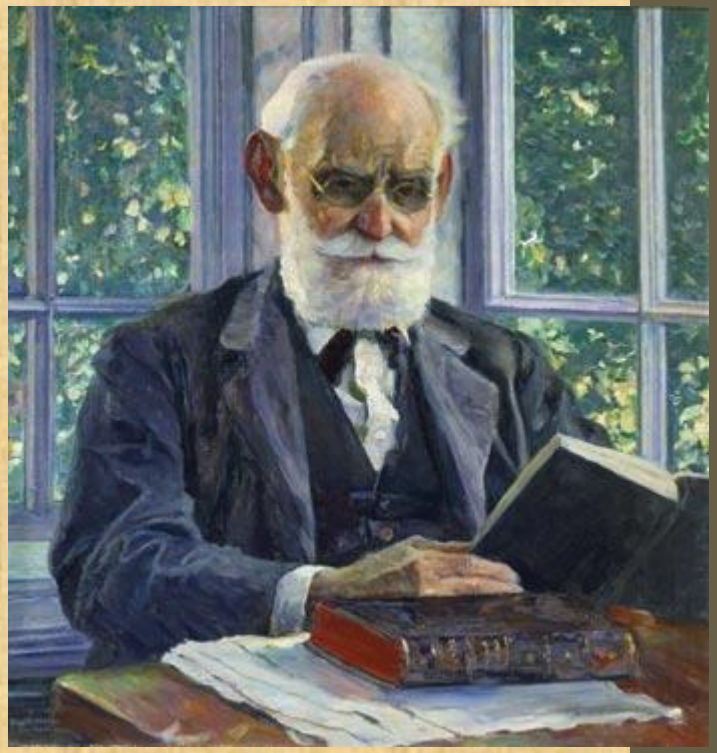
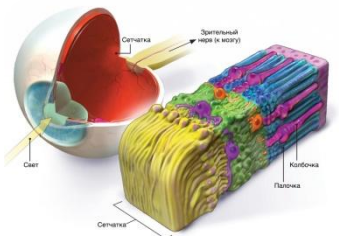
Физиология анализаторов

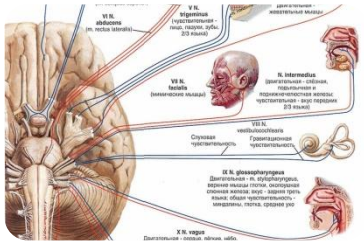
И.П. Павлов создал учение о сенсорных системах, которые назвал анализаторами.



Анализатор – это совокупность нейронов, обеспечивающая восприятие раздражителя, проведение информации о нем в ЦНС с анализом афферентации и опознанием образа раздражителя нейронами коры больших полушарий.

Каждый анализатор (по Павлову) состоит из трех отделов:



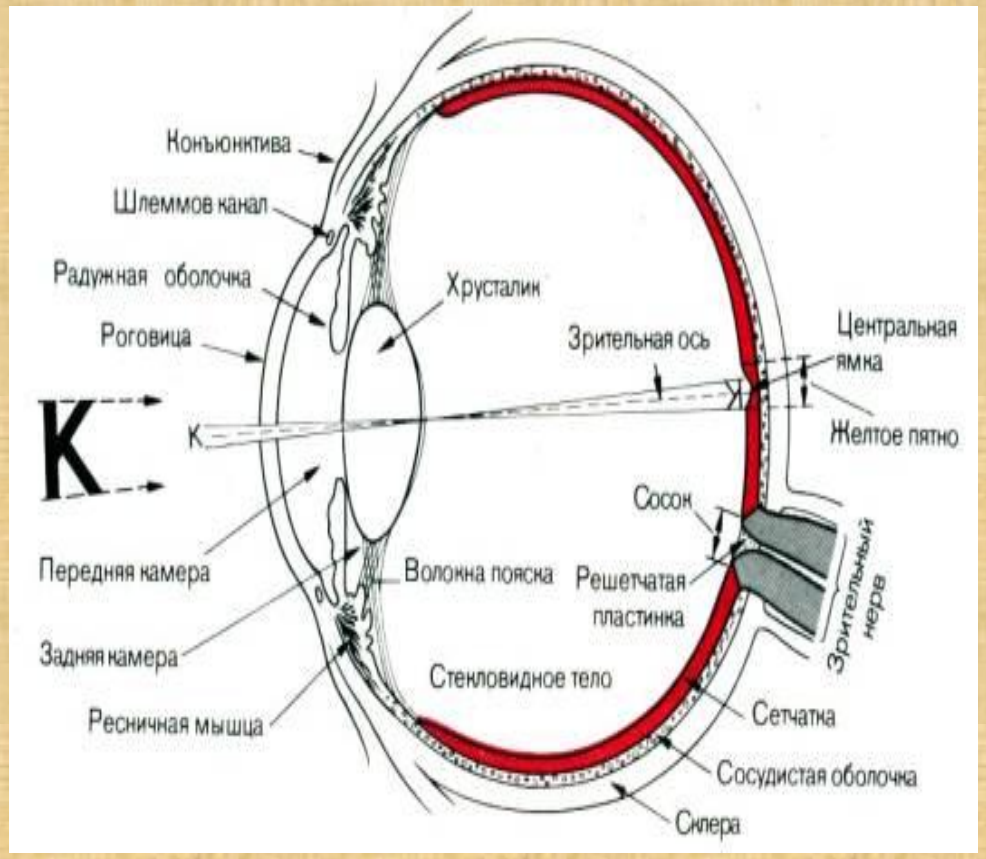


Зрительный анализатор

Орган зрения включает:

1. глазное яблоко, соединённое через зрительный нерв с мозгом,
2. защитный аппарат (веки и слёзные железы),
3. аппарат движения (глазодвигательные мышцы).

Оптика глаза



Глаз имеет систему линз с различной кривизной и различными показателями преломления световых лучей, включающую четыре преломляющих среды между:

1. воздухом и передней поверхностью роговицы;
2. задней поверхностью роговицы и водянистой влагой передней камеры;
3. водянистой влагой передней камеры и хрусталиком;
4. задней поверхностью хрусталика и стекловидным телом.

Преломляющая сила любых оптических систем выражается в диоптриях (**D**): 1 диоптрия равна преломляющей силе линзы с фокусным расстоянием в 1 метр.

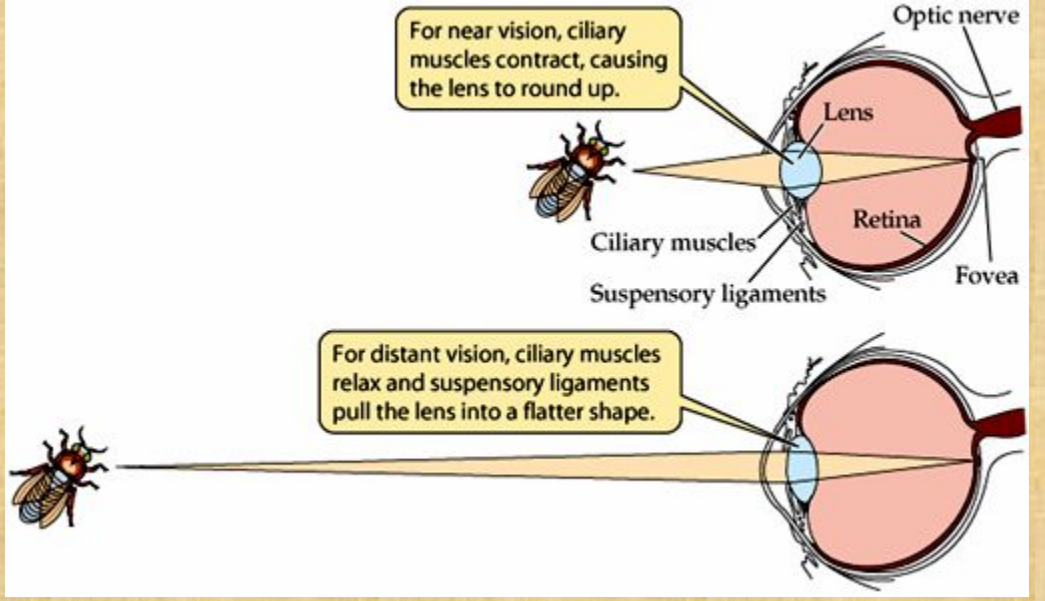
ПРИМЕР РЕФРАКЦИИ СВЕТА

Рефракция или преломление света - это изменение направления распространения света при прохождении через границу раздела двух сред **с** различной оптической плотностью.

Аккомодация

- это приспособление глаза к чёткому видению предметов, расположенных на различном расстоянии.

Основная роль в процессе аккомодации принадлежит хрусталику, способному изменять свою кривизну. При взгляде на удалённые предметы хрусталик уплощается, а на близкие предметы становится более выпуклым.



