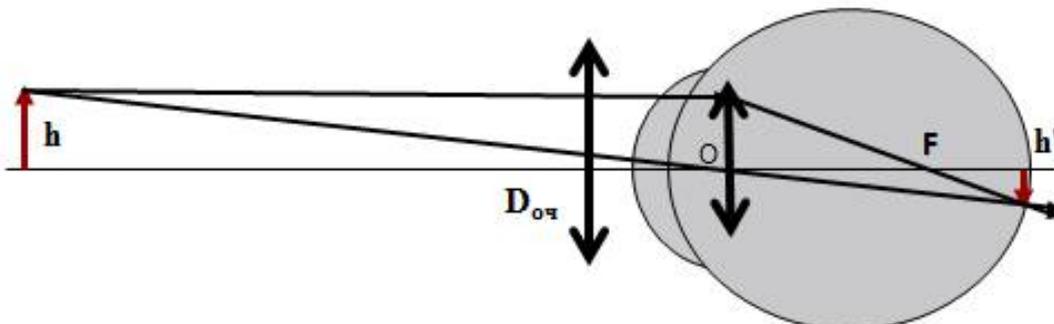


рис.2.8, а Коррекция дальнозоркости

Линзы уменьшают фокус глаза и делают изображение предметов на сетчатке резким.

Дефекты зрения различаются не только по виду, но и по степени. Чем дальше находится фокус от сетчатки, тем выше степень амметропии.

Очки или контактные линзы лишь **компенсируют** близорукость и дальнозоркость. **Лечение** этих недостатков зрения возможно только хирургическим путем. В настоящее время достаточно хорошо отработана методика лечения путем коррекции формы роговицы с помощью лазерного луча. При этом, например, избыточность оптической силы хрусталика (миопия) компенсируют путем уменьшений кривизны роговицы.

3. Биофизические основы зрительной рецепции

3.1 Морфо-функциональные слои сетчатки глаза

Сетчатка(retina) - это истинная ткань мозга, выдвинутая на периферию.

В функциональном отношении в оптической части сетчатки различают два слоя:

1. Наружный световоспринимающий, представленный палочками и колбочками.

2. Внутренний светопроводящий или мозговой слой (биполярные, ганглиозные и другие клетки).

Световоспринимающим (рецепторным) аппаратом глаза является сетчатка, в которой находятся светочувствительные зрительные клетки. Сетчатка — это часть мозга, отделившаяся от него на ранних стадиях развития, но все еще связанная с ним посредством пучка волокон - зрительного нерва. Она имеет форму пластинки толщиной приблизительно в четверть миллиметра.

Светочувствительными элементами в сетчатке являются палочки и колбочки. В центральной части желтого пятна имеется углубление, называемое *центральной ямкой*. Желтое пятно и в особенности центральная ямка являются наиболее чувствительными местами сетчатки (при дневном зрении), в них достигается наибольшая острота зрения, и лучше всего различаются цвета. Поэтому при рассмотрении предмета человек произвольно старается расположить глаз таким образом, чтобы изображение рассматриваемого объекта попадало в область желтого пятна. При этом детали предмета различаются наиболее отчетливо.

Направление наибольшей чувствительности глаза определяет его *зрительная ось* ($O'O'$), которая проходит через центры роговицы и желтого пятна. В направлении этой оси глаз имеет наилучшую разрешающую способность. Различают также *главную оптическую ось*, проходящую через геометрические центры роговицы, зрачка и хрусталика. Угол между оптической и зрительной осью составляет 5° (рис. 3.1).

Глазодвигательный аппарат включает наружные мышцы глаза – по 6 мышц на каждый глаз, благодаря согласованной работе которых глаз постоянно совершает поисковые движения и при появлении в поле зрения объекта совершает поворот таким образом, чтобы изображение этого объекта попадало на центральную ямку.

Место вхождения зрительного нерва в глазное яблоко называется *слепым пятном*, т.к. здесь нет ни палочек, ни колбочек.

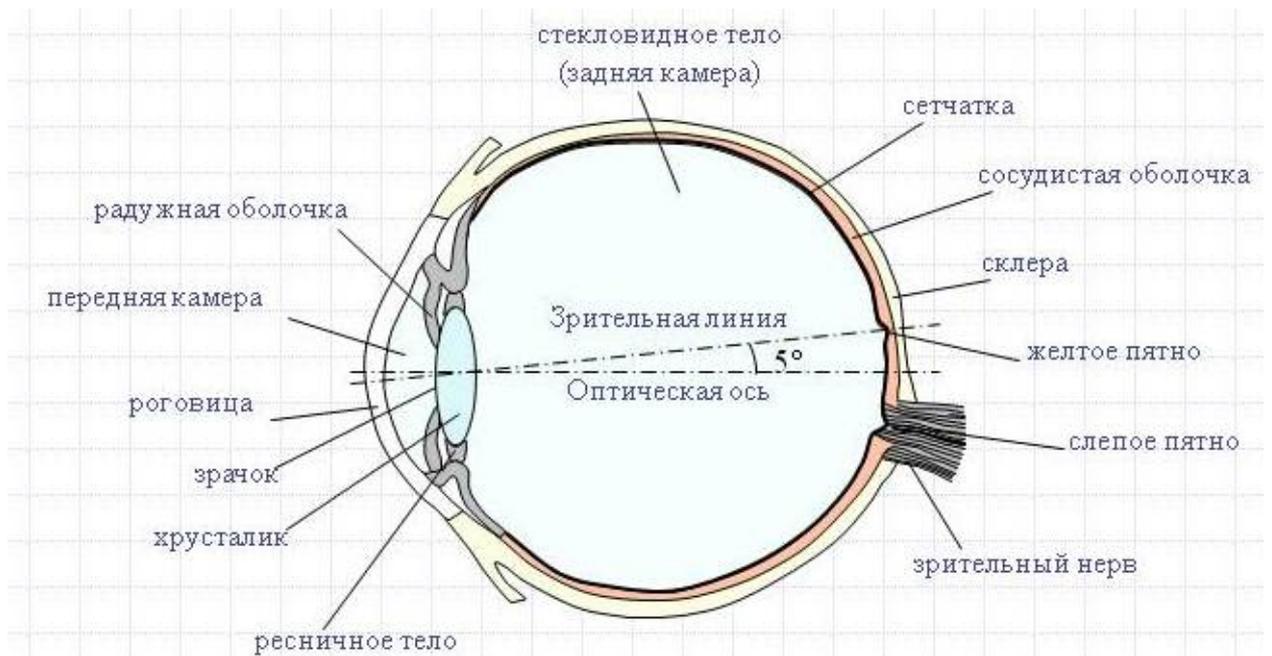


Рис.3.1

Строение сетчатки

Строение сетчатки человека достаточно сложно (рис. 3.2.). Обычно в ней различают десять слоев, причем светочувствительные клетки находятся в самом внутреннем ее слое.

