

ОПТИЧЕСКАЯ СИЛА И ЦВЕТОВОСПРИЯТИЕ ГЛАЗА ЧЕЛОВЕКА

К. Р. Шевчик, А. И. Кутеева, А. А. Худолеева, В. О. Неверовская

УО «Белорусский государственный педагогический университет
имени Максима Танка»

Минск (Республика Беларусь)

Науч. рук – Соболев В. Р., д.ф.-м.н., профессор;

OPTICAL POWER AND COLOR PERCEPTION OF THE HUMAN EYE

K. R. Shevchik, A. I. Kuteeva, A. A. Khudoleeva, V. O. Neverovskaya

Belarusian State Pedagogical University named after Maxim Tank

Minsk (Republic of Belarus)

Scientific adviser – V. R. Sobol, Doctor of Physical and Mathematical
Sciences, Professor

Рассмотрены физические стороны системы функционирования человеческого глаза как оптического устройства с необходимыми и достаточными требованиями по характеристикам для оптимального отображения окружающего мира, а также при вынужденных процедурах корректирования зрения в случае отклонения от нормы.

The physical aspects of the system of functioning of the human eye as an optical device with the necessary and sufficient requirements for characteristics for the optimal display of the surrounding world, as well as for forced procedures for correcting vision in case of deviation from the norm, are considered.

Ключевые слова: глаз, фокус, свет, цвет, сетчатка, роговица, расстояние

Key words: eye, focus, light, color, retina, cornea, distance

Вводная часть. Постановка задачи. Глаз человека как сенсорный орган, обладающий способностью воспринимать электромагнитное излучение в световом диапазоне длин волн, обеспечивает функцию зрения и является основным элементом, связывающим человека с его окружением, позволяя постигать до 90 % от всего объема информации из внешней среды. В основе системы функционирования глаза действуют объективные законы геометрической и даже волновой оптики, включая закон Снеллиуса относительно преломления и отражения оптических пучков на плоских и сферических поверхностях, закон обратимости, законы и соотношения при построении оптических изображений, закономерности возникновения aberrаций, как ошибок или погрешностей в изображениях, вызываемые отклонениями луча от того направления, по которому он должен был бы идти в идеальном случае. Aberrации в системе глаза, характеризующие различного вида нарушения гомоцентричности в структуре пучков лучей, принято также характеризовать в представлении лучевой оптики и в формализме волновой природы света.

Цель сообщения – конкретизировать физико-химические процессы взаимодействия электромагнитного излучения со светочувствительными нейронами сетчатки как генераторами электрических импульсов, под воздействием которых в мозгу формируется образ-представление об наблюдаемом объекте и обосновать меры воздействия, требуемые для профилактики ухудшения зрения, его восстановления при заболеваниях и патологиях.

Физиология и способы функциональной коррекции. Как упомянуто, глаз человека, как и иных живых существ, являет собой сложную оптическую систему, которая по своему действию напоминает систему фотографического аппарата, у которого лучи света отраженные от наблюдаемого предмета формируются в виде изображения на светочувствительной структуре (пленке), которая через зрительные нервные волокна создает образ наблюдаемого предмета в мозгу [1 – 2]. Четкость отображения окружающего мира определяется длительным переходным процессом от корректного формирования фотографического образа на самой сетчатке (фотопленке) до его восстановления в натуральную величину без искажений во всей гармонии спектра сформированного при начальном отражении света от рассматриваемого предмета (рис. 1).

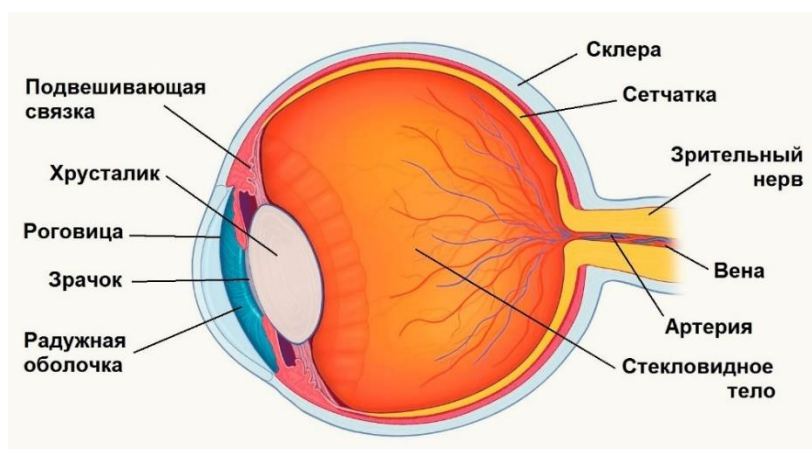


Рис. 1 – Принципиальная схема глаза, как оптической системы в сочетании органов и тканей

Глаз, как светочувствительный орган, (Рис. 1) являет собой образование почти шарообразной формы с диаметром около 2,5 см, которое снаружи защищено оболочкой белого цвета – склерой в передняя части прозрачной и называемой роговицей. За роговицей расположена радужная оболочка, окрашенная пигментом, который и формирует понятие, определяет “цвет глаз”. Отверстие в радужной оболочке для проникновения света называют зрачком, который выполняет функции диафрагмы. В зависимости от интенсивности падающего света зрачок рефлекторно изменяет свой диаметр в диапазоне 2 – 8

