

# ЗРЕНИЕ

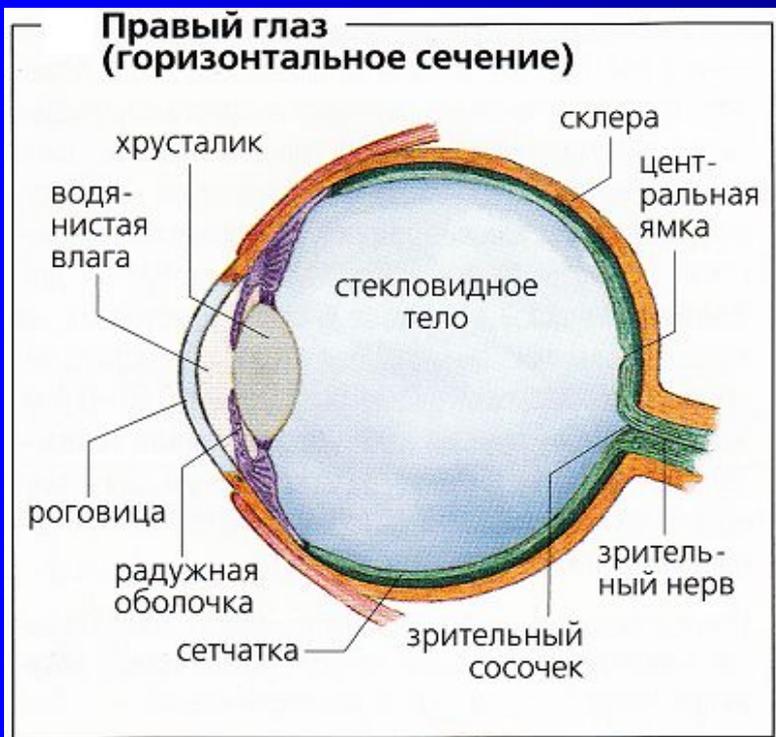
*Электромагнитное излучение в диапазоне волн от 400 до 750 нм воспринимается нами как свет.*

Полагают, что с помощью зрения человек получает до 90% информации из внешнего мира!

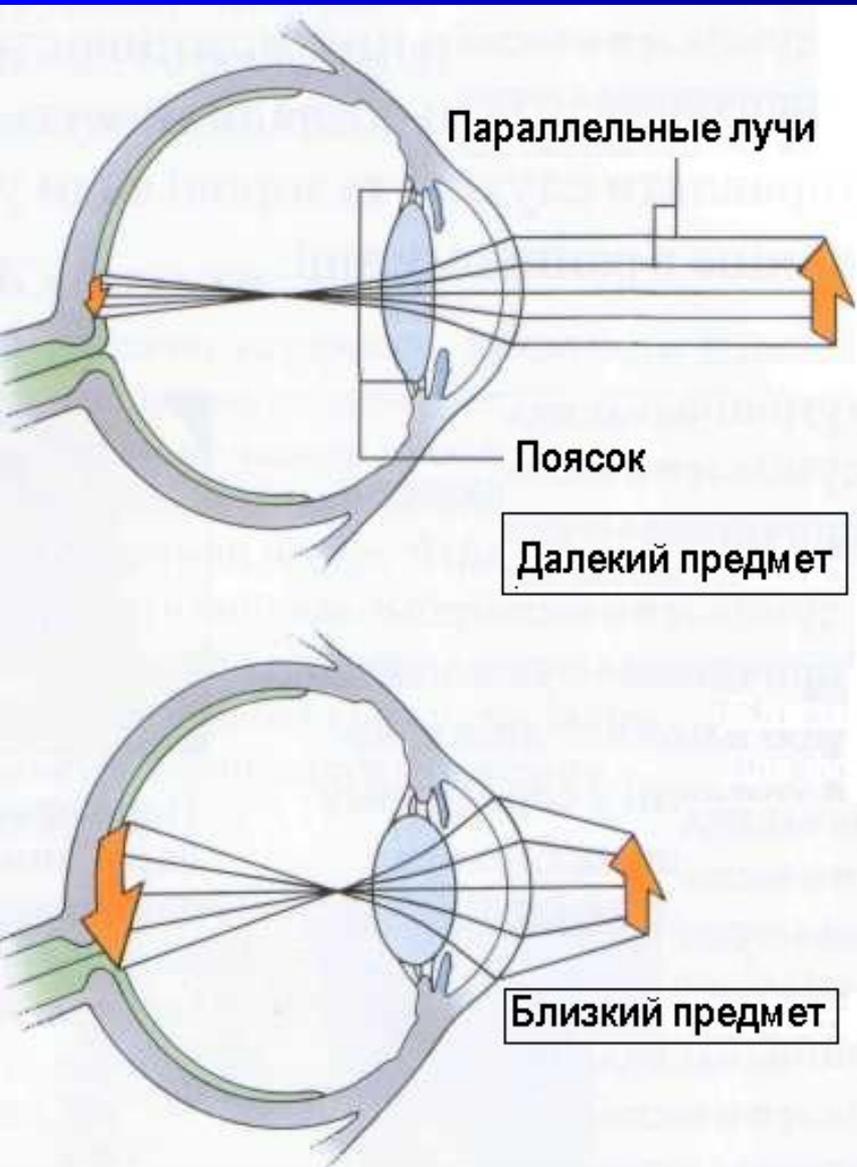
Но это обеспечивается не столько глазом, сколько формирующихся одновременно с ним нервных центров.

# Оптические и жидкостные среды глаза

- Прежде чем световая волна достигнет рецепторных клеток (палочек и колбочек), расположенных в сетчатке, луч света проходит через *роговицу*, *влагу передней камеры глаза*, *хрусталик* и *стекловидное тело*, составляющие **оптическую систему**. Она преломляет световые лучи и фокусирует их на сетчатке.

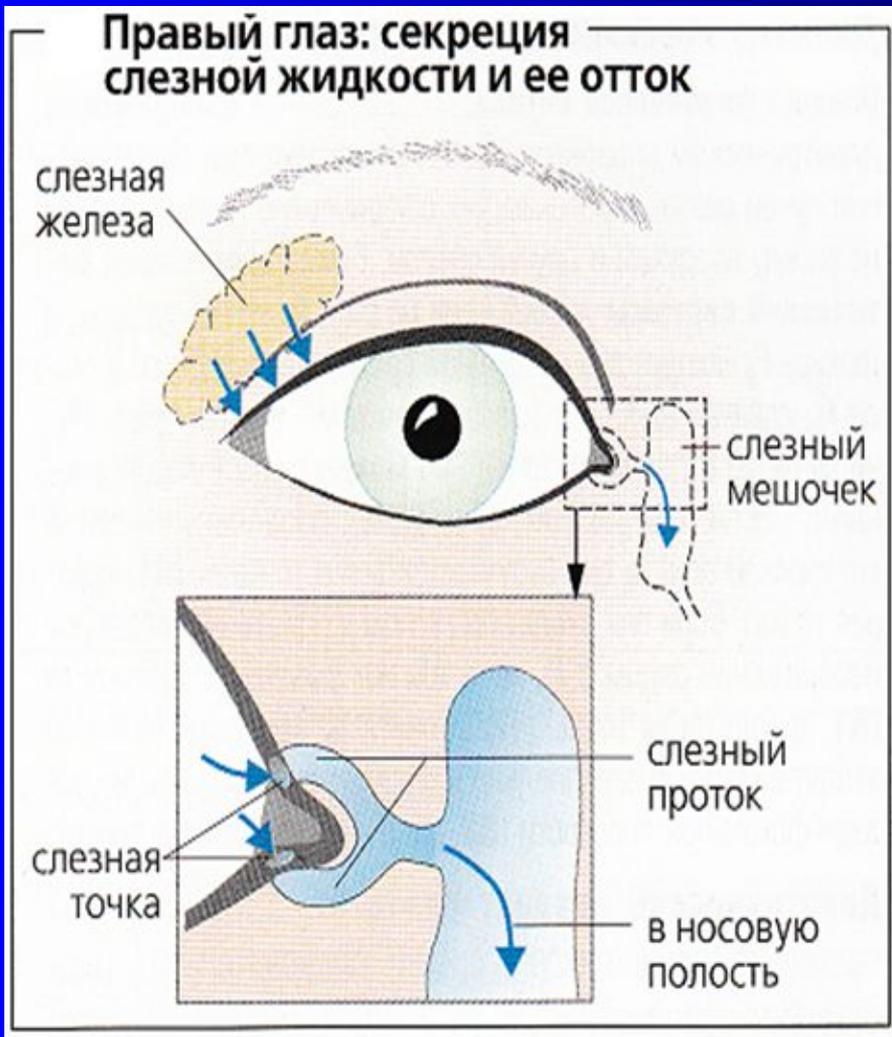


# Рефракция



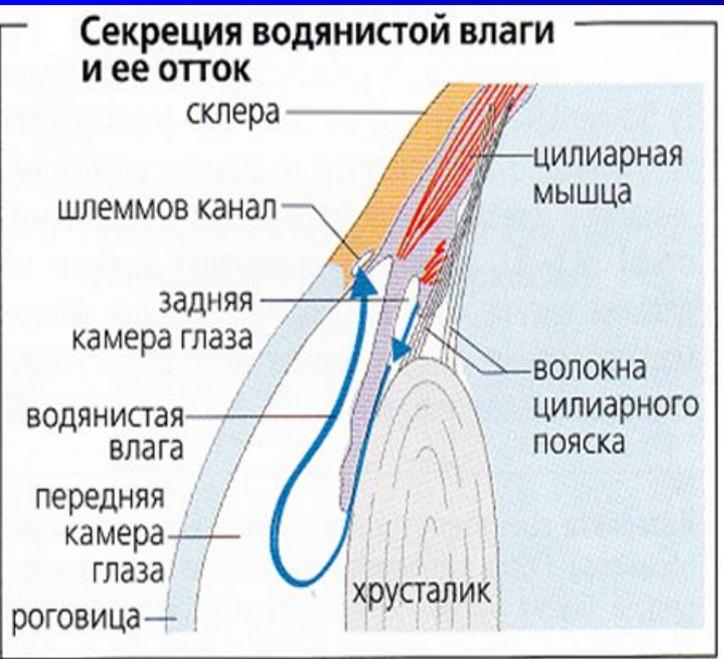
- Преломление происходит в связи с тем, что луч света с различной скоростью проходит через данные среды и воздух. Если скорость света в воздухе составляет 300.000 км/с, то в средах глаза она снижается почти до 200.000 км/с.
- В результате на поверхности двух сред происходит преломление света - *рефракция*. Границы каждой из сред действуют как линзы.