ПСНС обеспечивает фокусировку при приближении предмета к глазу.

СНС незначительно расслабляет ресничную мышцу, но это практически не оказывает влияния на аккомодацию.

Дальняя точка ясного видения лежит в бесконечности, т.е. отдалённые предметы рассматриваются без аккомодации.

Зрачковый рефлекс

Просвет зрачка может изменяться от 1 мм до 8 мм. Это придаёт зрачку свойства диафрагмы.

Яркий свет вызывает вегетативную реакцию, замыкающуюся в среднем мозге (центр Будге): сфинктер зрачка в радужной оболочке обоих глаз сокращается, а дилататор зрачка расслабляется, в результате диаметр зрачка уменьшается.

Плохое освещение заставляет оба зрачка расшириться.

Регуляция зрачкового рефлекса

1. ПСНС (ацетилхолин и эзерин) вызывают сужение зрачка, а блокада холинорецепторов сфинктера радужки атропином приводит к расширению зрачка.
2. СНС (адреналин и его аналоги) расширяют зрачок.
3. Зрачки расширяются при гипоксии, болевом шоке, при эмоциях ярости и страха.

Зрачковый рефлекс меняется при заболеваниях ЦНС:

а. Торможение возникает при нарушении передачи импульсов от сетчатки к ядрам моста.

б. При таких заболеваниях, как сифилис ЦНС, энцефалиты, алкоголизм, норкомания зрачок остаётся суженным и плохо реагирует на свет.

в. Повреждение симпатических нервов глаза может вызвать сужение зрачка на стороне повреждения.

Содружественная реакция зрачков

У здоровых людей зрачки обоих глаз одинакового размера. Освещение одного глаза ведет к сужению зрачка другого глаза (содружественная реакция зрачков).

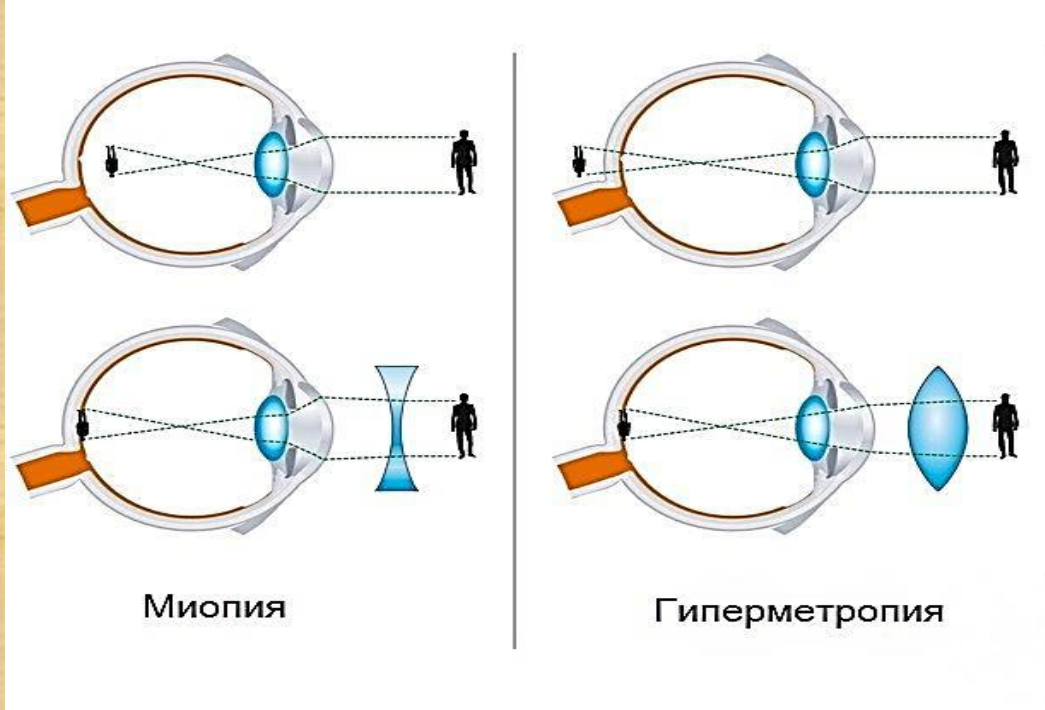
Рефракция

Эмметропия (нормальное зрение) - параллельные лучи от отдалённых предметов фокусируются на сетчатке, когда ресничная мышца полностью расслаблена.

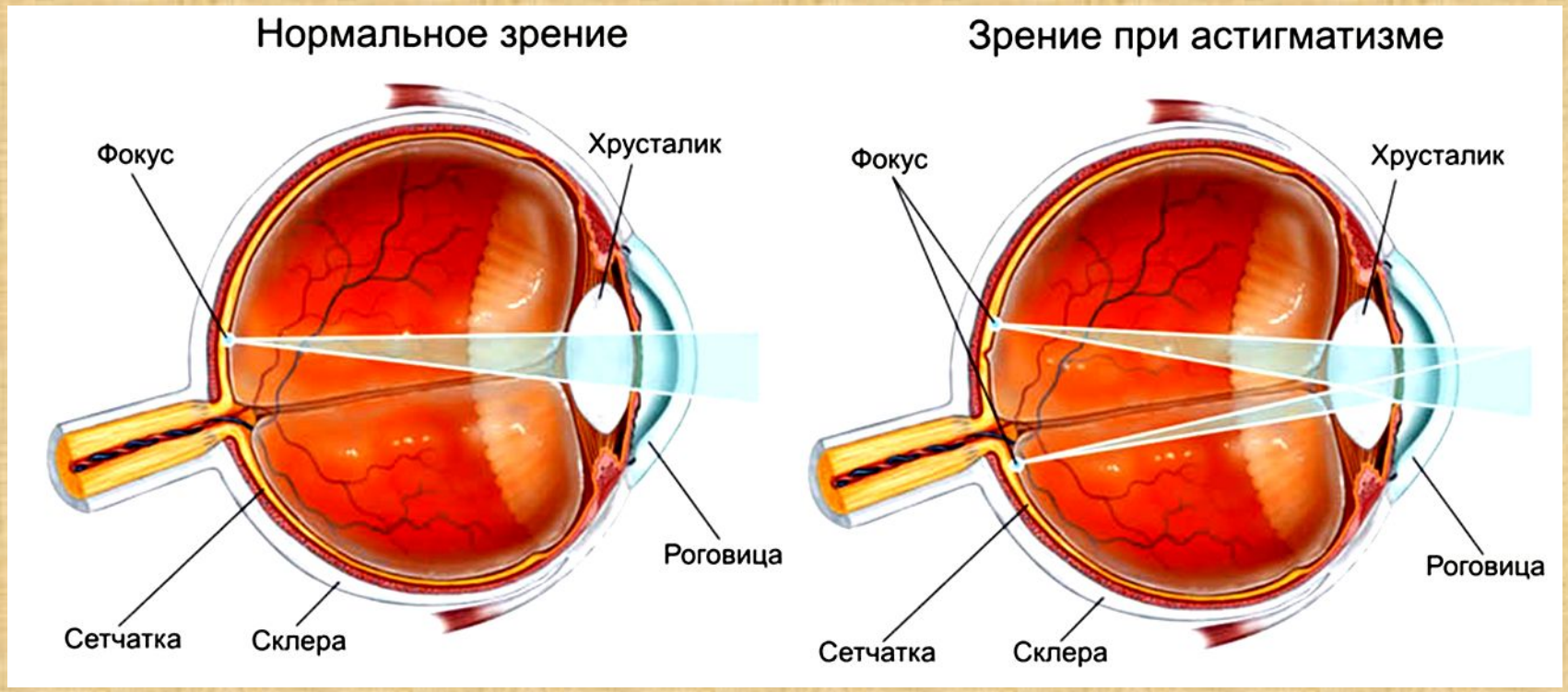
Аномалии рефракции

Миопия (близорукость) - длинное глазное яблоко либо большая преломляющая сила хрусталика (фокус впереди сетчатки). Для ясного видения вдаль - двояковогнутые линзы.

Гиперметропия (дальнозоркость) - короткое глазное яблоко или малоэластичный хрусталик. (фокус за сетчаткой). Для чтения - двояковыпуклые линзы.



Астигматизм — неодинаковое преломление лучей в разных направлениях, вызванное различной кривизной сферической поверхности роговицы. Аккомодация глаза не в силах преодолеть астигматизм - специальные цилиндрические линзы.