Палочки и колбочки ориентированы к свету своими внутренними сегментами, не содержащими зрительного пигмента, а поглощение света, приводящее к возникновению нервных импульсов, начинается в наружных сегментах рецепторов. Однако это не снижает чувствительности глаза к свету, т. к. внутренние структуры сетчатки прозрачны для видимого света.

Рассмотрим основные слои сетчатки.

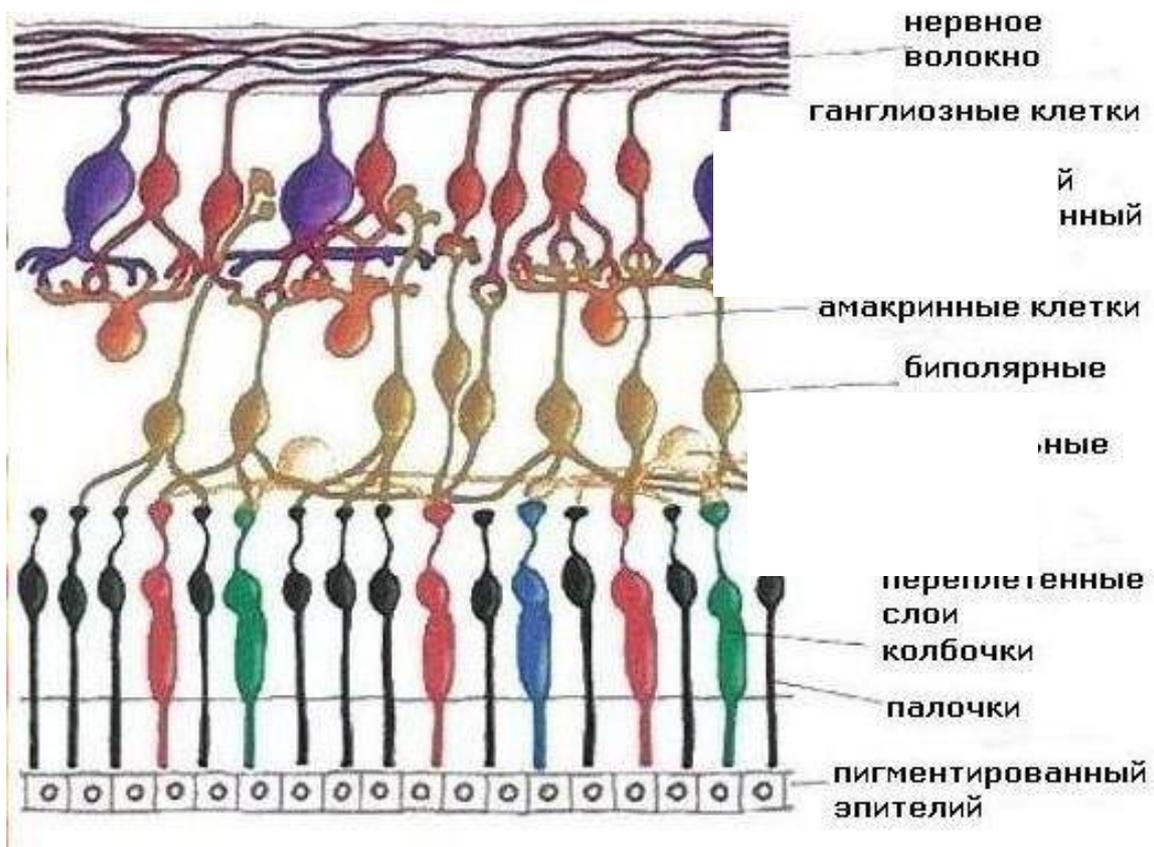


Рис.3.2 Строение сетчатки

1. Слой светочувствительных клеток граничит с **пигментным эпителием**, который поглощает остатки света, избавляя сетчатку от засветки лишним рассеянным светом.

- Клетки пигментного эпителия имеют форму шестигранной призмы и расположены в один ряд.
- В них содержится пигмент фусцин.
- Пигментный эпителий поглощает и трансформирует лучи света, устраняя его диффузное рассеивание внутри глаза.

2. Слой палочек и колбочек

- Палочки (125 млн.) расположены по всей поверхности сетчатки, причем на периферии их концентрация выше, чем в центральной части. Палочки не различают цветов, но обладают очень высокой

чувствительностью в условиях слабой освещенности (сумеречное зрение).

- Колбочки (около 6,5 млн.) отвечают за цветное (дневное) зрение, они концентрируются в центральной части сетчатки, особенно много их в желтом пятне и вокруг него.
 - Внутренние членики палочек и колбочек переходят непосредственно в нервное волокно, по ходу которого располагаются ядра зрительных клеток, составляющие наружный ядерный слой. Нервное волокно заканчивается синапсом, обеспечивающим функциональную связь с биполярными клетками.
3. Внутренний ядерный слой -это **биполярные клетки**, которые содержат ядро и два отростка.
- Здесь находятся амакриновые клетки, горизонтальные ядра мюллеровых волокон.
 - Биполяры объединяют от 1 до 30 колбочек или до 500 палочек.
4. Слой **ганглиозных клеток** образован крупными клетками с двухконтурным ядром и большим ядрышком.
- Ганглиозная клетка вступает в контакт с группой биполяров, а один биполяр - с гроздьями палочек и колбочек.
 - Свет, прежде чем попасть на светочувствительные элементы палочки и колбочки, должен пройти через слой ганглиозных нейронов, которые одновременно являются дополнительным светофильтром, отсекающим губительную для тканей и рецепторов УФ область спектра.