# Слезная жидкость



- Слезная жидкость улучшает оптические свойства роговицы, защищая ее от пыли и пересыхания.
- Стекая в слезной мешочек она через слезной проток поступает в носовую полость

# Водянистая влага глаза



Водянистая влага глаза секретируется клетками цилиарного тела в заднюю камеру глаза.

Через зрачок она поступает в переднюю камеру и вытекает через шлеммов канал в венозную систему.

- Отток ее обеспечивает сохранение постоянства **внутриглазного давления** (10-21 мм рт. ст.).

# Фильтрация светового потока

- Оптические среды глаза не только фокусируют лучи на рецепторных клетках сетчатки, но и *фильтруют* их.
- Так, **влага передней камеры** глаза практически полностью не пропускает все инфракрасные лучи (с длиной волны более 760 мкм).
- **Хрусталик** также поглощает инфракрасные лучи.
- Ультрафиолетовые лучи начинают поглощаться уже роговицей и остальными средами, так что и эти лучи до сетчатки не доходят.

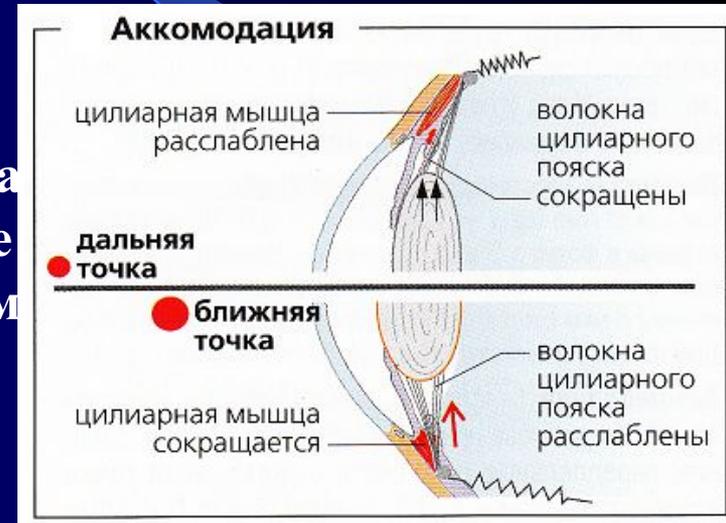
# Аккомодация

- Для ясного видения предмета необходимо, чтобы лучи от отдельных точек его были сфокусированы на сетчатке. Эту функцию выполняют глазные мышцы, поворачивающие глаз, и преломляющие среды глаза. В обычных условиях преломляющая сила глаза молодого человека обеспечивает **фокусировку лучей**, поступающих от далеко расположенного предмета, на сетчатке.
- Близкие предметы при этом видны расплывчато, так как лучи от них сходятся за сетчаткой. Для того чтобы ясно видеть близкие предметы, необходимо увеличить преломляющую силу глаза.
- Суммарная преломляющая сила (**рефракция**) глаза молодого человека составляет **59 D** при рассматривании далеких предметов и **70,5 D** - при рассматривании находящихся вблизи.
- Отсюда становится понятным, почему одновременно нельзя ясно видеть далекие и близкие предметы.

# Механизм аккомодации:

- Аккомодация обеспечивается хрусталиком, кривизна которого может меняться (рис.) в диапазоне от 15 D до 29 D. Хрусталик заключен в тонкую капсулу, переходящую по краям в циннову связку. Кривизна хрусталика зависит от взаимодействия сил эластичности самого хрусталика и натяжения капсулы. Так как обычно волокна связки натянуты, то форма хрусталика менее выпуклая, чем свойственно его эластическим элементам (ясно видны далекие предметы).

- Натяжение связки зависит от *цилиарной мышцы*, которая при сокращении ослабляет натяжение связки. В результате под влиянием эластических сил хрусталика кривизна его увеличивается (ясно видны близкие предметы).



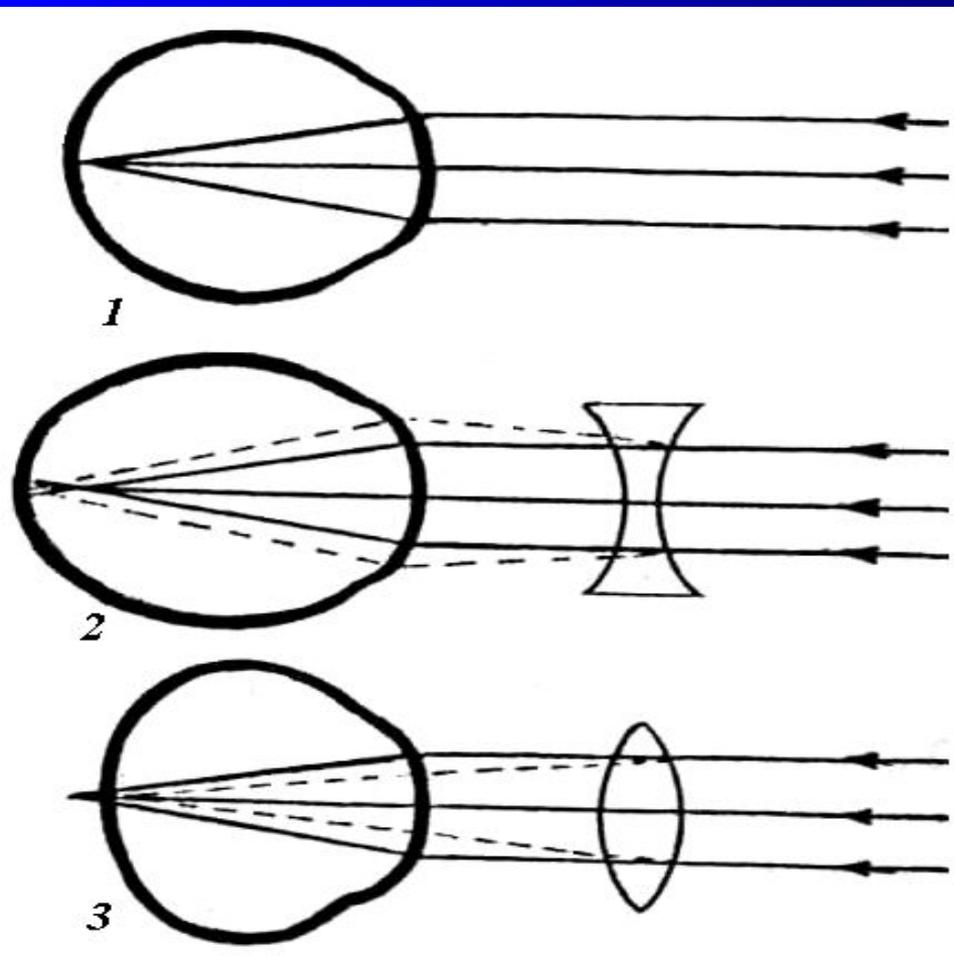
# Регуляция аккомодации

- Цилиарная мышца иннервируется парасимпатическими волокнами глазодвигательного нерва, при возбуждении которых глаз начинает ясно видеть близко расположенные предметы. Если закапать в глаз лекарственные препараты, блокирующие медиаторную передачу сигналов парасимпатического нерва (атропин), то глаз перестает видеть близкие предметы. В связи с тем, что для видения предметов, находящихся недалеко, цилиарная мышца должна сокращаться, то, например, при продолжительном чтении глаза начинают "уставать". При этом для отдыха полезно некоторое время посмотреть вдаль.