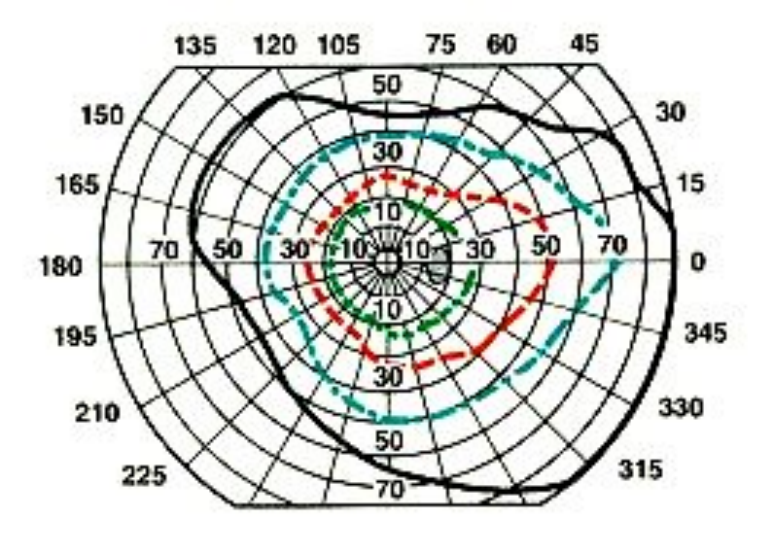


Близорукость
Дальнозоркость
Астигматизм

Поля зрения

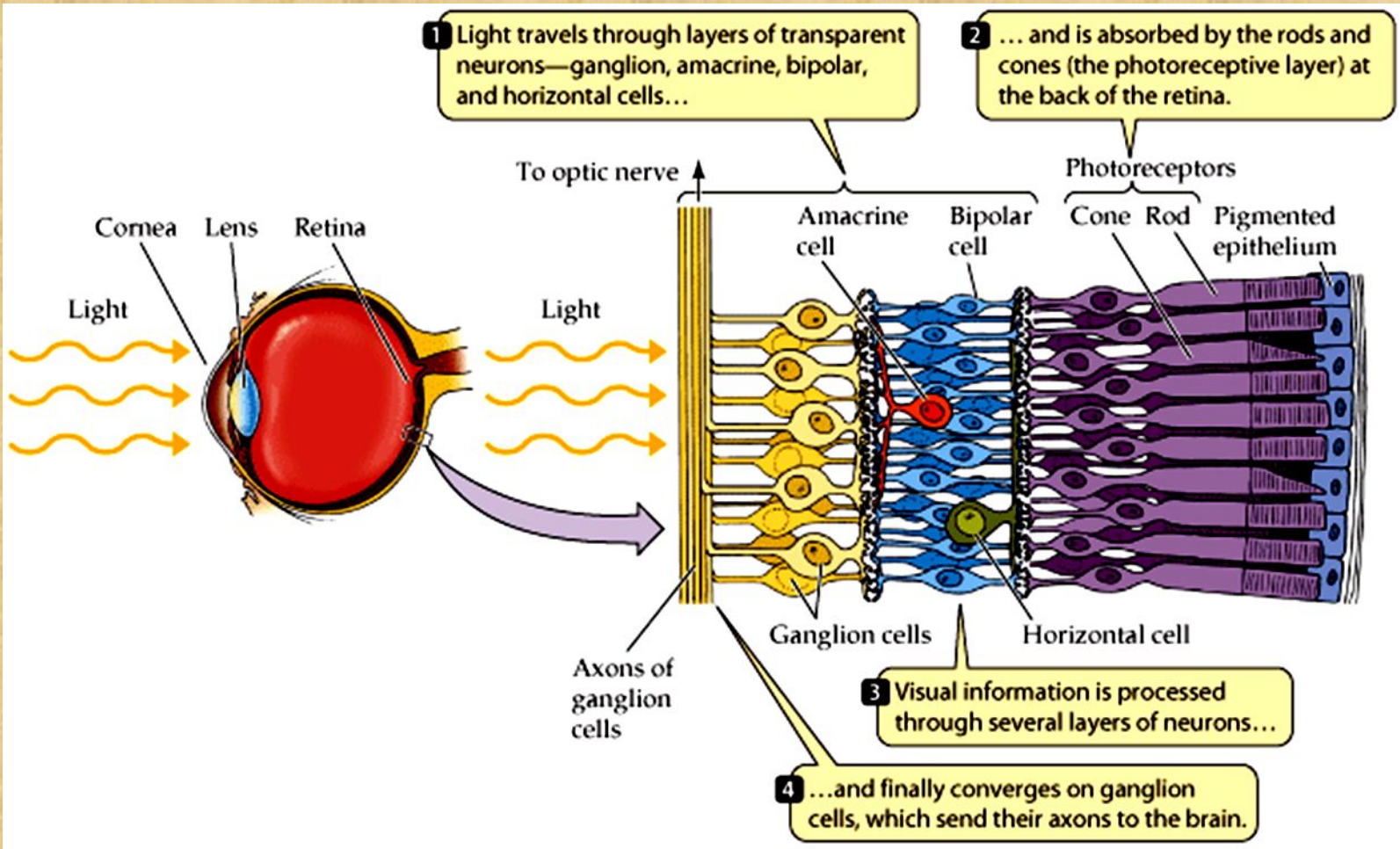
Зрительное поле каждого глаза — часть внешнего пространства, видимого глазом (теоретически оно должно быть круглым)

Составление карты зрительного поля важно для неврологической и офтальмологической диагностики. Окружность зрительного поля определяют с помощью периметра.