5. **Зрительный нерв**(п. opticus) обеспечивает передачу нервных импульсов, вызванных световым раздражением, от сетчатки к зрительному центру в коре затылочной доли мозга.

- Зрительный нерв имеет форму округлого тяжа и состоит приблизительно из 1 млн. волокон.
- Слой нервных волокон состоит из осевых цилиндров ганглиозных клеток, которые образуют зрительный нерв.

Строение палочки

Палочка представляет собой правильное цилиндрическое образование длиной от 40-60 микрон, делится на два сегмента: наружный, имеющий цилиндрическую форму и внутренний, имеющий слегка вздутую форму (рис. 3.3). Палочки и колбочки ориентированы к свету своими внутренними сегментами, не содержащими зрительного пигмента, а поглощение света, приводящее к возникновению нервных импульсов, начинается в наружных сегментах рецепторов. Однако это не снижает чувствительности глаза к свету, т. к. внутренние структуры сетчатки прозрачны для видимого света.

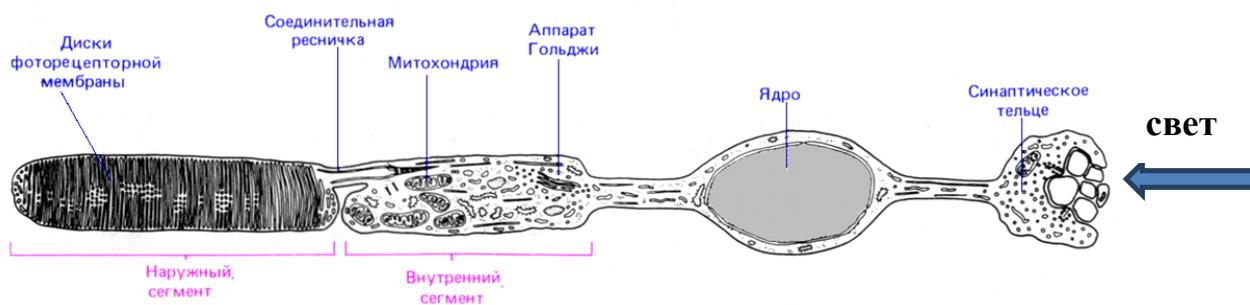


Рис.3.3 Строение палочки

- За поглощение квантов света отвечает зрительный пигмент палочек — родопсин.
- Родопсин состоит из ретиналя (альдегида витамина А1) и гликопротеида (опсина).

- Родопсин сосредоточен в наружных сегментах палочек и встроен в зрительные диски фоторецепторной мембраны (рис3.4).
- Диски представляют собой «сплюснутые» шарики, образованные бислоем липидов.
- Число дисков в наружном сегменте палочек достигает 1000, а диаметр наружного сегмента примерно равен 2 мкм.
- Диаметр рецепторов определяет остроту зрения.
- Наружный сегмент палочки соединен с остальной клеткой тонкой соединительной ножкой.

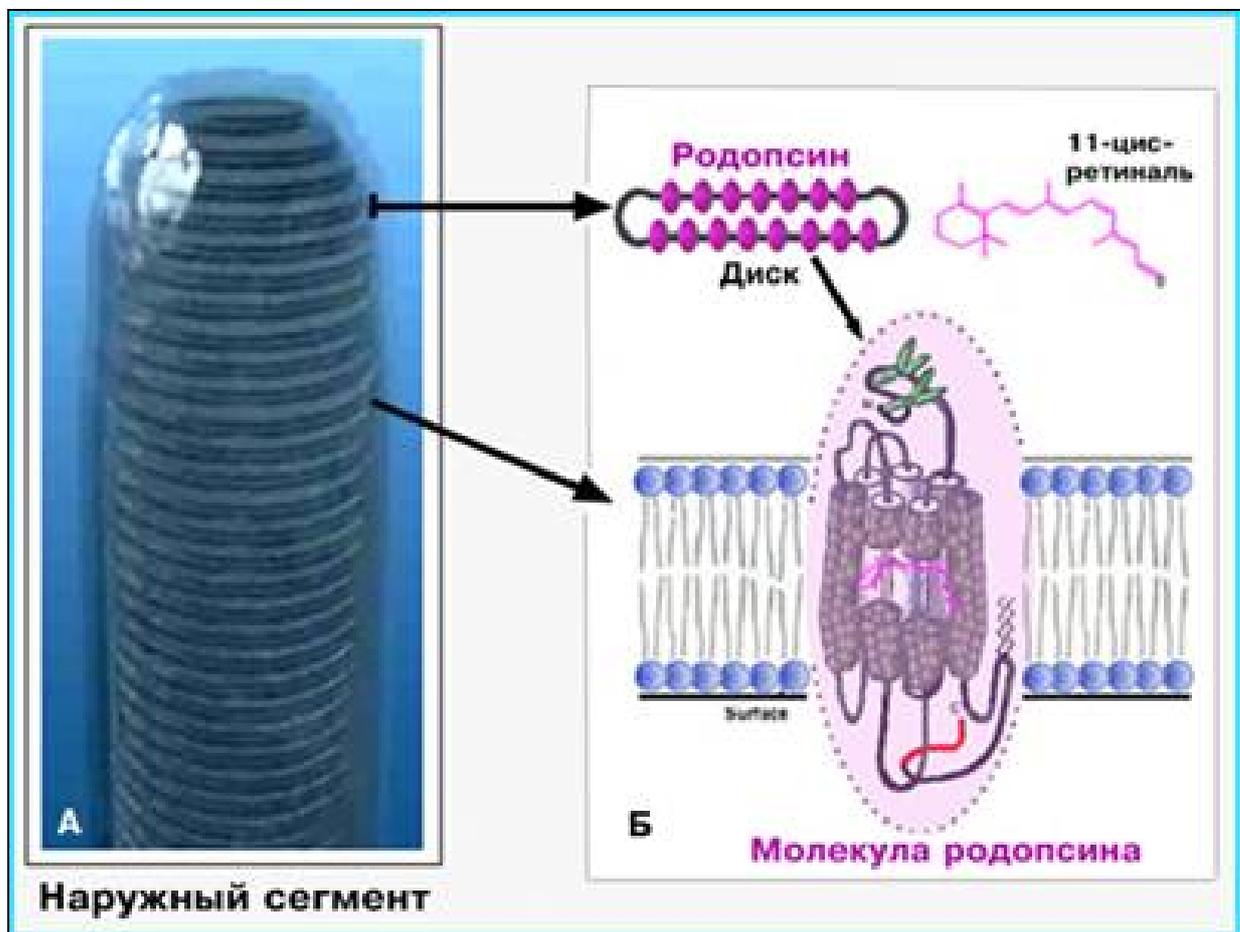


рис3.4

Колбочки сетчатки глаза

Колбочки получили такое название благодаря своей форме, похожей на лабораторные колбы. Длина колбочки равна 0,00005 метра, или 0,05 мм. Ее

диаметр в самом узком месте составляет около 0,000001 метра, или 0,001 мм, и 0,004 мм в самом широком. На сетчатке здорового взрослого человека около 7 миллионов колбочек.