# Оптические несовершенства глаза

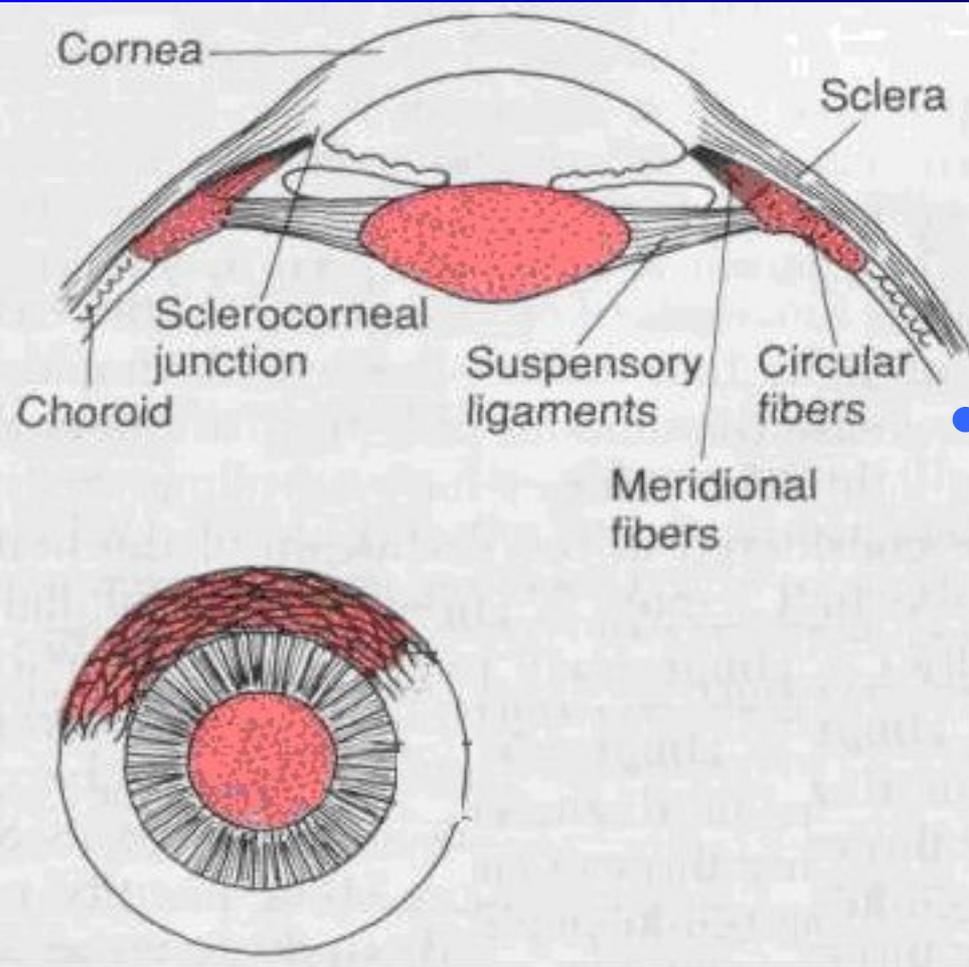
- **Сферическая абберрация:** центр больше преломляет чем периферия (поэтому вечером предметы нечеткие).
- **Хроматическая абберрация:** короткие волны преломляются сильнее, чем длинные. (Художники, изображая человека в красной одежде на синем фоне, выдвигали его вперед.)
- **Астигматизм:** вертикальна и горизонтальные оси роговицы неодинаковые (разница около 0,5 D).

# Несовершенства глазного яблока и патология аккомодации



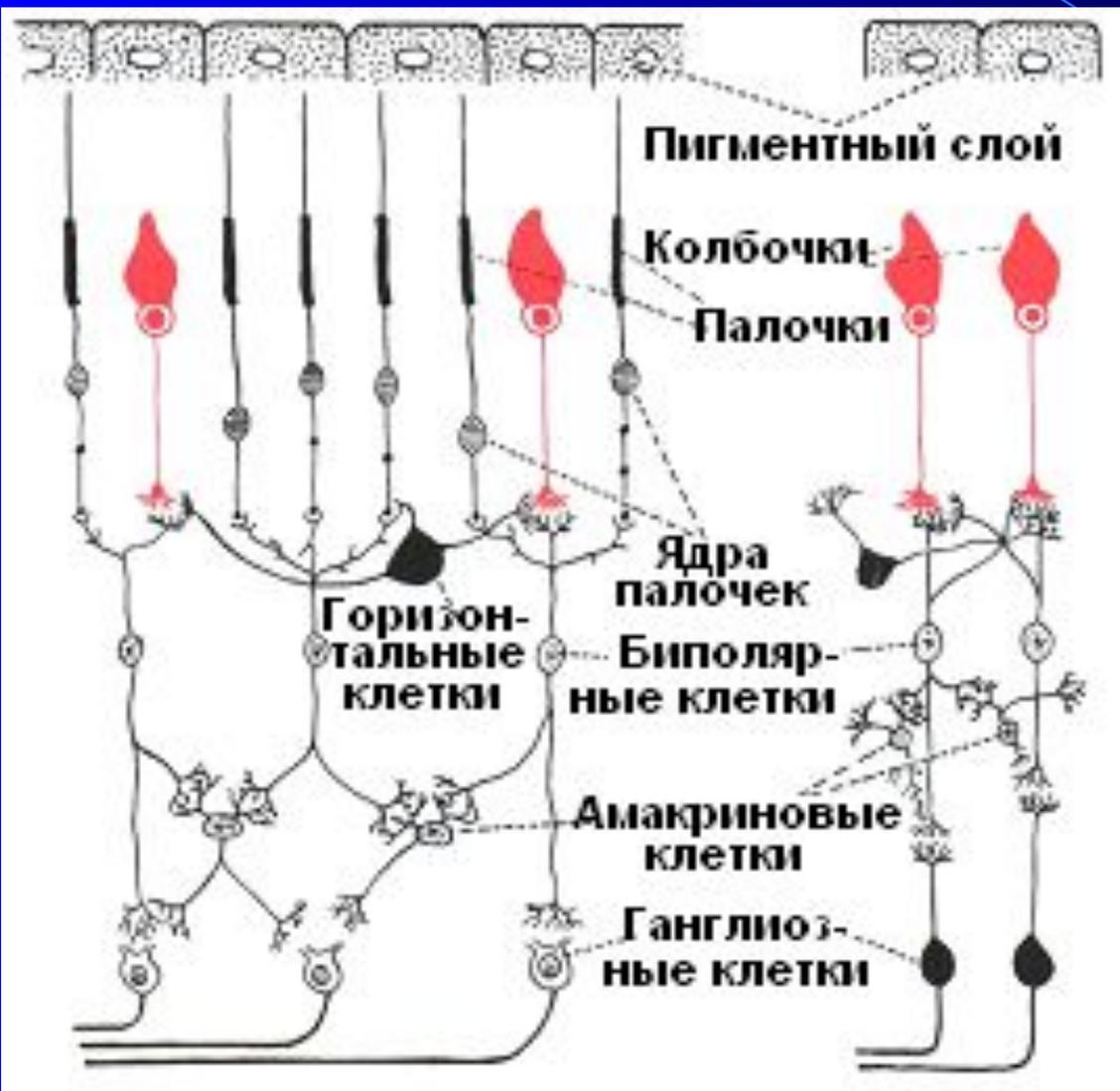
- 1 - норма,
- 2 – миопия (исправляется двояковогнутой линзой),
- 3 – гиперметропия (исправляется двояковыпуклой линзой).
- Старческая дальнозоркость обусловлена утратой эластичности хрусталика.

# Зрачок



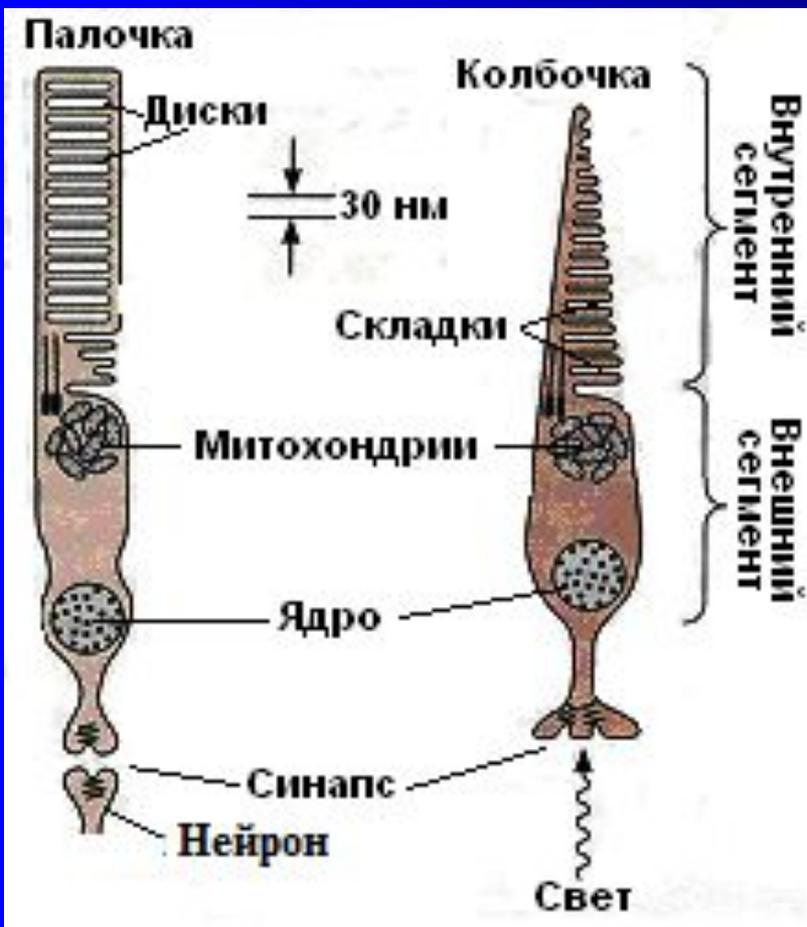
- Зрачок регулирует количество света, поступающего к сетчатке (т.е. участвует в адаптации зрения).
- *Зрачковый рефлекс* регулируется двумя нервами: парасимпатические волокна, вызывают сужение зрачка, а симпатические - расширение.

# Сетчатка



- Схема расположения клеточных элементов сетчатки:
- слева - на периферии,
- справа - в центре.