ФОТОРЕЦЕПЦИЯ

Строение сетчатки



Строение сетчатки

A – сосудистая оболочка,

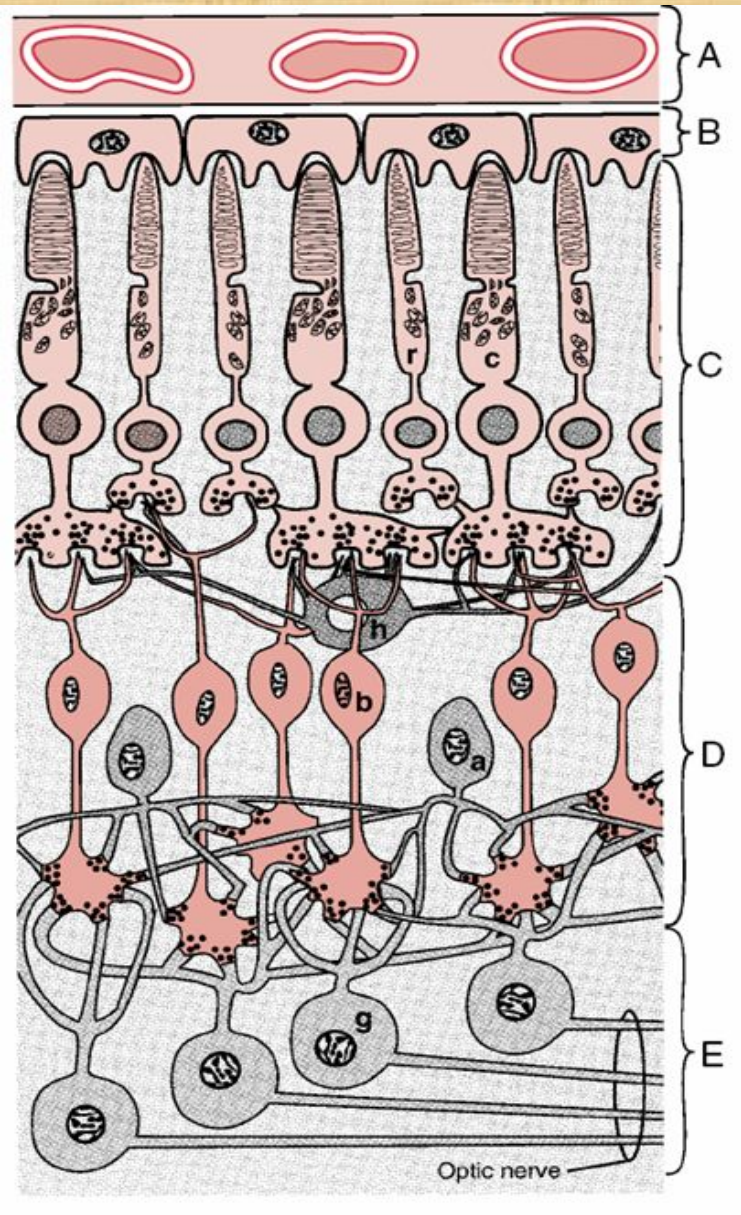
B - пигментный эпителий,

C – слой палочек и колбочек,

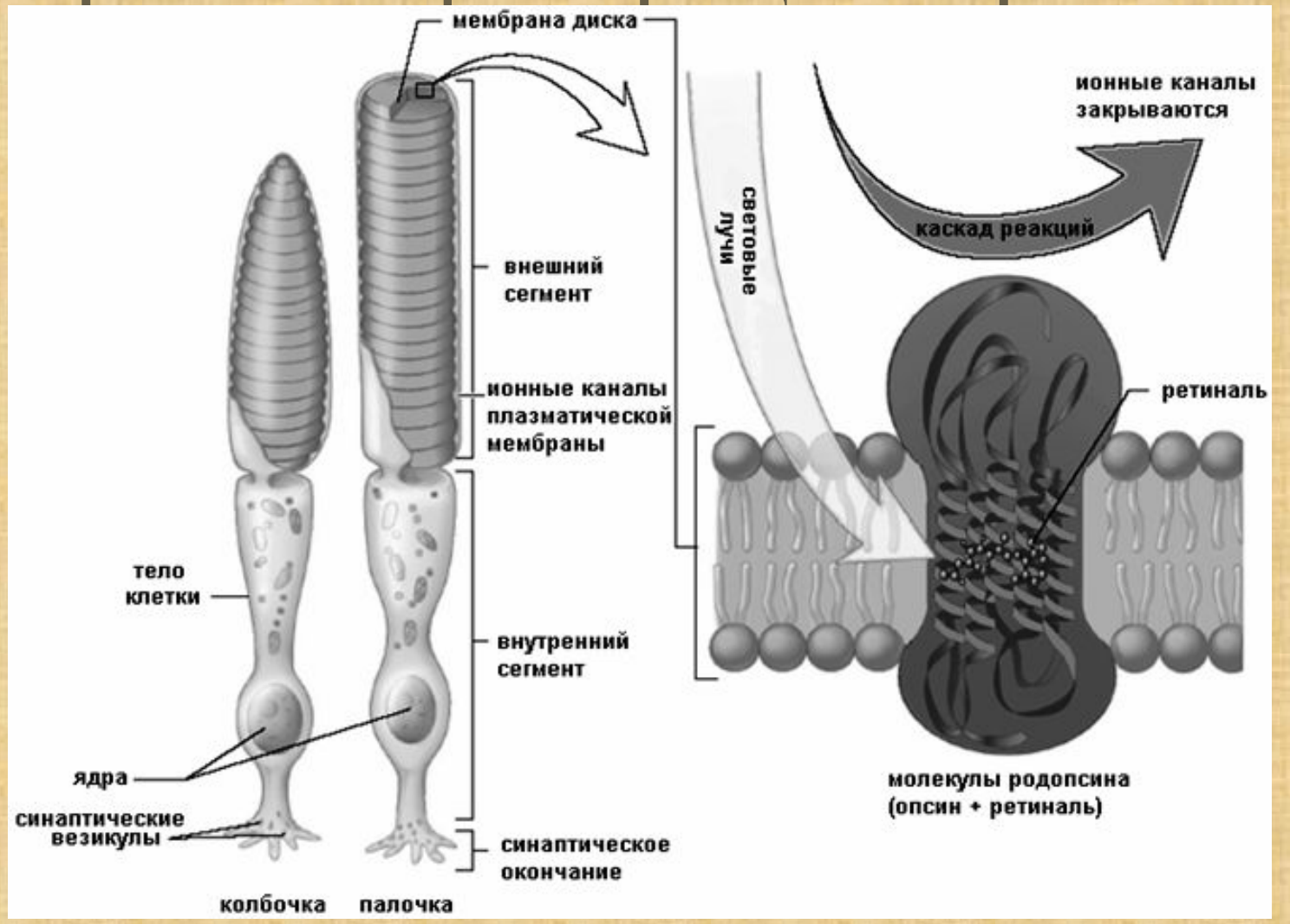
D – слой биполярных клеток,

E – оптический нерв

(h – горизонтальная клетка, r – палочка, c – колбочка, b – биполярные клетки, a – амакриновые клетки, g – ганглиозные клетки, образующие оптический нерв - E).

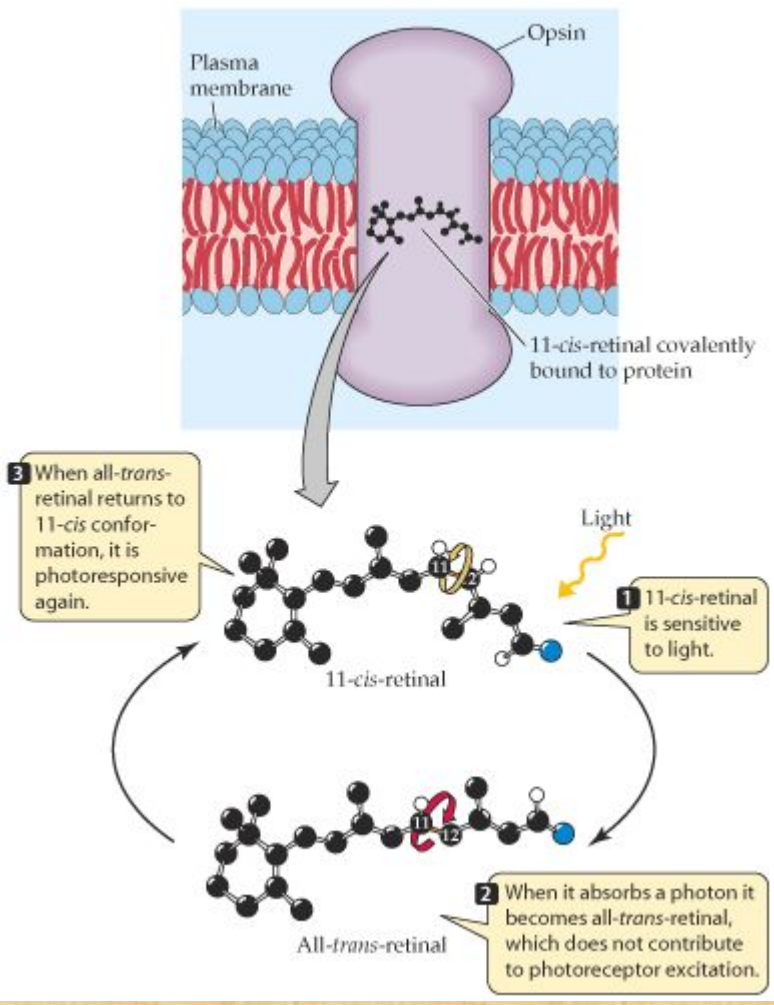


Строение фоторецепторов



В состав дисков фоторецепторных клеток входят зрительные пигменты, в том числе родопсин палочек.

Родопсин состоит из белковой части (опсин) и хромофора — 11-*цис*-ретиналя, под действием фотонов переходящего в *транс*-ретиналь (фотоизомеризация).