мм. Между роговицей и радужной оболочкой находится прозрачная жидкость. За зрачком расположен важнейший элемент – хрусталик, эластичное прозрачное тело с функциями вариативной по оптической силе линзы, управляемой силой глазной мышцы, которая может изменять в некоторых пределах кривизну хрусталика. За хрусталиком полость глаза заполнена стекловидным телом, а на задней части, на самом глазном дне, покрытом сетчатой оболочкой расположено сложное разветвление зрительных волокон с окончаниями в виде нервных клеток, которые имеют вид палочек и колбочек и являются светочувствительными рецепторами, создающими в конечном итоге в мозгу зрительный образ.

Техника формирования изображения при преломлении лучей от предмета на границе раздела воздух–роговица в приближении законов действия положительной тонкой линзы в окружающей среде несимметричной оптической плотностью показывает и меры, требуемые при наличии каких-либо дисфункций во входном и промежуточном тракте (Рис. 2).

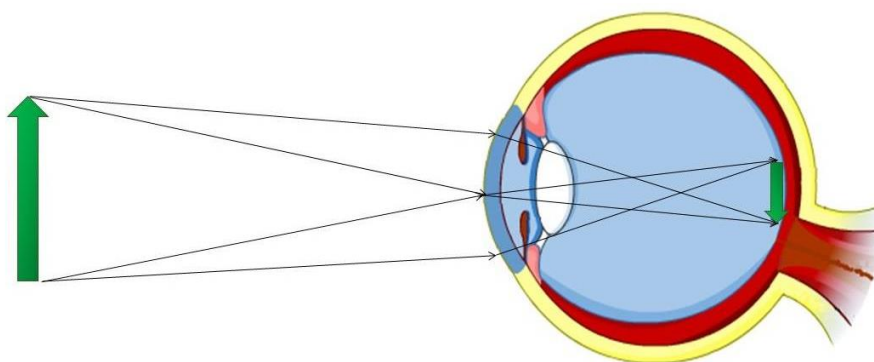


Рис. 2. Схема действия оптической системы глаза в приближении законов геометрической оптики

Следуя Рис. 2 роговица, прозрачная жидкость, хрусталик и стекловидное тело образуют оптическую систему, которая при расслаблении глазной мышцы и при максимальном искривлении хрусталика отвечает порядка 60 – 70 диоптриям, свидетельствуя о возможности варьирования фокусом с подстройкой – перемещением изображения на сетчатке в зависимости от удаления наблюдаемого предмета, что называют аккомодацией.

У нормального глаза ненапряженный хрусталик, формирующий изображение на сетчатке отвечает дальней точке аккомодации на бесконечности, фокус строго расположен на сетчатке. При приближении предмета изображение уходит за плоскость сетчатки и требуется уменьшение фокусного расстояния за счет искривления хрусталика. Максимальное искривление хрусталика позволяет формировать на сетчатке изображение для предмета, удаленного на 15 – 20 см. Кроме этого, для нормального глаза характерен параметр, называемый

расстоянием наилучшего зрения, который отвечает 25 см при комфортном наблюдении мелких деталей, текстов. По законам геометрической оптики изображение на сетчатке – действительное, обратное, уменьшенное формируется для всех диапазонов расстояний от дальней до ближней точки аккомодации.

При отклонениях зрения изображения удаленных предметов в случае ненапряженного глаза могут оказаться за сетчаткой (дальнозоркость). Нечеткость восприятия может подкорректировать сам хрусталик за счет его искривления, но если силы мышцы недостаточно требуется дополнительная фокусировка за счет положительной линзы. Приближение предмета в данном случае не помогает, так как изображение еще дальше уходит за сетчатку.

Если при не напряженном хрусталике изображение формируется перед сетчаткой то инстинктивно стремление приблизить предмет, так как напряжение хрусталика здесь только вредит (явление близорукости) (рис. 3). Для исправления дефекта применяют действие отрицательной линзы.