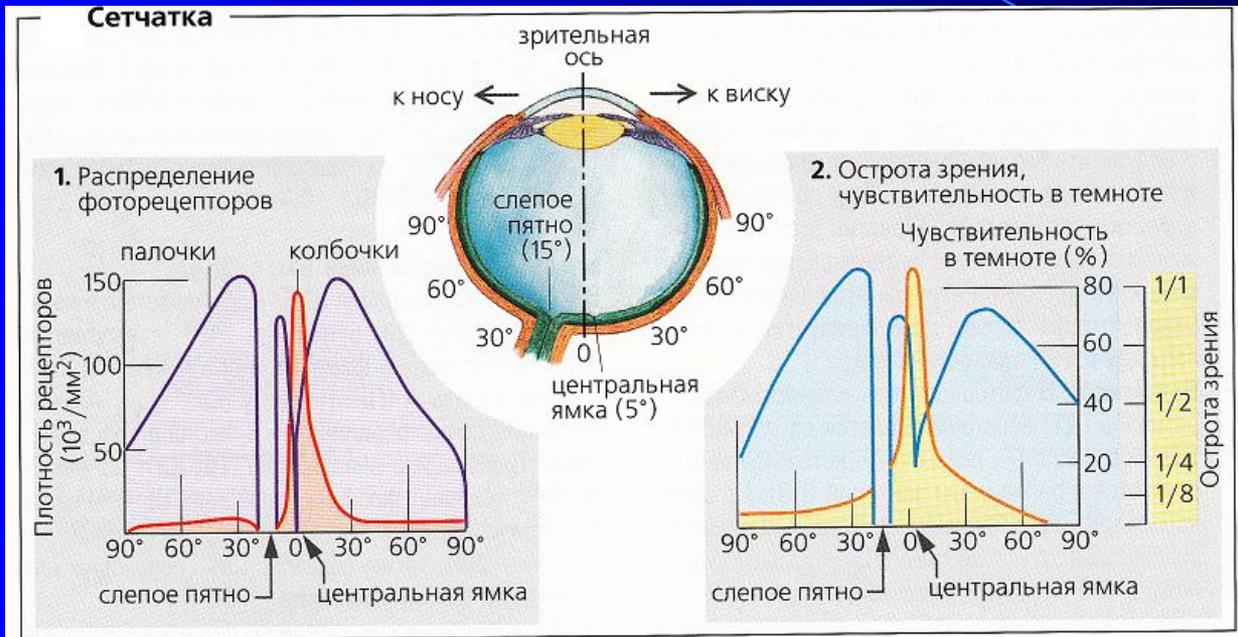
# Схема палочки и колбочки



# Зрительные пигменты

- Светочувствительный сегмент фоторецепторов содержит *зрительные пигменты*, а на противоположном конце их имеется синапс с нейронами сетчатки. Зрительный пигмент палочек – *родопсин* фиксирован на мембране диска, а в колбочках - на их складках.
- Колбочки различаются по наличию трех типов зрительного пигмента: *иодопсина*, *хлоролаба* и *эритролаба*.
- Недавно обнаружены рецепторы, ответственные за освещенность с пигментом – *меланопсином*.

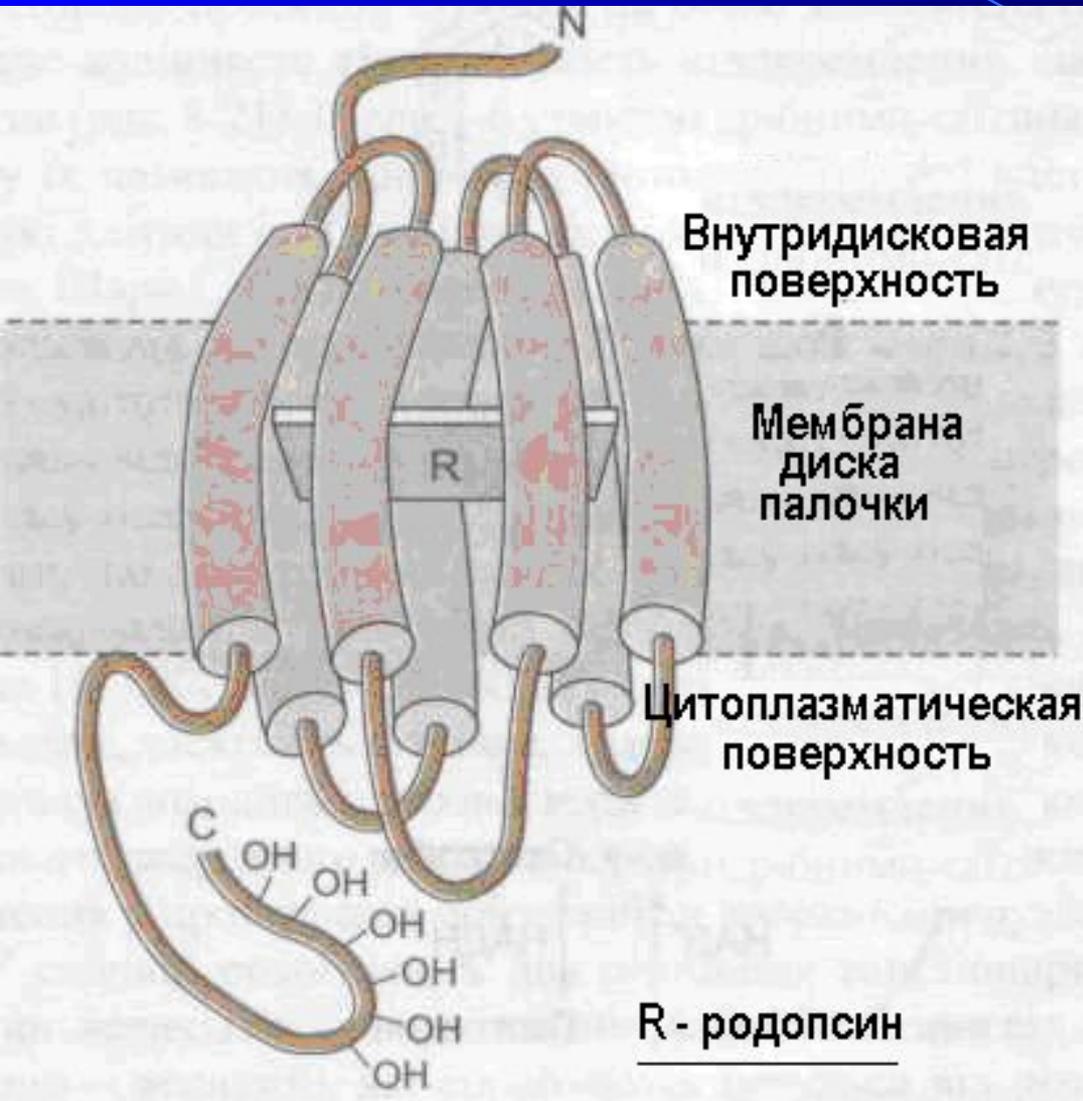
# Плотность размещения палочек и колбочек в различных отделах сетчатки.

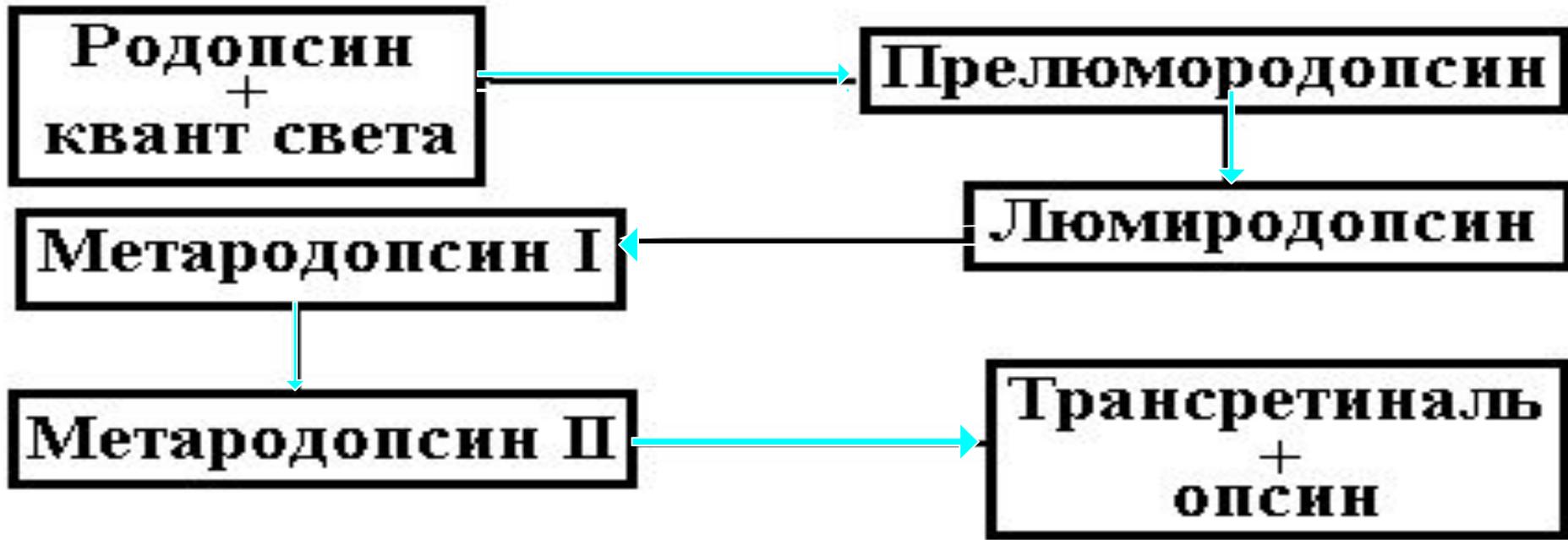


Колбочки располагаются преимущественно в центральной ямке. Плотность палочек максимальна вокруг центральной ямки. Дальше к периферии плотность их уменьшается.

- Кривая остроты зрения (справа) полностью совпадает с плотностью палочек и колбочек на сетчатке (слева).