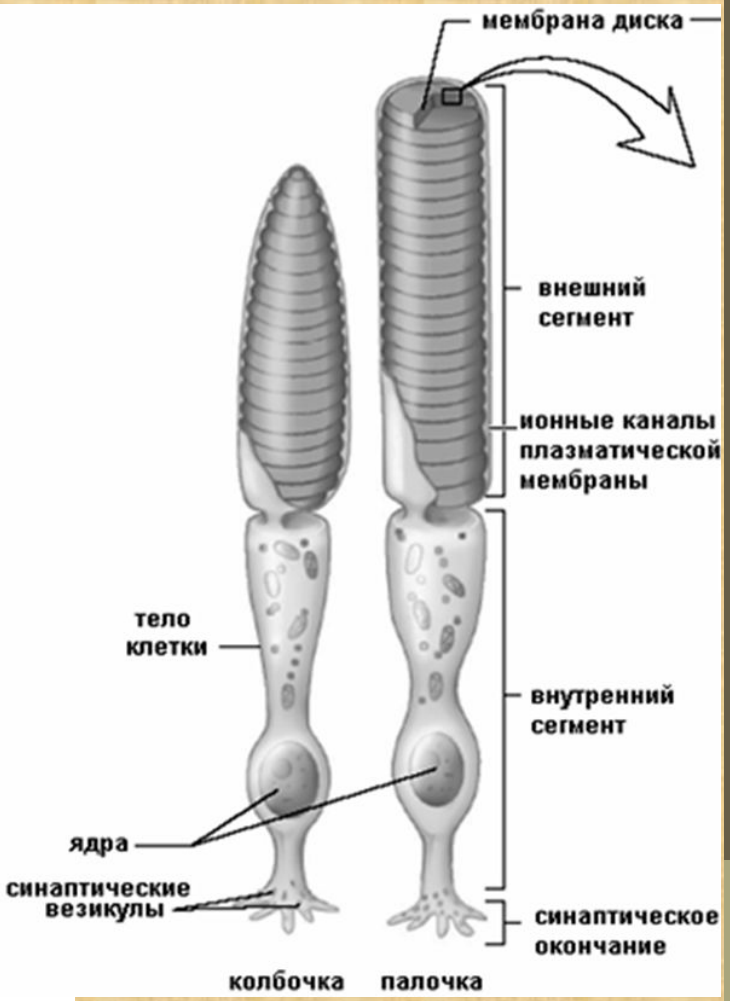


Ионные основы фоторецепторных потенциалов

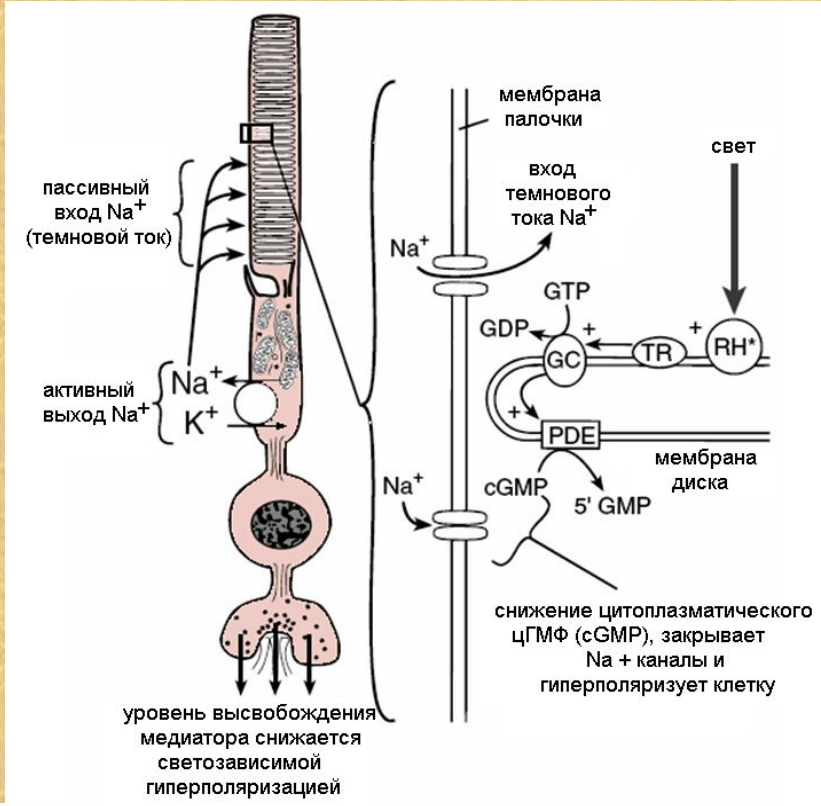
<u>В темноте</u> Na^+-каналы мембрани наружных сегментов палочек и колбочек открыты, и течёт входящий Na^+ и Ca^{2+}-ток (*темновой ток*).

Ток течёт также в синаптическое окончание фоторецептора, вызывая постоянное выделени нейромедиатора глутамата.

Na^+,K^+–насос, находящийся во внутреннем сегменте, поддерживает ионное равновесие, компенсируя выхо Na^+ входом K^+.

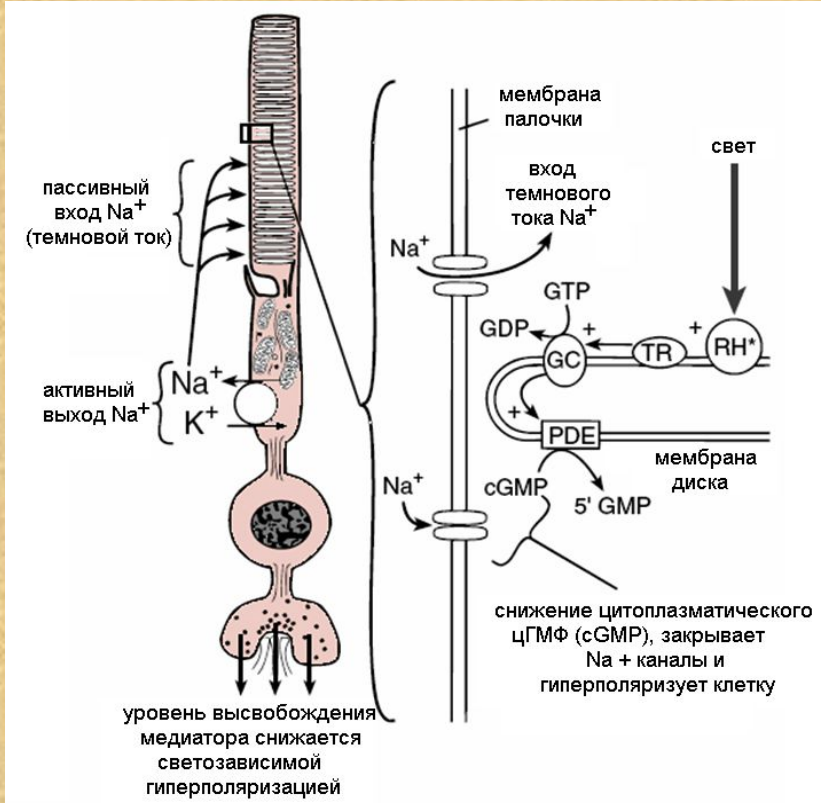


При попадании квантов света:



1. активация родопсина в результате фотоизомеризации,
2. каталитическая активация родопсином G-белка (трансдуцин),
3. активация фосфодиэстеразы при связывании с трансдуцином,
4. гидролиз цГМФ цГМФ–фосфодиэстеразой,

При попадании квантов света:



5. закрытие цГМФ–зависимых Na^+-каналов,
6. гиперполяризация (*гиперполяризационный рецепторный потенциал),*
7. потенциал распространяется до синаптического окончания и уменьшает выделение глутамата.
8. появление ПД в аксонах ганглиозных клеток

Возврат к исходному состоянию

Свет, вызывающий понижение концентрации цГМФ и приводящий к закрытию Na^+-каналов, уменьшает содержание в фоторецепторе Na^+ и Ca^{2+}.

При понижении концентрации Ca^{2+} активируется *гуанилатциклаза*, синтезирующая цГМФ, и в клетке растёт содержание цГМФ.

Это приводит к торможению функций активированной светом фосфодиэстеразы.

Оба этих процесса возвращают фоторецептор в исходное состояние и открывают Na^+-каналы.

Световая адаптация

Если человек длительное время находится в условиях яркого освещения:

- в палочках и колбочках происходит превращение значительной части зрительных пигментов в ретиналь и опсин.

- большая часть ретиналя превращается в витамин А.

Всё это приводит к соответствующему снижению чувствительности глаза, называемому световой адаптацией.

Темновая адаптация

Если человек продолжительное время остаётся в темноте:

- витамин А вновь превращается в ретиналь,
- ретиналь и опсин формируют зрительные пигменты.

Всё это приводит к повышению чувствительности глаза — темновой адаптации.

Световая чувствительность палочек нарастает неравномерно:

- в первые минуты она увеличивается в десятки раз,
- в конце первого часа чувствительность палочек к свету возрастает до сотен тысяч раз.

В темноте пигменты колбочек восстанавливаются быстрее, чем родопсин палочек, но абсолютная чувствительность колбочек к свету незначительна.

Другие механизмы адаптации

1. Изменение размеров зрачка в течение долей секунды может в 30 раз уменьшить поступление света к сетчатке.
2. В темноте увеличивается число возбуждённых ганглиозных клеток, что приводит к возрастанию световой чувствительности.
3. ЦНС влияет на адаптацию сетчатки к действию света (засветка одного глаза понижает чувствительность неосвещённого глаза).
4. Световая чувствительность глаза может изменяться и под воздействием звука.

Различные клетки сетчатки генерируют локальные потенциалы, но не ПД

Из всех клеток сетчатки ПД возникают только в аксонах ганглиозных клеток.

Ответы палочек, колбочек и горизонтальных клеток являются гиперполяризующими.

Ответы биполярных клеток либо гиперполяризующие, либо деполяризующие.

Амакринные клетки создают деполяризующие потенциалы.

Особенности локальных потенциалов колбочек и палочек

Рецепторные потенциалы колбочек и палочек возникают одинаково быстро, но скорость завершения рецепторного потенциала палочек медленнее.

Благодаря чрезвычайно низкому порогу восприятия палочки являются детекторами абсолютно малой освещённости, а колбочки реагируют на изменения освещённости в тех пределах, когда палочки уже достигли своего максимума.

Проведение сигналов от палочек и колбочек отличаются:

Нейроны и аксоны ганглиозных клеток от колбочек, значительно толще, чем от палочек.

Поэтому скорость проведения сигналов от колбочек в два раза выше.

Системы проведения возбуждения:

для колбочек короче(три звена): колбочки → биполярные клетки → ганглиозные нейроны;

для палочек (4 звена): палочки → биполярные клетки → амакринные клетки → ганглиозные клетки.