Колбочки менее чувствительны к свету, другими словами, для их возбуждения потребуется световой поток в десятки раз интенсивнее, чем для возбуждения палочек. Однако колбочки способны обрабатывать свет интенсивнее палочек, из-за чего они лучше воспринимают изменение светового потока (например, лучше палочек различают свет в динамике при движении объектов относительно глаза), а также определяют более четкое изображение.

Колбочка человеческого глаза состоит из 4 сегментов:

- 1 — Наружный сегмент (содержит мембранные диски с йодопсином),
- 2 — Связующий сегмент (перетяжка),
- 3 — Внутренний сегмент (содержит митохондрии),
- 4 — Область синаптического соединения (базальный сегмент).

Причиной вышеописанных свойств колбочек является содержание в них биологического пигмента йодопсина. Существуют три вида йодопсина: эритролаб (пигмент, чувствительный к красной части спектра), хлоролаб (пигмент, чувствительный к зеленой части спектра), цианолаб. (пигмент, чувствительный к синей части спектра).

Разделение колбочек на 3 вида (по доминированию в них цветовых пигментов: эритролаба, хлоролаба, цианолаба) носит название трехкомпонентной гипотезы зрения. Однако существует и нелинейная двухкомпонентная теория зрения, приверженцы которой считают, что каждая колбочка одновременно содержит в себе и эритролаб, и хлоролаб, а значит,

способна воспринимать цвета красного и зеленого спектра. При этом роль цианолаба принимает на себя выцветший родопсин из палочек. В поддержку этой теории говорит и то, что люди, страдающие дальтонизмом, а именно слепотой в синей части спектра (тританоопией), так же испытывают трудности с сумеречным зрением (куриная слепота), что является признаком ненормальной работы палочек сетчатки глаза.

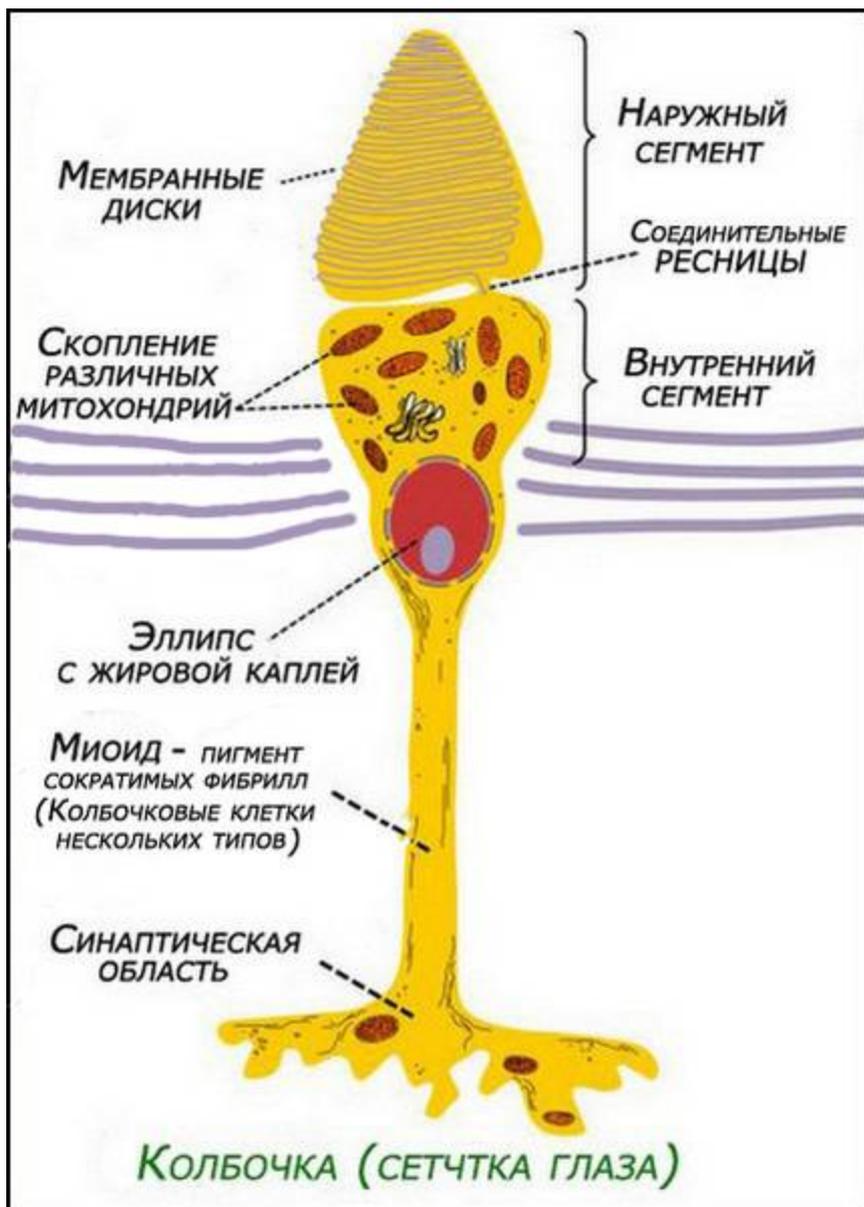


рис3.5

3.3 Первичные механизмы свето- и цветовосприятия

Каким же образом энергия поглощенного родопсином света превращается в нервный импульс?

Единственной фотохимической реакцией, которая приводит к появлению ощущения света в зрительном рецепторе, является фотоизомеризация ретиналя. При поглощении светового кванта, происходит разрыв родопсина на опсин и трансретиналь, протекающий через ряд промежуточных стадий.