# Расположение родопсина на мембране палочки





- Превращение молекулы родопсина при поступлении кванта света.
- Трансретиналь восстанавливается до вит. А.
- Поэтому для восприятия следующего кванта света родопсин должен **ВОССТАНОВИТЬСЯ**.

## Витамин А и восстановление родопсина

- При нехватке в пище витамина А родопсин восстанавливается плохо – **ночная слепота**.
- Восстановлению родопсина способствует и следующий – пигментный слой сетчатки.
- Этот же слой способствует поглощению светового потока.

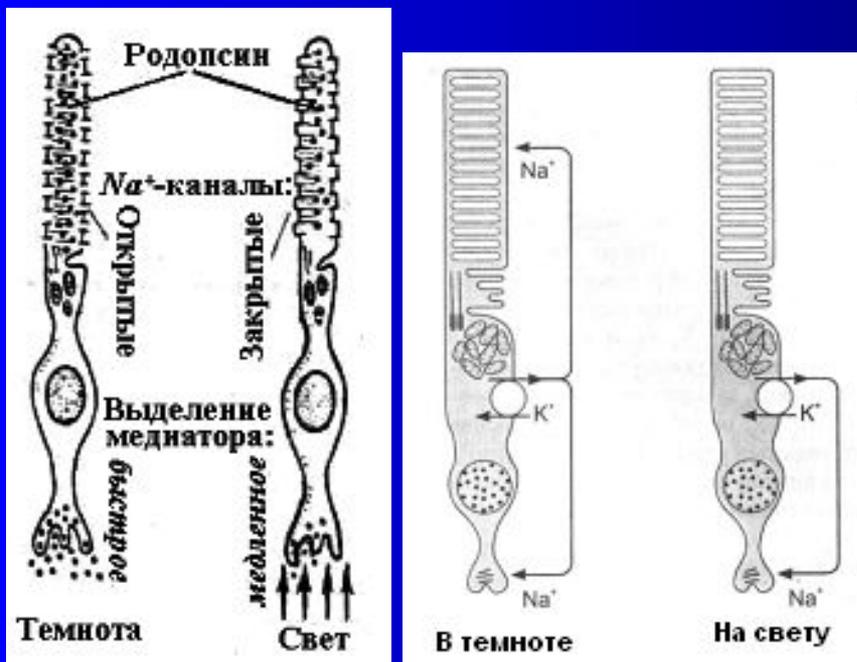
# Медиатор и действие света

- В темноте  $\text{Na}^+$ -каналы открыты (-25 мВ) – деполяризация (РП)

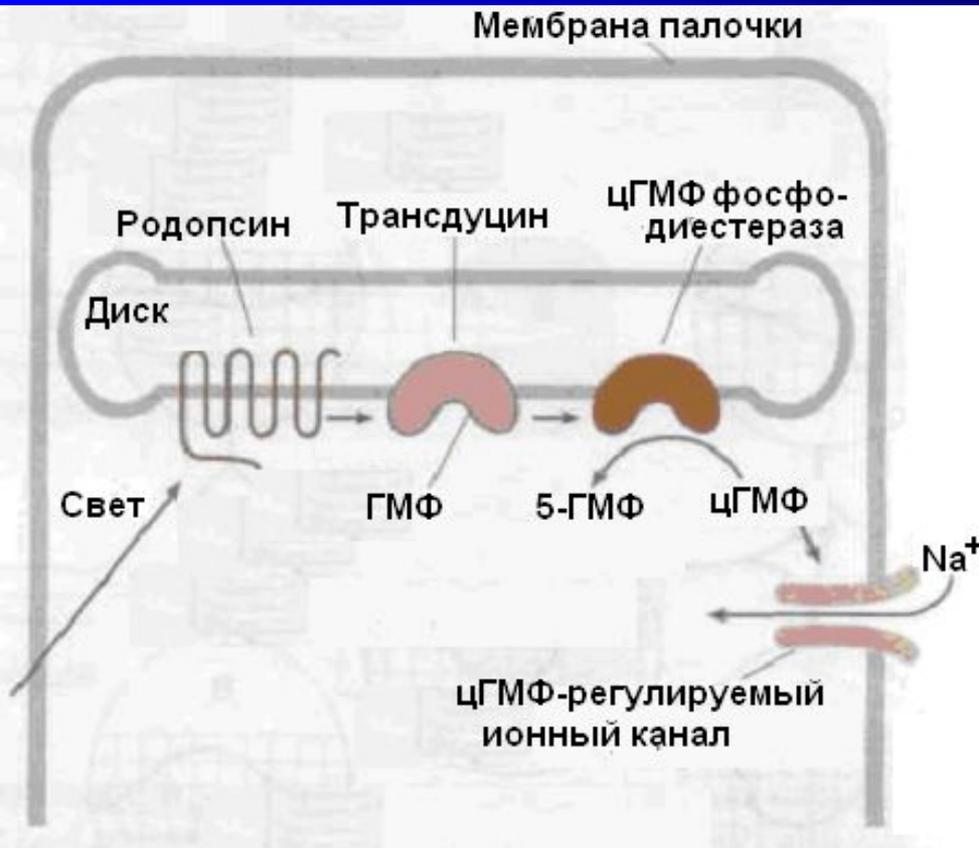
выделение медиатора.

- На свету -  $\text{Na}^+$ -каналы закрываются (-90 мВ) – **ГИПЕРПОЛЯРИЗАЦИЯ** медиатор не выделяется.

- Предполагают, что медиатором является **глутамат.**



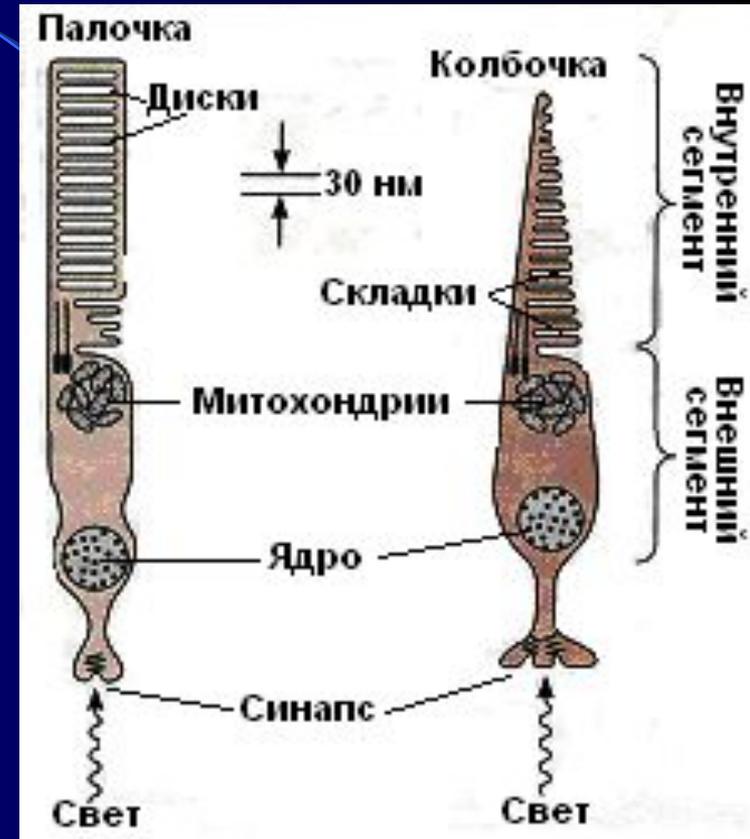
# Включение вторых посредников



- При изменении зрительного пигмента запускаются вторые посредники (цГМФ), которые и регулируют проницаемость мембраны к ионам.

## Различие адаптации палочек и колбочек

- Рецепторный потенциал в палочках развивается медленнее, чем в колбочках. Обусловлено это вероятно тем, что в палочках вторые посредники должны пройти большее расстояние до ближайшего натриевого канала, чем в колбочках. Поэтому при изменении освещенности палочковая система при переходе из освещенного помещения в темное адаптируется медленнее.