ЦВЕТОВОЕ ЗРЕНИЕ

Теории цветового зрения:

Теория Эмпедокла (V век до н.э)

Любой предмет излучает некую «субстанцию»;

ощущение цвета – это взаимодействие двух субстанций: «внутренней»(от глаза) и «внешней».

Основные цвета: белый, чёрный, жёлтый и красный.

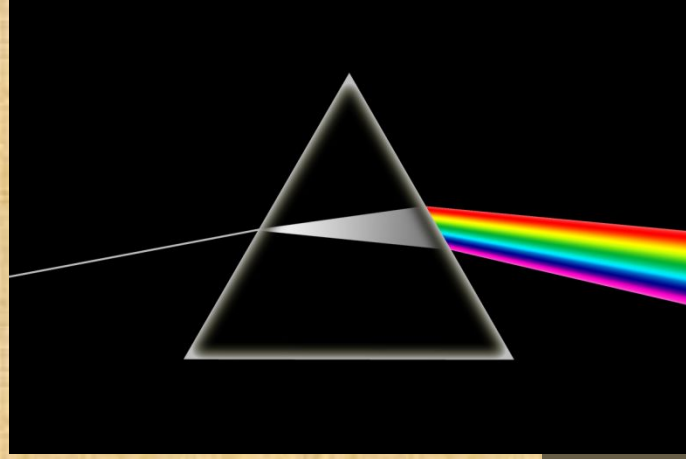
Гипотеза Демокрита (V век до н.э)

(первая материалистическая гипотеза).

Ощущение цвета это результат «вхождения» в нас образов, отражения вещей; цвет определяется порядком, формой и положением бесцветных атомов.

Основные цвета: чёрный, белый, красный и темно-зелёный.

Теория света и цвета Ньютона



В 1672 году Ньютон разложил свет в спектр (белый цвет всегда сложен).

Однако он не учитывал биофизического механизма восприятия цвета, и исходил из механического предположения, что цвет является свойством света.

Основные цвета по Ньютону - цвета радуги: красный, оранжевый, желтый, зеленый, синий, фиолетовый и индиго.

Гипотеза М. В. Ломоносова, XVIII в. (биофизическое восприятие цвета)

Основные цвета: красный, зелёный, жёлтый из которых получить все цветовые тона.

Воздействие на глаз различно по характеру, но едино по своей природе.

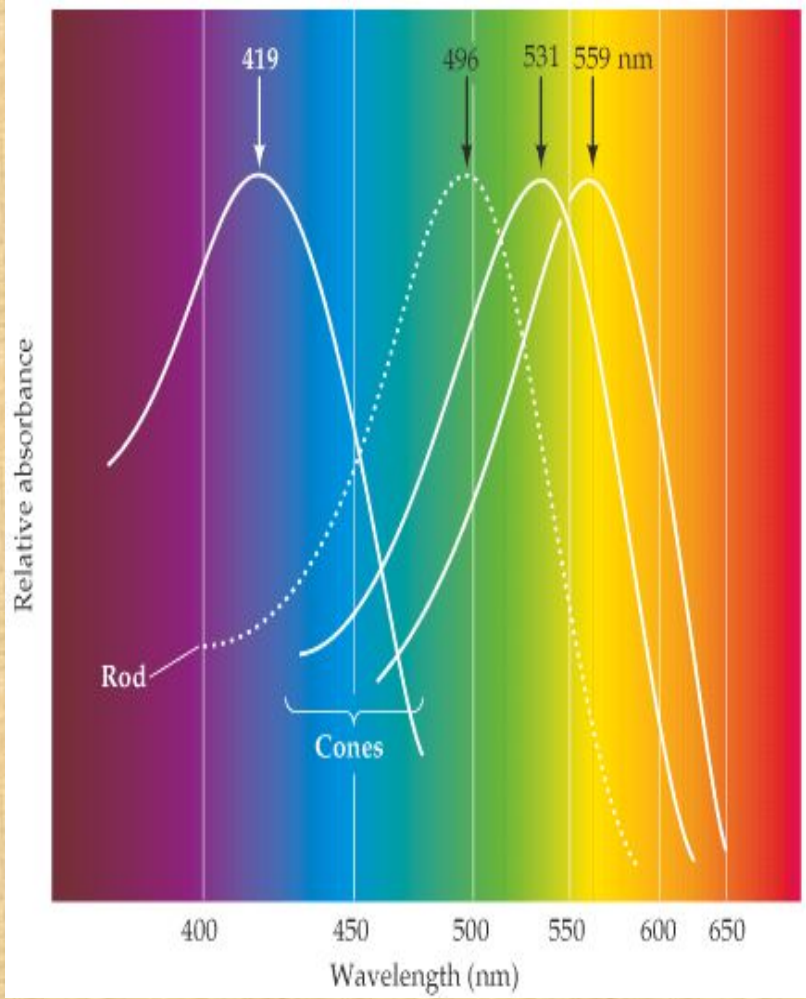
Необходимо и достаточно анализа трёх зон спектра.

Трехкомпонентная теория

(предложил Т.Янг (1802) и развил Г. Гельмгольц)

В сетчатке должны быть три вида колбочек, максимум чувствительности которых приходится на красный, зеленый и синий участок спектра, то есть соответствуют трём «основным» цветам.

Восприятие пяти цветовых ощущений (красного, жёлтого, зелёного, синего и белого) – это работа головного мозга.



Теория Геринга, 1870 год
(оппонентная гипотеза)

Есть три системы рецепторов:

красно-зеленые,

желто-голубые,

черно-белые.

Каждая система рецепторов функционирует как антагонистическая пара.

Для каждого из цветов существует *дополнительный* (комплементарный) цвет, который, будучи должным образом перемешан с исходным цветом, дает ощущение белого цвета.

Чёрный цвет является ощущением, создаваемым отсутствием света.

Восприятие любого цвета м.б. достигнуто смешением в различных пропорциях *первичных (основных) цветов:* красного, зелёного и голубого.

Нарушение цветового восприятия

Трихромазия (нормальное зрение) — возможность различать любые цвета — определяется присутствием в сетчатке всех трёх зрительных пигментов (для красного, зелёного и синего — первичные цвета).

Ахромазия (полная цветовая слепота) — поражается весь колбочковый аппарат, все предметы в разных оттенках серого. Встречается крайне редко.

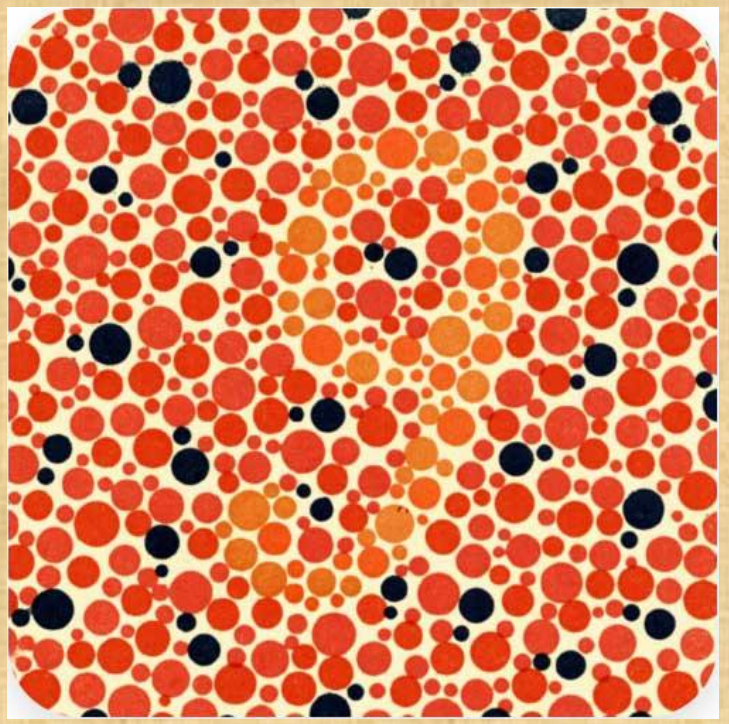
Дихромазии (цветовая слепота, или дальтонизм)— дефекты цветового восприятия (преимущественно у мужчин) по одному из первичных цветов (красный, зелёный, синий).