Развивается рецепторный потенциал. В темноте он составляет от -25 до -40 мВ. Поглощение света родопсином дает начало процессу, в результате которого получается нервный импульс. После того как этот этап преобразования завершен, электрическим импульсам предстоит проделать путь к мозгу через цепочку промежуточных нейронов. Сначала реакции палочек и колбочек передаются биполярным клеткам, а от них — к другим нейронам, которые называются ганглиозными клетками. Длинные аксоны ганглиозных клеток тянутся от глаза к мозгу, образуя зрительный нерв.

Таким образом сетчатка выполняет важную функцию глаза, т.е. преобразовывает световой импульс в нервное возбуждение, производит первичную обработку сигнала и направляет его в мозг.

Зрительный пигмент родопсин, распадающийся под действием света на опсин и ретиналь, может затем опять восстанавливаться

Этот процесс может осуществляться и на свету, и в темноте.

Абсолютный порог чувствительности глаза человека соответствует примерно 60–150 квантам сине-зеленого света. При этом из них только 5–15 квантов поглощаются непосредственно молекулами зрительного пигмента, остальные рассеиваются или поглощаются другими структурами сетчатки. Все кванты света, достигающие сетчатки при пороговой интенсивности, поглощаются отдельными палочками, которые обладают гораздо большей чувствительностью к свету, чем колбочки.

Поскольку чувствительность палочек к свету значительно выше, чем колбочек, то в темноте слабые световые стимулы лучше различаются не центральной ямкой, а окружающей ее частью сетчатки.

При повышении же освещенности скорость распада родопсина быстро растет, а его концентрация и чувствительность глаза к свету быстро уменьшаются (*световая адаптация*). Световая адаптация протекает намного быстрее темновой, т. к. при большой интенсивности освещения распад родопсина в палочках идет очень интенсивно и его концентрация резко снижается. В этих условиях палочки «слепнут», и в процессе зрения участвуют почти исключительно колбочки. Таким образом, в зависимости от освещенности зрение «переключается» с колбочковой системы на палочковую. Дневное зрение характеризуется высокой остротой зрения и хорошим восприятием цвета, т. к. колбочки способны различать цвета, а палочки этой способностью практически не обладают.

Кроме перехода от колбочкового зрения к палочковому и наоборот и изменения концентрации родопсина следует отметить еще один механизм адаптации — изменение диаметра зрачка (от 2 до 8 мм, т. е. в 4 раза), из-за чего освещенность сетчатки может измениться быстро ($<0,3$ с), но не более, чем в 16 раз. Также следует отметить увеличение чувствительности мозговых центров зрения.

Таким образом, *адаптация* — это перестройка зрительной системы для наилучшего приспособления к данному уровню яркости.

3.4 Цветовое зрение

Цветовое зрение - способность зрительного анализатора реагировать на изменения длины световой волны с формированием ощущения цвета. Определенной длине волны электромагнитного излучения соответствует ощущение определенного цвета.

Чувствительность глаза к излучениям разных длин волн видимого диапазона характеризуется *кривой видности* (рис. 3.5). Здесь μ — *относительная видность* — безразмерная величина, характеризующая чувствительность глаза к свету разных длин волн.

Суммарная кривая спектральной чувствительности для случая яркого освещения, т.е. цветного зрения имеет максимум в желто-зеленой части спектра при $\lambda = 555$ нм, условно принимаемый за единицу.

При сумеречном зрении, когда работает только палочковый аппарат, максимум кривой видности смещается в сторону коротких волн с максимумом около 500 нм. Поскольку колбочки уже «не работают», то в сумерках изменяется и цветовосприятие, поэтому «ночью все кошки серы».

Так как палочки чувствительны в основном к сине-голубой области спектра, красный цвет ($\lambda = 630\text{--}760$ нм) при низких уровнях освещенности будет выглядеть практически черным или темно-серым.

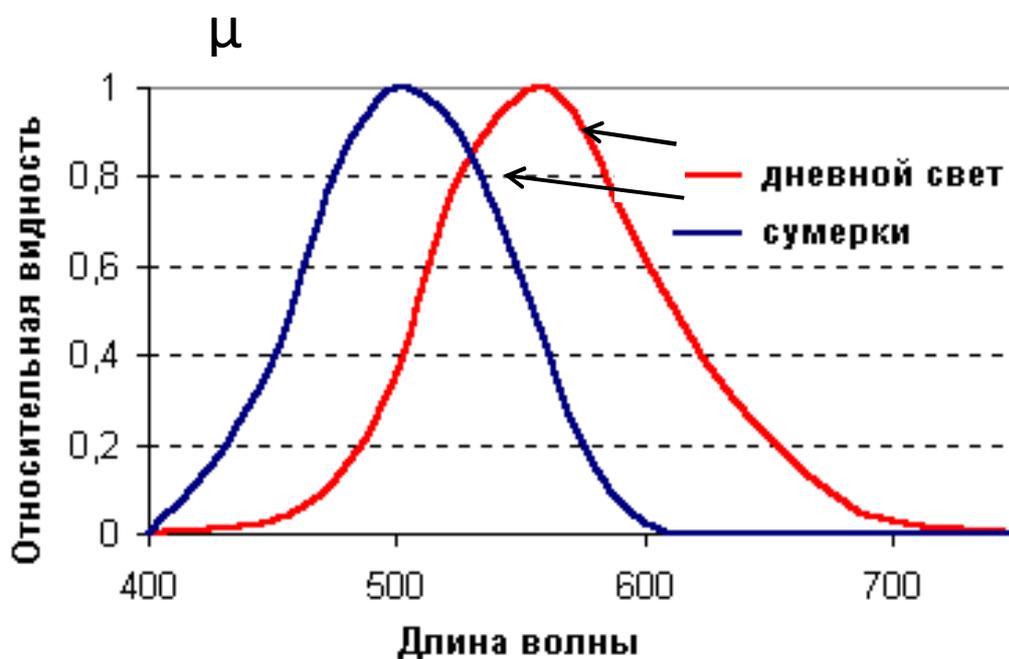


Рис. 3.5 Кривая видности

Пигмент колбочек содержит тот же самый 11-цис-ретинол, как и родопсин, но белковая часть пигментов отличается, поэтому пигмент колбочек называется **йодопсин**. Причем в сетчатке имеется 3 типа колбочек, которым отвечают три вида йодопсина в них. Они отличаются друг от друга строением белка-матрицы, в который встроена хромофорная группа

11-цис-ретиналь. Имеется три типа колбочек с максимумами поглощения на **440, 540 и 590 нм** (рис. 3.6), условно их называют красными, синими и зелеными. Монохроматический свет возбуждает один (иногда два) вида колбочек, а свет сложного спектрального состава — все три типа колбочек, но в различной степени, в зависимости от формы этого спектра, что и приводит в конечном итоге к возникновению цветового ощущения.