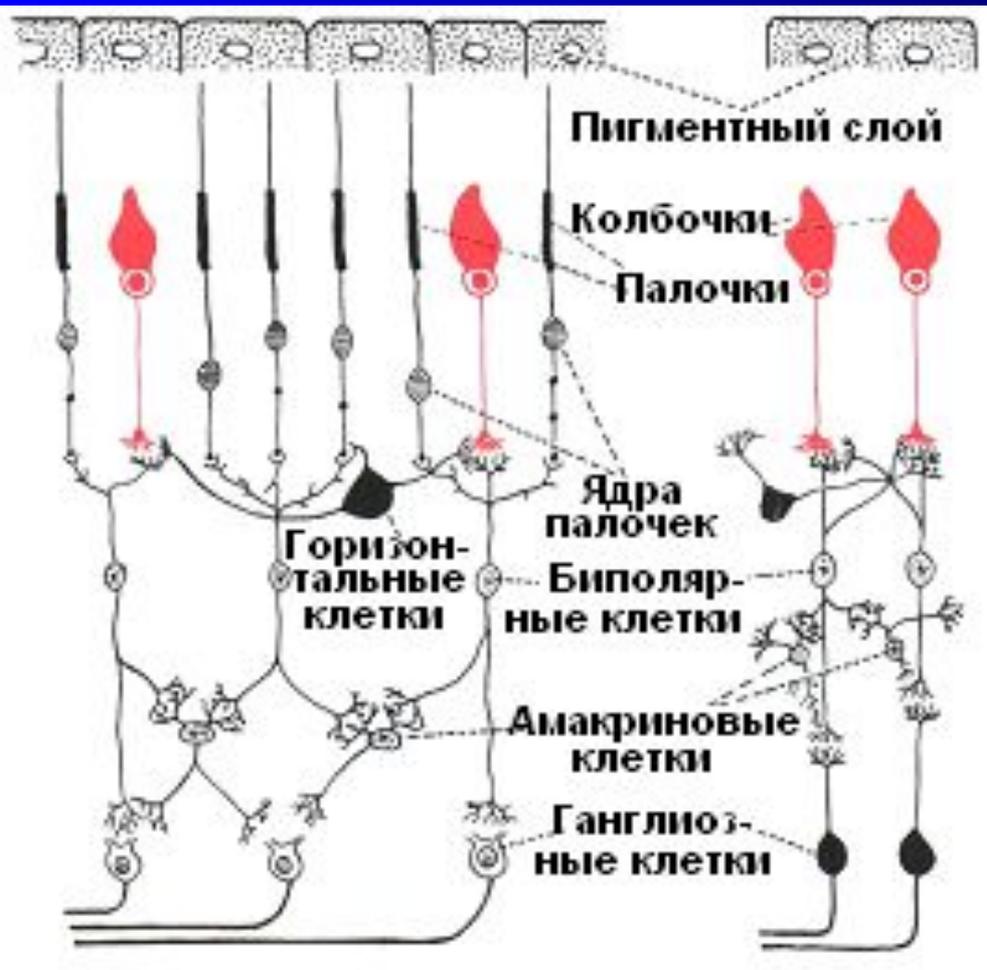


- Но основное значение в адаптации принадлежит изменению количества зрительных пигментов:

 на свету они разрушаются, а в темноте ресинтезируются.

Наш глаз быстрее адаптируется к свету, чем к темноте. Наибольшая восприимчивость палочек (они в 100 раз чувствительные к кванту света, чем колбочки) наблюдается после 30 мин пребывания в абсолютной темноте.

# Нейроны сетчатки – первый нервный центр



В нейронах сетчатки при передаче сигналов широко происходят процессы схождения и расхождения возбуждения (дивергенции и конвергенции). В регуляции этих процессов участвуют горизонтальные и амакриновые клетки.

Биполярные клетки объединяют несколько фоторецепторов, а каждая ганглиозная клетка на входе получает импульсы от нескольких биполярных клеток.

# Медиаторы нейронов

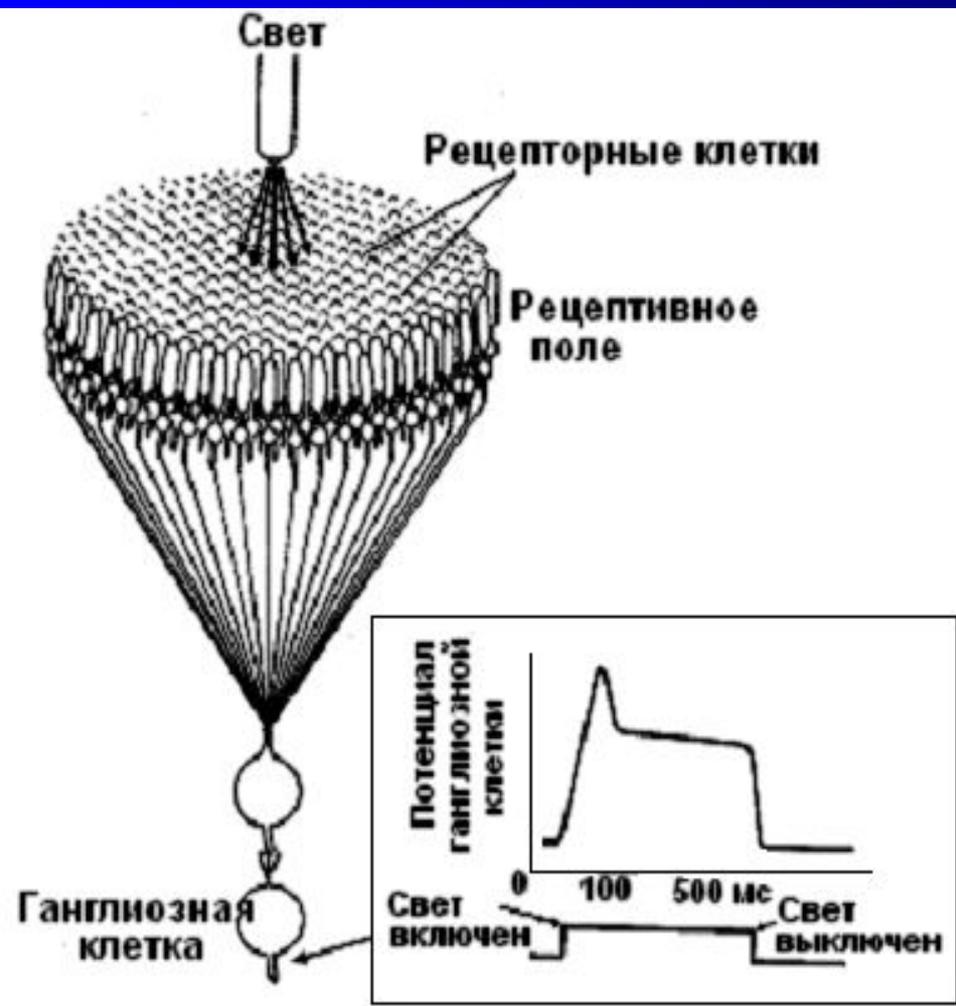
Медиаторы фоторецепторов и большинства нейронов сетчатки (**глутамат**) оказывают тормозное влияние на постсинаптическую мембрану, вызывая ее гиперполяризацию. Часть нейронов сетчатки обладает **пейсмекерными свойствами** (спонтанно возникает РП). В этих клетках **выделение медиатора происходит путем местного потенциала (РП)**. Но, если подействовал тормозной медиатор, то РП не возникает. **Потенциал действия (ПД) появляется лишь в ганглиозных клетках.**

Ганглиозные клетки, которые являются началом зрительного тракта, при поступлении кванта света на фоторецептор могут либо передавать ПД, либо быть заторможенными. Это зависит от особенностей медиаторов во всех остальных нейронах: биполярных, горизонтальных и амакриновых.

# Биполярные клетки

- В сетчатке имеется два типа биполярных клеток – *деполяризирующиеся* и *гиперполяризирующиеся*. Эти клетки обладают спонтанной пейсмекерной активностью.
- В *деполяризирующихся клетках* в темноте под влиянием выделяющегося из рецепторной клетки тормозного медиатора спонтанная деполяризация угнетается. Напротив, при поглощении рецепторной клеткой кванта света, когда выделение медиатора прекращается, данная биполярная клетка деполяризуется. В результате этого сама биполярная клетка выделяет медиатор в синапсе с ганглиозной клеткой.
- В отличие от нее *гиперполяризирующиеся* биполярные клетки на свету угнетены.
- Таким образом, при действии света биполярные клетки в зависимости от типа могут возбуждать или тормозить ганглиозные клетки.