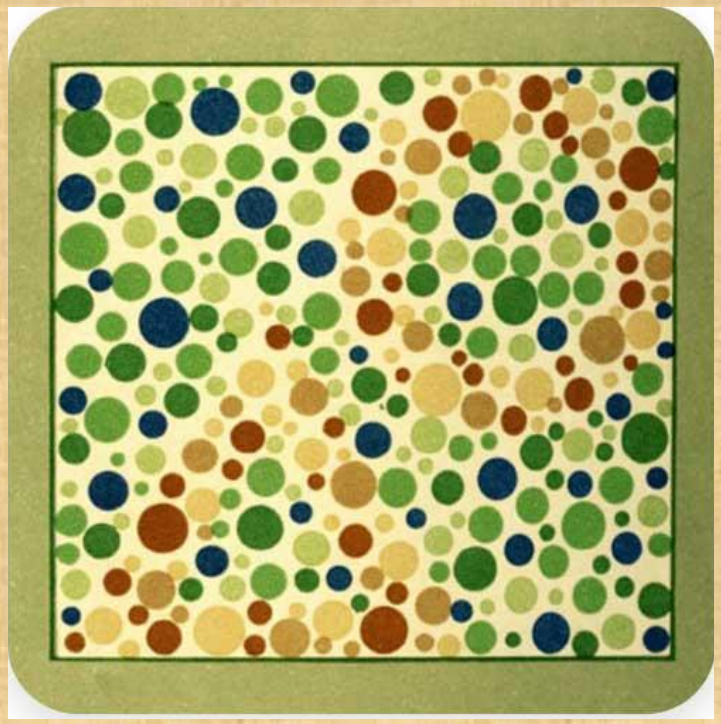
Дихромазии подразделяют на:

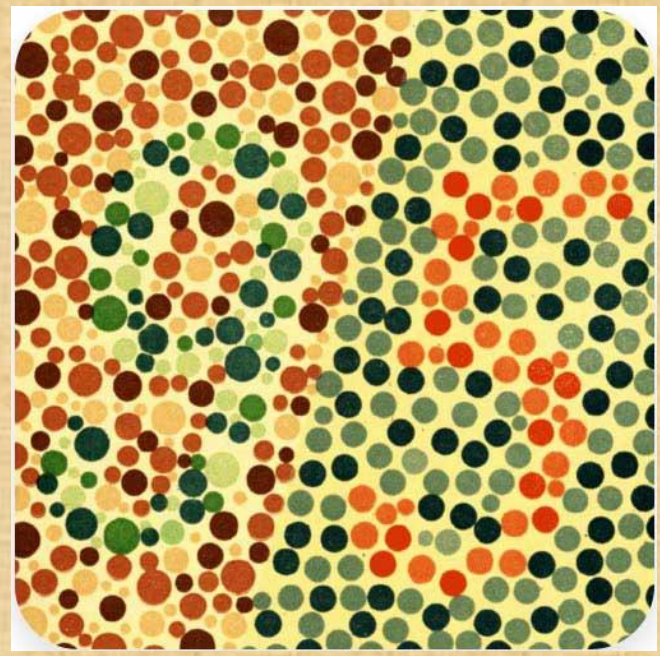
Протанопия (страдает восприятие красного, примерно 25% случаев цветовой слепоты) развивается при связанном с хромосомой X наследовании генного дефекта.

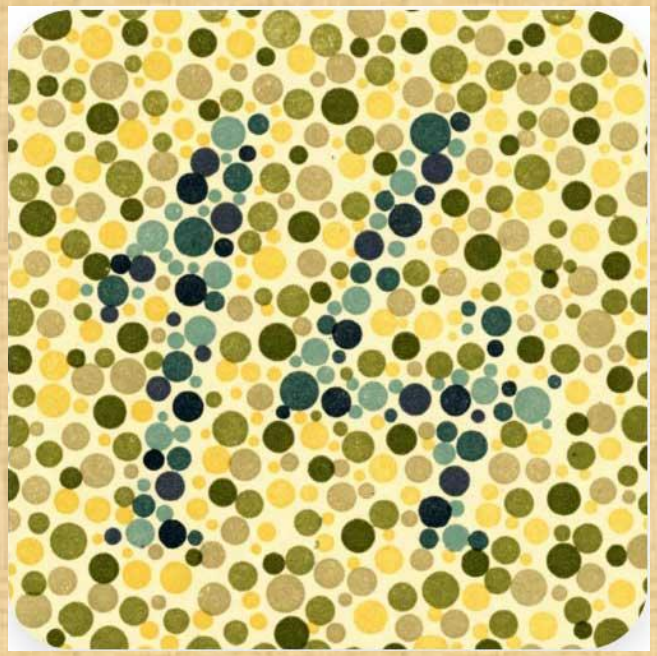
Дейтанопия (цветовая слепота по восприятию зелёного, около 75% всех случаев; связанное с хромосомой X наследование, полиморфизм гена).

Тританопия (страдает преимущественно восприятие фиолетового цвета, дефектное зрение по синему и жёлтому). Аутосомное доминантное наследование дефектного гена.









Передача цветовых сигналов

Каждая ганглиозная клетка может стимулироваться как отдельными, так и многими колбочками.

Когда все три типа колбочек — красные, голубые и зеленые — стимулируют одну и ту же ганглиозную клетку, то будут сигналы белого цвета.

Если ганглиозная клетка возбуждается колбочками только одного цвета, то она будет тормозиться возбуждением колбочки другого типа.

Если красные возбуждают, то зеленые - тормозят и наоборот.

Механизм: колбочка одного цвета возбуждает ганглиозную клетку через деполяризованную биполярную клетку, а колбочка другого цвета тормозит ту же ганглиозную клетку через гиперполяризованную биполярную клетку.

Зрительные пути подразделяют на:

1. *старую систему*, куда относятся средний мозг и основание переднего мозга,
2. *новую систему* (для передачи зрительных сигналов непосредственно в зрительную кору, расположенную в затылочных долях). Новая система фактически отвечает за восприятие всех зрительных образов, цвета и всех форм осознаваемого зрения.

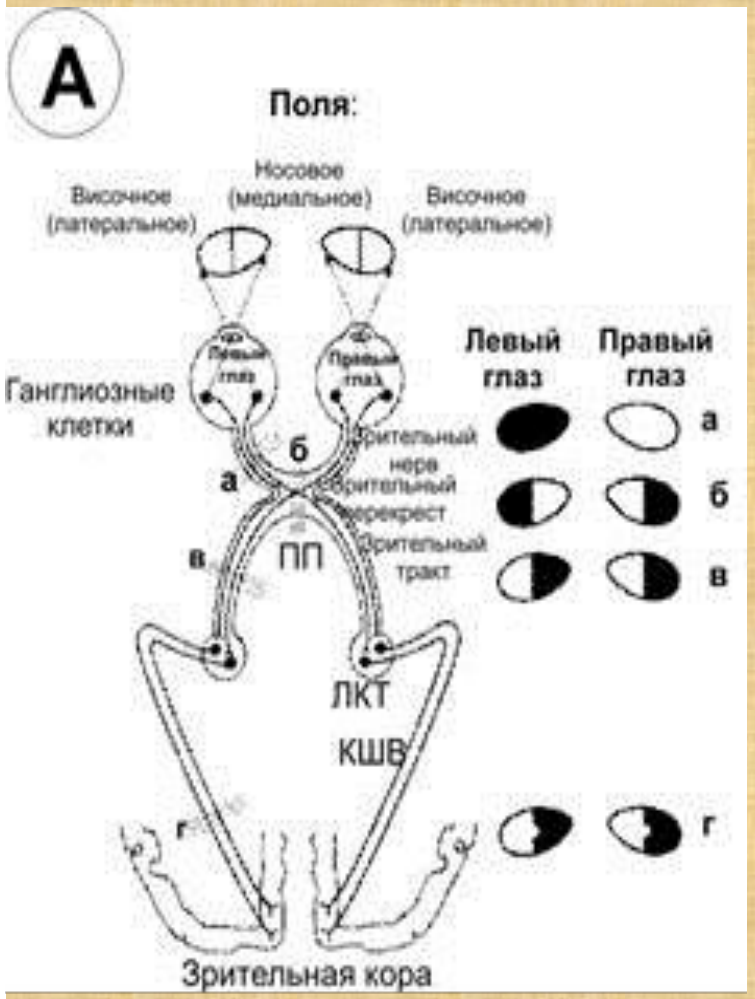
Основной путь к зрительной коре (новая система)

Аксоны ганглиозных клеток в составе зрительных нервов и (после перекреста) в составе зрительных трактов достигают латеральных коленчатых тел.

При этом волокна от носовой половины сетчатки в зрительном перекресте переходят на другую сторону.

В левом ЛКТ (ипсилатеральном глазу) волокна от носовой половины сетчатки левого глаза и волокна от височной половины сетчатки правого глаза синаптически контактируют с нейронами ЛКТ, аксоны которых образуют коленчато–шпорный тракт.