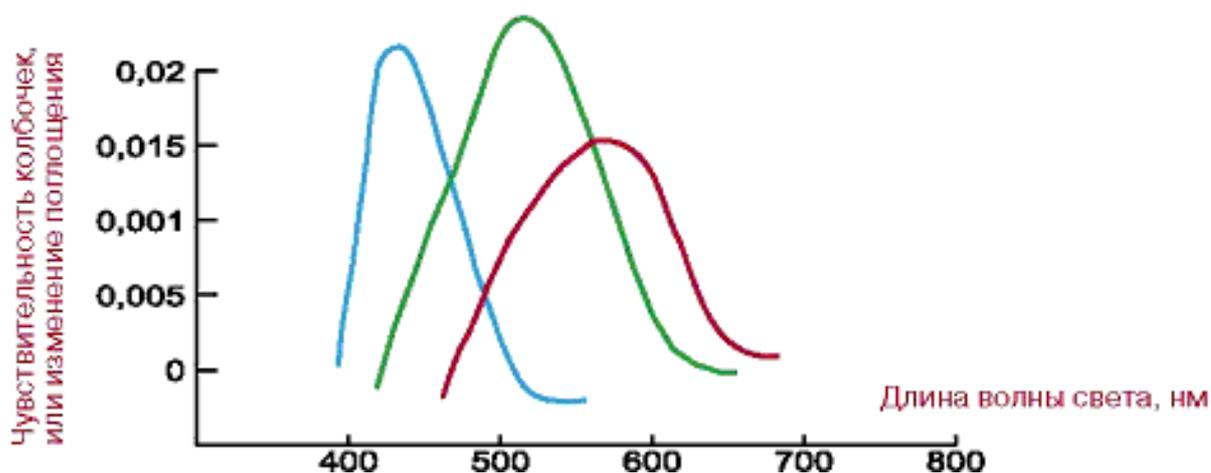


Рис. 3.6 Максимумы поглощения для трех типов колбочек.

Отсутствие в сетчатке одного или двух видов колбочек ведет к потере глазом способности правильно различать цвета (дальтонизм).

Область, доступная зрительному восприятию глаза, не обрывается резко на волнах, длиной 400 и 760 нм. В условиях темновой адаптации глаз может видеть в очень слабой степени интенсивные инфракрасные лучи с длинами волн до 950, а ультрафиолетовые — до 300 нм.

Границы видимой области, а так же сама форма кривой видности человеческого глаза не случайны. Глаз сформировался в процессе длительной эволюции, приспособившись к условиям освещения земных предметов солнечным светом, а также к условиям сумеречного и ночного освещения.

В природе постоянно встречаются объекты одинаковой яркости, которые глаз, тем не менее, хорошо отличает друг от друга. Они отличаются длиной волны отраженного от них света, и мы воспринимаем их

поверхность как разноцветную (например, зеленый лист и красная роза).

Зрение базируется на восприятии как контрастов светлого и темного, так и цветовых контрастов. Именно за счет последнего мы различаем объекты, между которыми нет яркостного контраста.

Цвет – одно из свойств объектов материального мира, воспринимаемое как зрительное ощущение. Под восприятием света понимают способность дифференцировать различные длины волн и их композиции. Если свет, попадающий на сетчатку глаза, имеет примерно одинаковое распределение интенсивностей по длинам волн, то он воспринимается как белый или серый (в зависимости от яркости). Если же распределение интенсивности света по спектру неоднородно, то мы воспринимаем его как определенный цвет.

Цвет характеризуется такими свойствами, как цветовой тон (длина волны), яркость и насыщенность, которые могут быть измерены соответствующими инструментами.

Любые три по-разному окрашенных пучка света могут образовать любой цвет, если их смешать в разной пропорции (рис. 3.7):

$$C = rR + gG + bB,$$

где r – количество цвета R ; g – количество цвета G ; b – количество цвета B (в некоторых случаях необходимо брать отрицательные коэффициенты).

При этом если при смешении трех цветов один непрерывно изменяется, а другие остаются постоянными, то и результирующий цвет будет меняться непрерывно.

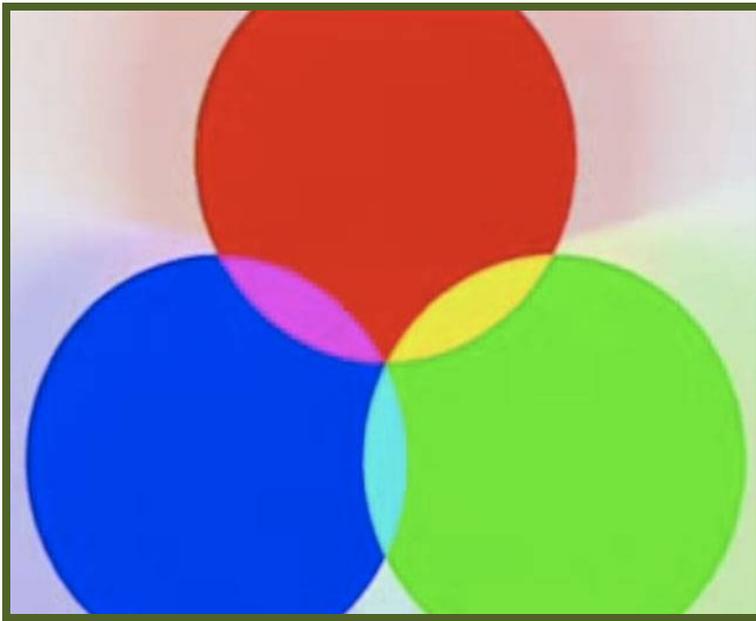


рис. 3.7

Таким образом, любой цвет может быть получен смешением трех разных цветов. Цвета считаются основными, если ни один из них нельзя получить смешением двух других. Вообще говоря, можно создать много вариантов трех основных цветов. Но чаще всего в качестве основных цветов берут *зеленый, синий и красный*.