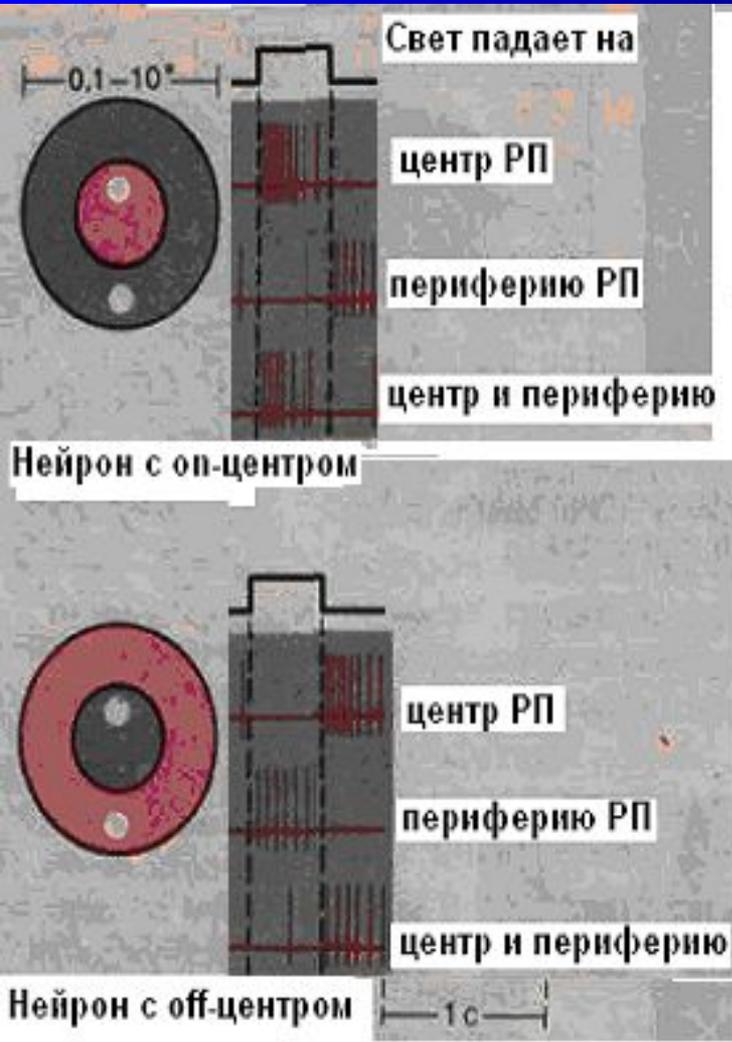
# Ганглиозные поля сетчатки



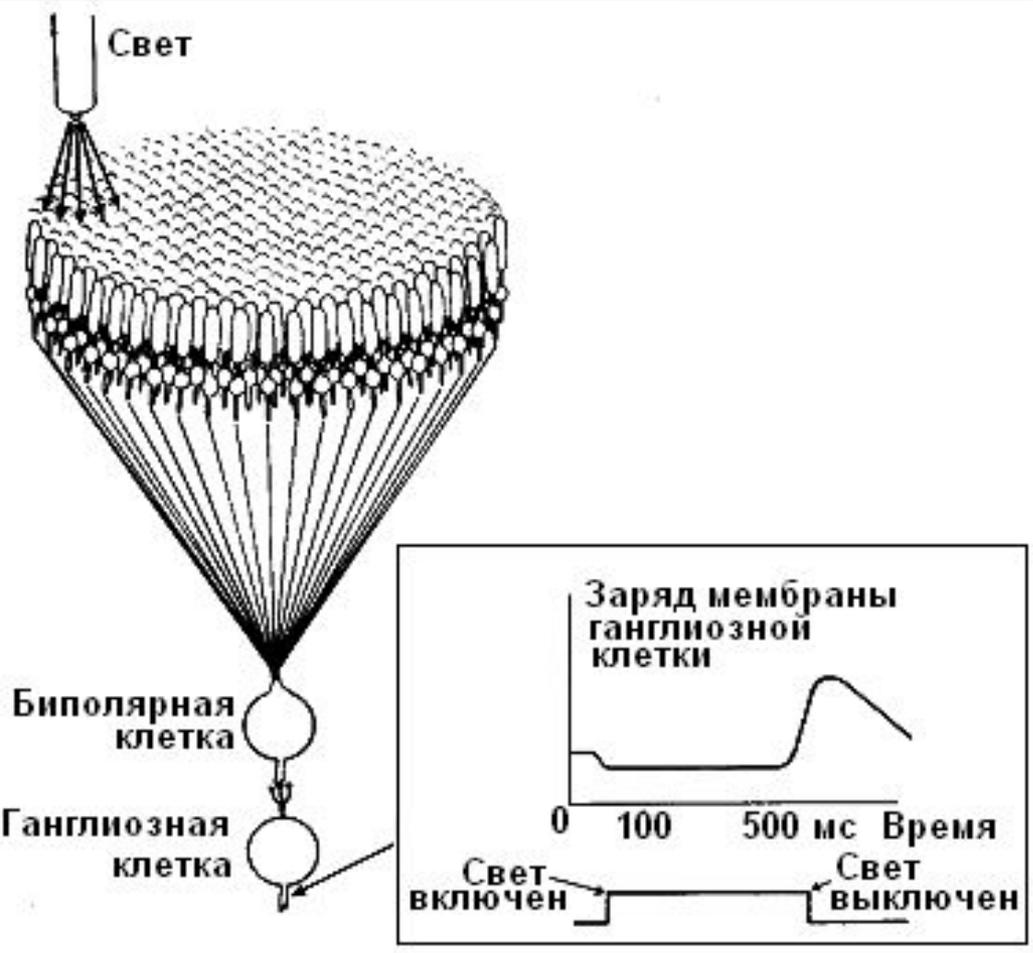
- Ганглиозная клетка связана с многими рецепторными клетками сетчатки – это ее рецептивное поле (оно круглое).
- Большое значение при его создании принадлежит горизонтальным и амакриновым клеткам,

# Ганглиозные поля палочек

- Рецептивные поля ганглиозных нейронов организованы с **антагонистической характеристикой центра и периферии**. Если свет поступает в центр, то конечный ответ ганглиозной клетки один, а на периферию - другой. В сетчатке обнаружено несколько разновидностей рецептивных полей, а физиологическое назначение их заключается в формировании остроты зрения – возможности различать отдельные точки.

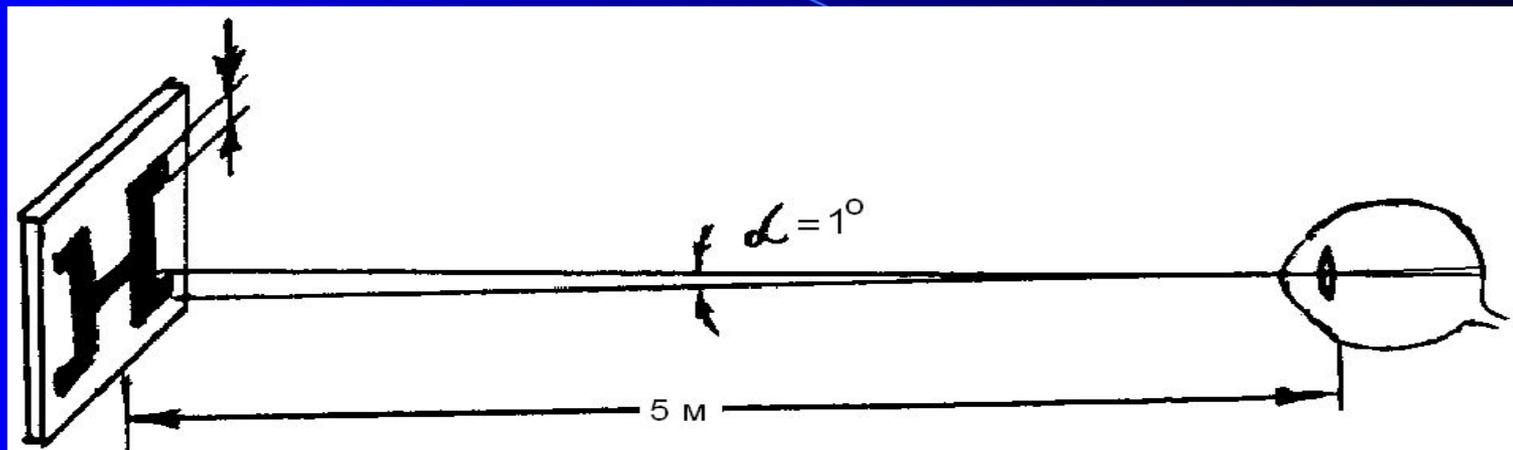


# Ганглиозная клетка с оп-центром



- ПД в ганглиозной клетке при освещении периферии не появляется.
- Это РП с **оп-центром**.
- А при освещении центра ПД появляется.

## Схема исследования остроты зрения

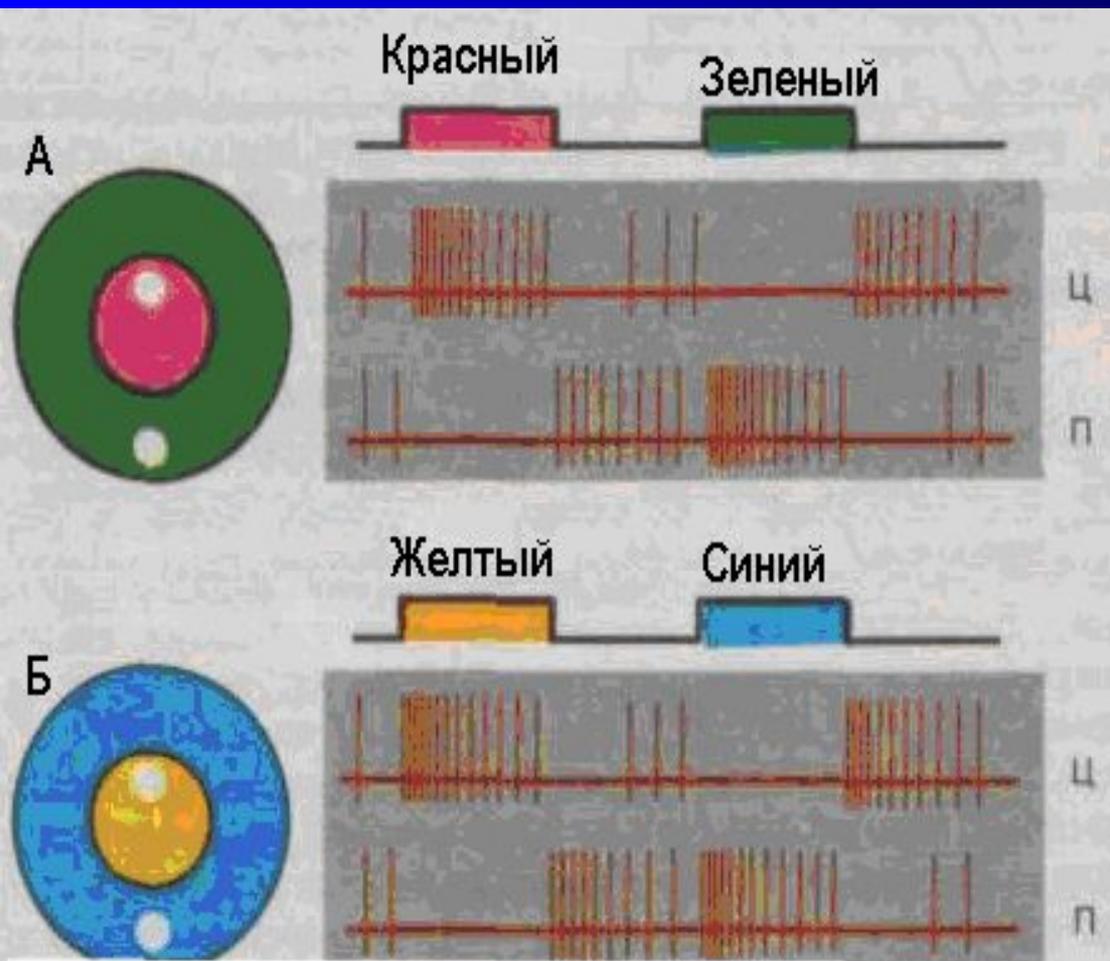


- Ганглиозные поля обеспечивают возможность видеть отдельные детали предмета – ОСТРОТУ ЗРЕНИЯ, так как между рецепторными клетками, к примеру, в центре - лежит периферия.
- Глаз маленьких детей более круглый, поэтому они дальнозоркие.