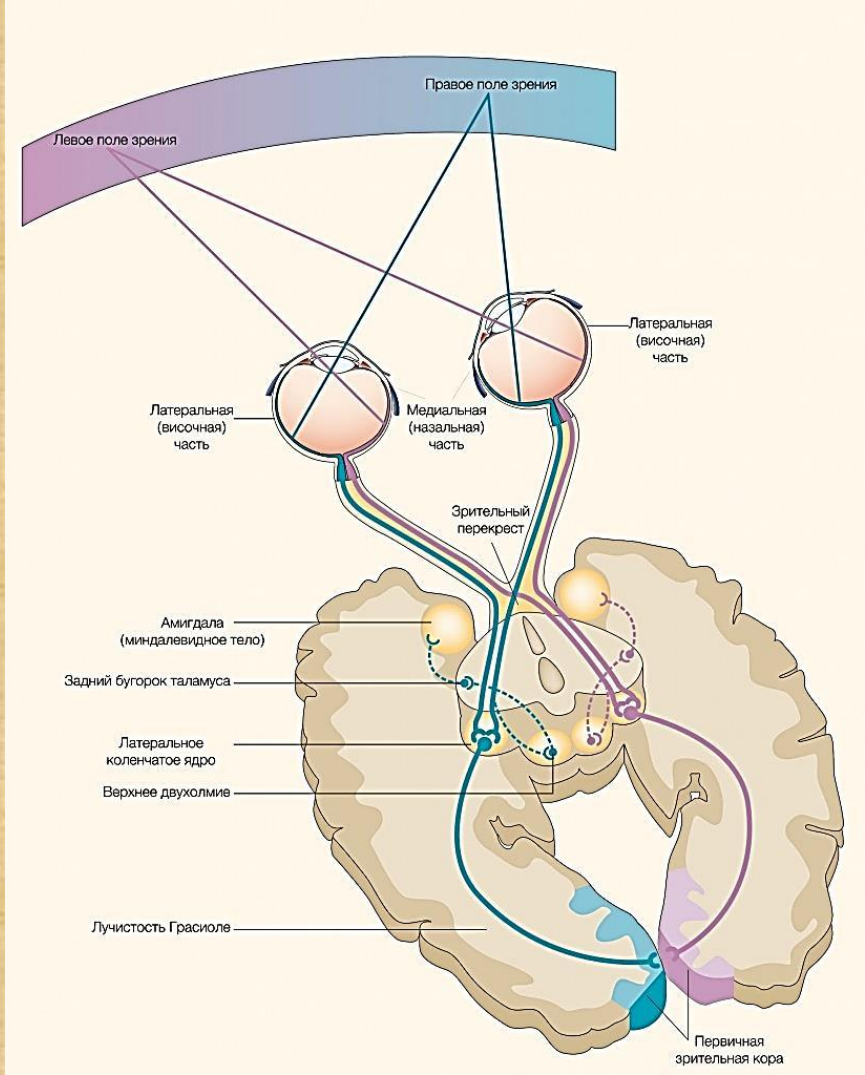
Коленчато-шпорные волокна проходят к первичной зрительной коре той же стороны. Аналогично организованы пути от правого глаза.



Зрительная кора

Первичная зрительная воспринимающая область располагается на соответствующей стороне шпорной борозды.

В зрительной коре осуществляется анализ трёхмерного расположения объектов, величины объектов, детализация предметов и их окраски, движения объектов и т.д.



Удаление первичной зрительной коры

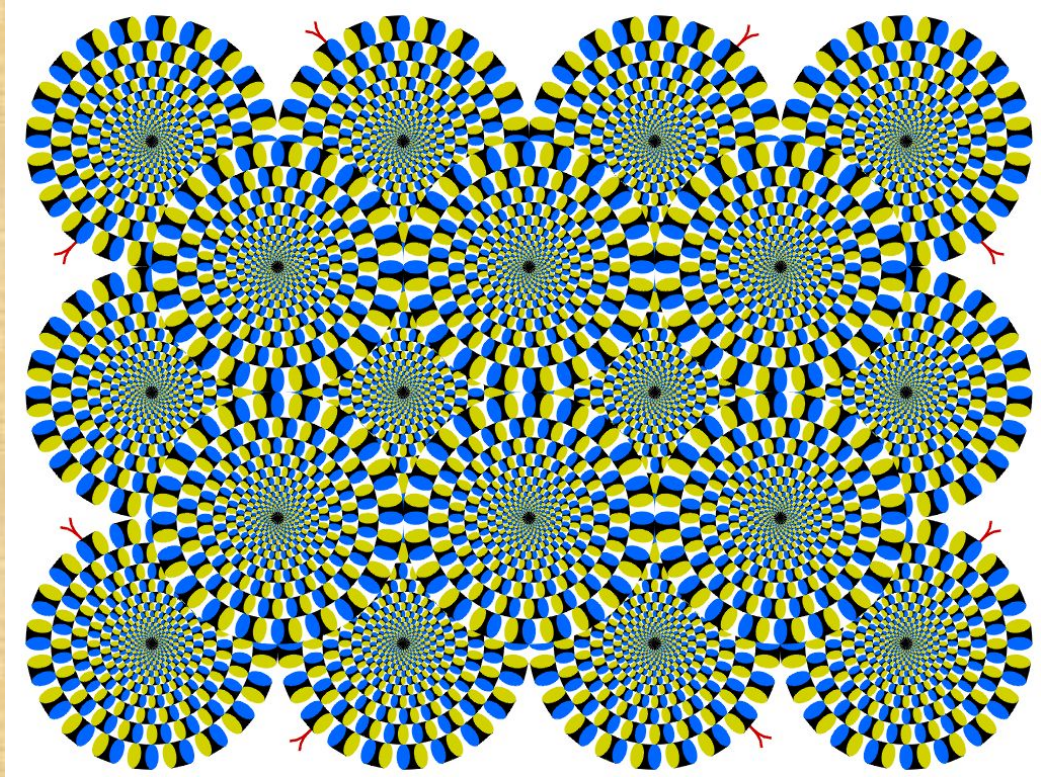
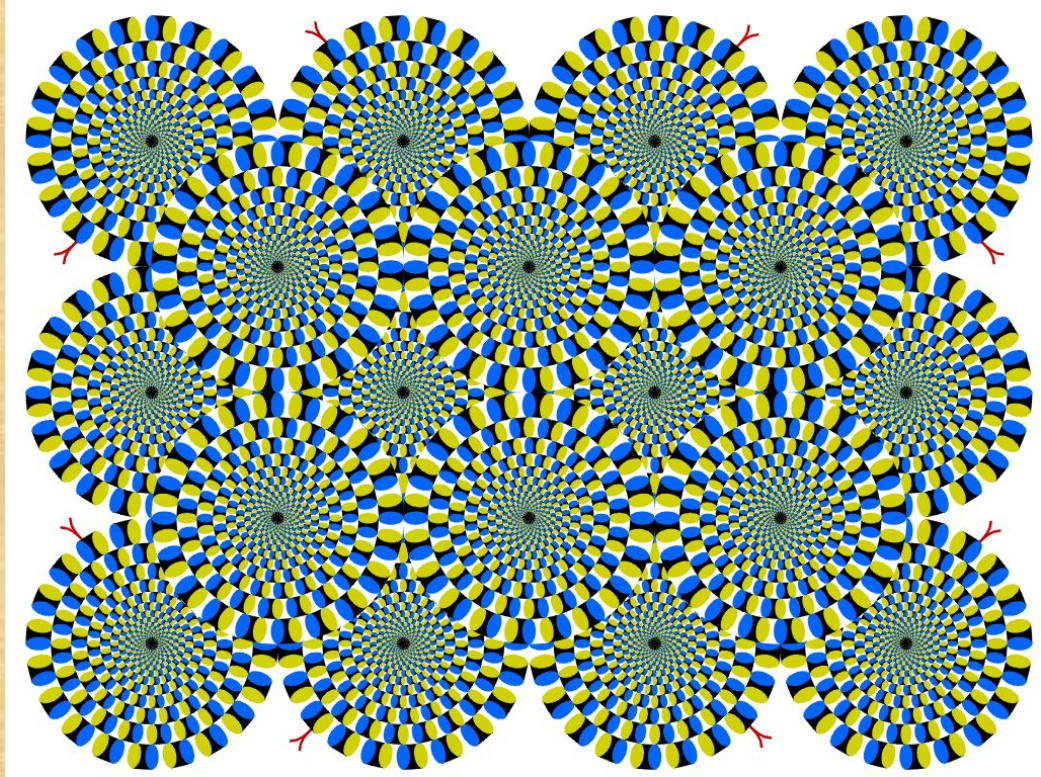
у человека вызывает потерю восприятия осознаваемых зрительных образов, то есть слепоту.

Однако такие слепые люди подсознательно реагируют на изменения интенсивности освещения, передвижения на зрительной сцене и даже некоторые большие зрительные образы.

Эти реакции включают повороты глаз, повороты головы, избегание опасных объектов.

Такое зрение поддерживается нейронными системами, проходящими из зрительных трактов в верхнее двухолмие и другие отделы старой зрительной системы.

Думаете, изображение, находящееся ниже, шевелится?



Нет! Это шевелятся ваши глаза...