В общем случае восприятие цвета предмета обусловлено следующими факторами: его окраской и свойствами его поверхности; оптическими свойствами источников света (их яркостью и спектром) и среды, через которую свет распространяется; свойствами зрительного анализатора человека.

Контрольные вопросы

1. Что изучает оптика?
2. Дать определение света.
3. Дать определение геометрической оптики.
4. Дать определение светового луча.
5. Дать определение линзы. Виды линз.
6. Дать определение главной оптической оси и фокуса линзы.
7. Объяснить построение изображения в собирающей линзе.

8. Формула линзы, её смысл.
9. Дать определение оптической силы линзы. Единица измерения, её определение.
10. Написать формулу, отражающую связь оптической силы линзы с радиусами кривизны поверхностей линзы.
11. Строение глаза.
12. Оптические среды глаза, их характеристика.
13. Оптическая система глаза. Виды и характеристики биолинз.
14. Угол зрения, определение, его схематическое изображение.
15. Определение остроты зрения.
16. Определение предела разрешения глаза.
17. Определение разрешающей способности глаза.
18. Дать определение аккомодации. Как она осуществляется?
19. Недостатки оптической системы глаза и физические основы их исправления.
20. Объяснить смысл бинокулярного зрения.
21. Редуцированный глаз. Модель Вербицкого.
22. Перечислить морфо-функциональные слои сетчатки глаза и дать им характеристику.
23. Объяснить строение палочки.
24. Первичные механизмы свето- и цветовосприятия.
25. Как осуществляется цветное зрение?

Литература:

1. Ремизов А.Н. Медицинская и биологическая физика, М., «Высшая школа», 1999, гл. 26. стр. 457-469.
2. Ливенцев Н.М. «Курс физики» (1-часть), Москва, «Высшая школа», 1978г, гл. 16. стр. 249-266.
3. Владимиров Ю.А., Рощупкин Д.И., Потапенко А.Я., Деев А.М. «Биофизика», «Медицина», 1983г, гл. 13, стр. 244-252.
4. Рощупкин.Д.И., Фесенко.Е.Е. Новоселов.В.И. «Биофизика органов», Москва, «Наука», 2000, гл. 9, стр.222-231.
5. Н.И. Губанов «Медицинская биофизика», Москва, «Медицина», 1978г., гл.13, стр. 304-310.
6. Оптика глаза. Основы биофизики зрения : учеб.-метод. пособие / О. В. Недзведь, В. Г. Лещенко. – Минск : БГМУ, 2008. – 35 с.

Тестовые задания по теме: «Биофизика глаза»

1. Глаз представляет собой:

1. простую оптическую систему
2. оптическую систему, состоящую из трёх одинаковых тонких линз
3. **центрированную оптическую систему**
4. оптическую систему, состоящую из двух одинаковых тонких линз

2. Наибольшей преломляющей способностью в глазу обладает:

1. хрусталик
2. роговица
3. жидкость передней камеры
4. стекловидное тело

3. Скорость распространения света в вакууме..... скорости света в любой среде:

1. меньше
2. больше
3. **равна**

4. Укажите единицу оптической силы линзы:

1. люмен
2. **диоптрия**
3. метр
4. кандела

5. Оптическая сила рассеивающей линзы:

1. **отрицательна**
2. равна нулю
3. положительна

6. Луч света, падающий на собирающую линзу параллельно её

главной оптической оси, после преломления идёт:

1. параллельно главной оптической оси
2. через фокус линзы
3. через оптический центр линзы
4. перпендикулярно главной оптической оси

7. Для коррекции дальновзоркости применяют:

1. рассеивающие линзы
2. сложную систему линз
3. собирающие линзы
4. цилиндрические линзы

8. Аккомодацией называют:

1. приспособление глаза к видению в темноте
2. приспособление глаза к четкому видению различно удаленных предметов
3. приспособление глаза к восприятию различных оттенков одного цвета
4. величину, обратной пороговой яркости

9. Для характеристики разрешающей способности глаза

используют:

1. угол зрения
2. расстояние наилучшего зрения
3. оптическую силу глаза
4. расстояние между двумя соседними колбочками сетчатки глаза
5. наименьшее расстояние между двумя точками предмета, которые воспринимаются глазом отдельно

10. Близорукость - недостаток глаза, состоящий в том, что:

1. преломляющая сила глаза избыточна
2. преломляющая сила глаза недостаточна
3. фокус лежит впереди сетчатки
4. переднее и заднее фокусное расстояние глаза равны

11. Остроте зрения 0,5 соответствует наименьший угол зрения:

1. 2'
2. 5'
3. 1'
4. 0,5'

12. Световоспринимают структуры глаза:

1. хрусталик
2. роговица, хрусталик и сетчатка
3. сетчатка

15. Палочки расположены:

1. в центральной части сетчатки (желтом пятне)
2. равномерно по всей поверхности
3. по всей поверхности сетчатки, причем на периферии их концентрация выше, чем в центральной части
4. по всей поверхности сетчатки, причем на периферии их концентрация меньше, чем в центральной части

16. Приспособление глаза к четкому видению различно удаленных предметов называют:

1. аккомодацией
2. остротой зрения
3. адаптацией
4. миопией

18. У взрослого здорового человека расстояние наилучшего зрения равно:

1. 70 мкм
2. 25 см
3. 12,5 см

19. Наиболее близкое расстояние предмета от глаза, при котором еще возможно четкое изображение на сетчатке, называют:

1. расстоянием наилучшего зрения
2. ближней точкой глаза
3. пределом разрешения
4. разрешающей способностью

20. Определите фокусное расстояние хрусталика, если его оптическая сила равна 20 дптр.

1. 0,05 м
2. 0,017 м
3. 0,0224 м

21. Оптическая сила глаза пациента 65 дптр, оптическая сила нормального глаза 60 дптр. Определите оптическую силу очков.