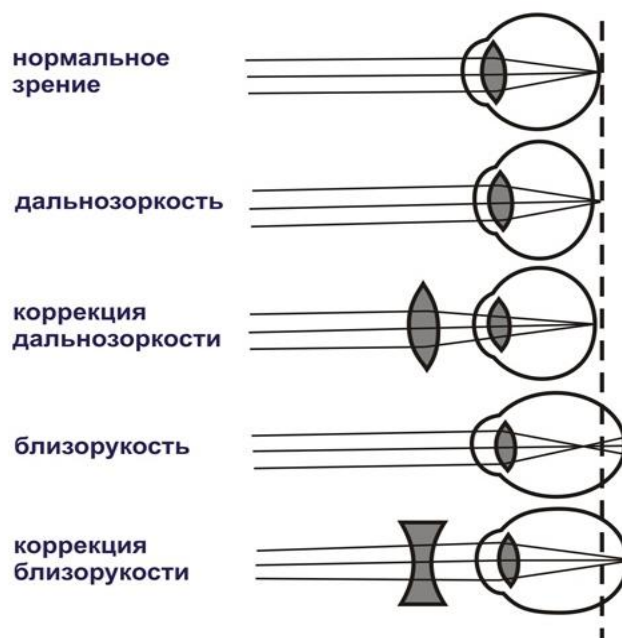


Рис. 3 – Принципиальные подходы при исправлении фокуса глаза

Как упоминалось, видимый свет относится к электромагнитному излучению, и глаз человека может реагировать на него и различать некоторый диапазон частот, воспринимая их в виде разных цветов, реагируя на диапазон 380 – 780 нм с переходом по мере увеличения длины волны – фиолетовый, синий, голубой, зеленый, желтый, оранжевый, красный. Вообще на фоне перечисленных семи основных цветов глаз человека способен различать примерно до 10 млн. цветов и оттенков, что сформировалось в процессе эволюции, и осуществляется благодаря био-химическим процессам в сетчатке содержащей упомянутые ранее цвето чувствительные нервные клетки, называемые колбочками и палочками. Данные структуры имеют особый пигмент

(йодопсин), который подразделяется на виды и может улавливать желто-красный и желто-зеленый спектр.

Формируемое на сетчатке – высоко развитой нервной ткани изображение реализуется в нервной системе в форме объектов центрального и периферического зрения посредством рецепторов — палочек и колбочек, воспринимающих световые лучи и трансформирующих нервные импульсы с передачей сигналов мозгу. Центральное зрение обеспечивает четкое восприятие объектов, которые расположены на разном от глаза расстоянии, с их помощью человек может смотреть вдаль, читать и выполнять работу на близком к нему расстоянии. Периферическое зрение позволяет ориентироваться в пространстве.

Три вида колбочек воспринимают световые волны разной длины и обеспечивают восприятие цветов и оттенков (Рис. 4). Всего сетчатка содержит около 100 – 120 миллионов палочек и примерно 7 миллионов колбочек. Палочки более светочувствительны, но различать цвета не могут, так как содержат только один пигмент — родопсин, он медленнее реагирует на свет, чем йодопсин. Колбочки получили свое название благодаря форме, которая схожа с формой лабораторных колб. Длина колбочки около 0,05 мм, диаметр в самом широком месте — 0,004 мм.

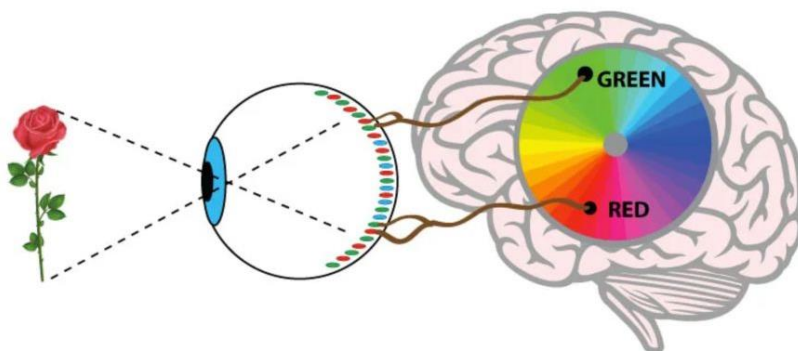


Рис. 4 – Схематическое отображение механизма восприятия глазом света с различными цветовыми оттенками

В силу большей чувствительности к свету зрительное ощущение в сумерках формируется за счет раздражения именно палочек, которые действуют наподобие фотоэлементов с максимумом спектральной восприимчивости в области 510 нм, отвечая так называемой кривой видности. Дифференциация цветов аппаратом колбочковых рецепторов отвечает как бы трем чувствительным элементам с разными областями максимальной восприимчивости. Три сорта колбочек формируют режим нормального восприятия цветов радуги. Следует отметить, что существуют люди, содержащие только два типа различающих цвета фотоприемников – колбочек, называемые дихроматами, еще реже встречаются люди, относящиеся

монохроматам, у них глаз реагирует на один из участков солнечного спектра, в то время как остальные цвета представлены в виде однотонного серого набора.

Заключение. Знание законов геометрической оптики в сочетании с биологическими и химическими процессами, происходящими в системе фотовозбуждения чувствительных клеток с генерацией нейронных импульсов в рецепторной системе глаза дает основания надеяться, что недостатки по типу aberrаций и по каналам восприятия цветовой гаммы солнечного излучения при воздействии на чувствительные элементы в сетчатке глаза человека могут быть восполнены, что и предпринимается, в том числе при дополнительном введении в систему световосприятия препаратов аналогичных по действию зрительному пигменту типа йодопсина.

Библиографические ссылки

1. Ландсберг Г.С. Оптика / Ландсберг Г.С. 6-е изд., стереот. – М.: ФИЗМАЛИТ, 2003. – 848 с.
2. Proglaza [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://proglaza.net/diagnostika/kak-glaz-razlichaet-tsveta>. Дата доступа: 11.04.2023