1. 5 дптр
2. 0,5 дптр
3. 20 дптр
4. 5 дптр
5. -0,5 дптр

22. Основные элементы светопроводящей части оптической системы глаза:

1. склера, зрачок, хрусталик
2. зрачок, сетчатка, глазные мышцы, размеры хрусталика

3. роговица, передняя камера, хрусталик, стекловидное тело
4. зрительный нерв, палочки, колбочки, желтое пятно

23. Острота глаза:

1. величина, обратная наименьшему углу зрения
2. величина, определяемая как наименьший угол зрения
3. отношение геометрических размеров изображения на сетчатке к истинному размеру тела
4. отношение размеров изображения тела на сетчатке к расстоянию наилучшего зрения

22. Размеры изображения на сетчатке предмета, находящегося на расстоянии наилучшего зрения, при условии, что угол, под которым предмет виден равен 1° :

1. 1000 мкм
2. 1 см
3. 5 мкм
4. **73 мкм**

27. Палочка состоит из:

1. фосфолипидных молекул
2. светочувствительного наружного сегмента, внутреннего сегмента, содержащего ядро и митохондрии, которые обеспечивают функционирование клетки
3. светочувствительного наружного сегмента, большого числа миофибрилл

28. Цветное зрение является результатом существования трех типов колбочек, которые имеют спектры поглощения видимого света с максимумами:

1. 400, 500 и 700 нм
2. 220, 350 и 555 нм
3. 445, 535 и 570 нм

4. 425, 555 и 760 нм

29. Причина близорукости (миопия)?

1. укороченная форма глазного яблока
2. удлинённая форма глазного яблока
3. способность хрусталика к аккомодации
4. изменение размеров зрачка

30. Сетчатка выполняет важную функцию глаза:

1. преобразовывает световой импульс в нервное возбуждение, производит первичную обработку сигнала и направляет его в мозг
2. преобразование светового воздействия в тепловое
3. отражение световой энергии
4. поглощение световой энергии

31. Зрительная ось—это линия, определяющая направление наибольшей светочувствительности и проходящая через:

1. зрачка и хрусталика
2. роговицы, зрачка и хрусталика
3. центры роговицы и желтого пятна
4. роговицы и слепого пятна

32. Слепое пятно—это место где:

1. много палочек
2. нет ни палочек, ни колбочек
3. много колбочек
4. мало палочек

34. Величина наименьшего угла зрения для нормального глаза:

1. 10°
2. 5°
3. 3°
4. 1°

35. Спектральный диапазон чувствительности глаза:

1. 400-800 нм
2. 200-400 нм
3. 800-1000 нм
4. 40-200 нм

Глоссарий по биофизике зрения

1. **Глаз** — центрированная оптическая система, *главная оптическая ось* (00) которой проходит через центры роговицы, зрачка, хрусталика.
2. **Склера**— достаточно прочная внешняя белковая оболочка, защищающая глаз от повреждений и придающая ему постоянную форму.
3. **Роговица**- передняя часть склеры, более выпуклая и прозрачная; действующая как собирающая линза с оптической с оптической силой 40 дптр.
4. **Сосудистая оболочка**— с внутренней стороны склера выстлана сосудистой оболочкой.
5. **Пигментная оболочка**, содержащая темные пигментные клетки, препятствующие рассеиванию света в глазу.
6. **Радужная оболочка** — в передней части сосудистая оболочка переходит в окрашенную радужную оболочку, цвет которой определяет цвет глаз.
7. **Зрачок**— круглое отверстие в радужной оболочке, пропускающее свет. Диаметр зрачка может изменяться от 2 до 8 мм.
8. **Светопроводящий аппарат** глаза образован роговицей, жидкостью передней камеры, хрусталиком и стекловидным телом.
9. **Конъюнктивa** — наружная оболочка глаза, выполняет барьерную и защитную роль.
10. **Слепое пятно** — расположено в том месте, где зрительный нерв входит в глаз.
11. **Хрусталик**— природная эластичная двояковыпуклая линза
12. **Кольцевая мышца**— мышца, которая охватывает хрусталик и может изменять кривизну его поверхностей.

13. **Передняя камера**— камера с водянистой массой, которая находится в передней части глаза между роговицей и хрусталиком,
14. **Зрительный нерв**, обеспечивающий передачу зрительной информации в мозг.
15. **Сетчатка** — светочувствительный слой, воспринимающий свет и преобразующий его в нервные импульсы
16. **Колбочки** (их примерно 10 млн) служат для восприятия мелких деталей предмета и различения цветов
17. **Палочки** (120 млн клеток) не воспринимают различия в цвете и мелкие детали, но они высокочувствительны к слабому свету, с помощью палочек человек различает предметы в сумерках и ночью
18. **Стекловидное тело**— студенистое вещество, заполняющее пространство между хрусталиком и сетчаткой
19. **Желтое пятно** (макула) — самая чувствительная область сетчатки, площадью около 3 мм^2 .
20. **Центральная ямка**— наиболее чувствительная часть желтого пятна.
21. **Слепое пятно** — расположено в том месте, где зрительный нерв входит в глаз.
22. **Зрительная ось**-направление наибольшей чувствительности глаза, которая проходит через центры роговицы и желтого пятна.
23. **Главная оптическая ось** – это ось, которая проходит через центры роговицы, зрачка, хрусталика.
24. **Сетчатка** — светочувствительный слой, воспринимающий свет и преобразующий его в нервные импульсы/
25. **Световоспринимающим (рецепторным) аппаратом** глаза является сетчатка, в которой находятся светочувствительные зрительные клетки.
26. **Аккомодация** — приспособление глаза к четкому видению различных удаленных предметов.

27. **Расстояние наилучшего зрения (видения)**- это расстояние, на котором аккомодация осуществляется без существенного напряжения на расстояние до 25 см у взрослого человека с нормальным зрением.
28. **Угол зрения**— угол между лучами, идущими от крайних точек предмета через узловую точку (оптический центр глаза).
29. **Разрешающая способность глаза**— это величина, характеризующая его способность давать раздельное изображение двух близких друг другу точек объекта.
30. Наименьшее расстояние между двумя точками, при котором их изображения воспринимаются раздельно, называется **пределом разрешения**.
31. **Острота зрения** равна отношению минимального углового размера символа, распознаваемого нормальным глазом, к угловому размеру символа, распознаваемого пациентом.