Переднезадние размеры глазного яблока «нормализуются» к 8-12 годам. Поэтому:

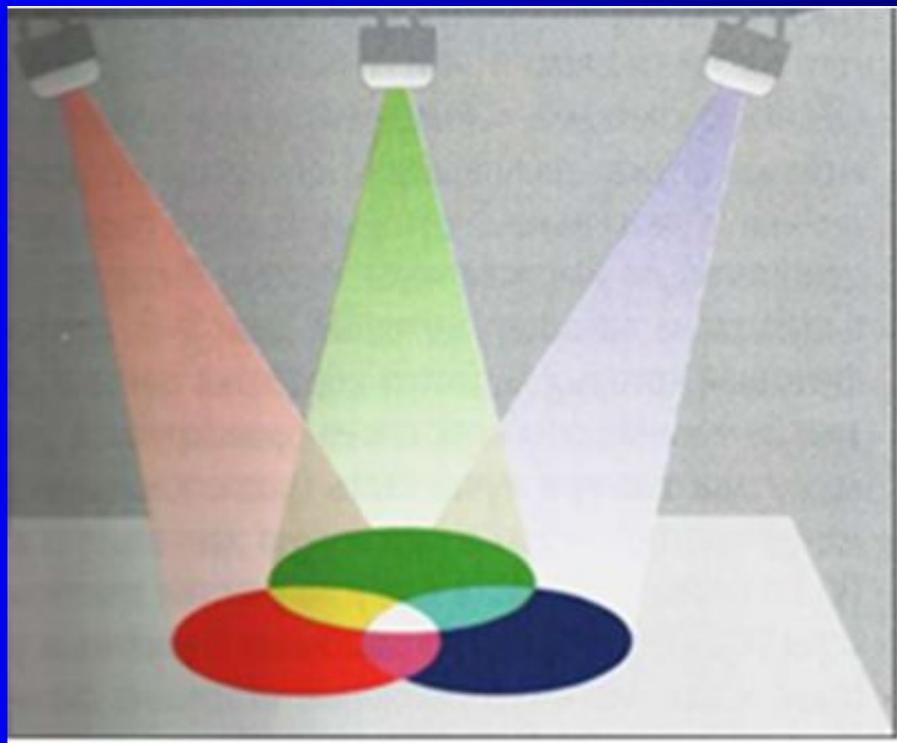
- У новорожденных острота зрения низкая (ниже 0,02 Д.)
- У годовалых детей : 0,3-0,6; в 3 года: 0,6-1,0; в 5 лет: 0,8-1,0
- К 15 годам острота зрения приближается к 1,0

# Ганглиозные поля колбочкового аппарата



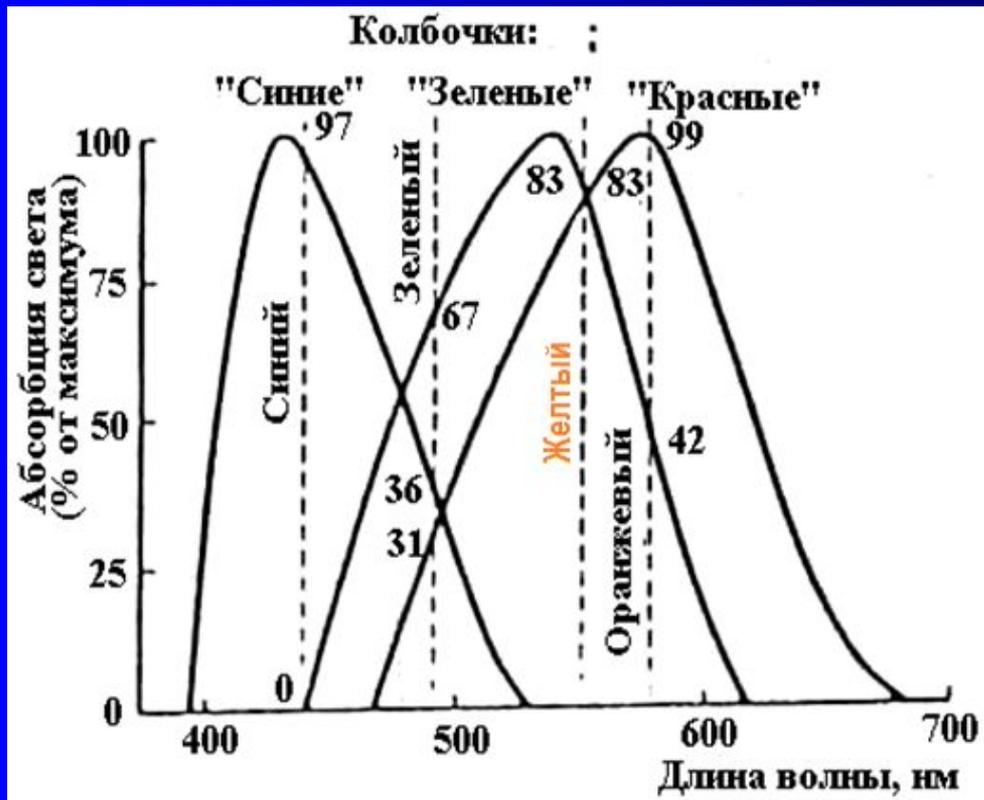
- В основе формирования пар колбочек лежат 4 основных цвета:
- красный-зеленый,
- желтый-синий.
- Имеется 4 типа ГП:
- центр К, а периф. З;
- центр З, а периф. К;
- центр Ж, а периф. С;
- центр С, а периф. Ж.

# Аддитивное смешение трех основных цветов



- Откуда же взялся желтый цвет?
- Четвертый (**желтый**) цвет появляется при смешении цветов (при смешении красного и зеленого), так же как и белый (при смешении всех трех основных цветов).

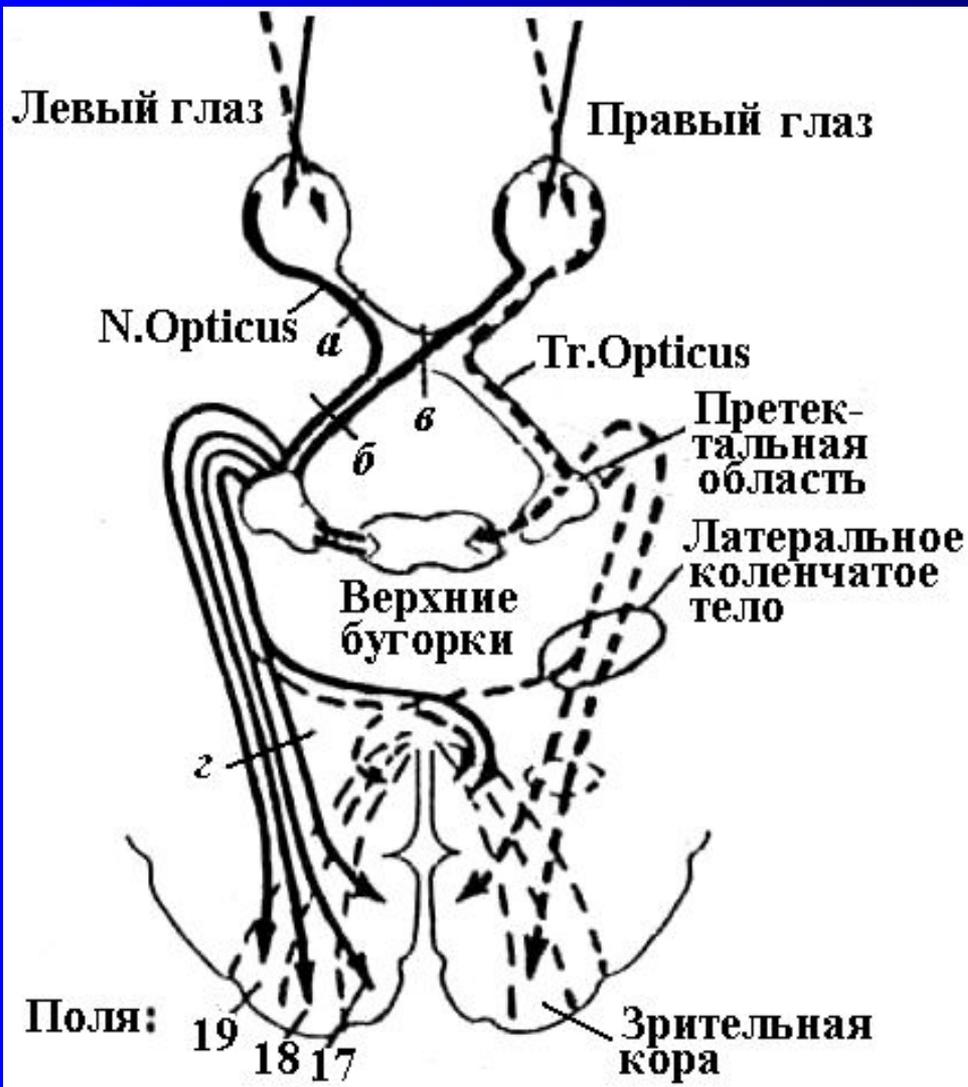
# Состояние спектральной чувствительности трех типов колбочек в зависимости от длины волны



Максимумы чувствительности при:

- Родопсин - 505 нм
- Гол.- 445 нм
- Зел.- 535 нм
- Крас.- 570 нм
- Так как желтого типа колбочек нет, то он появляется при действии волны 550 нм на зеленые и красные колбочки.

# Зрительный тракт

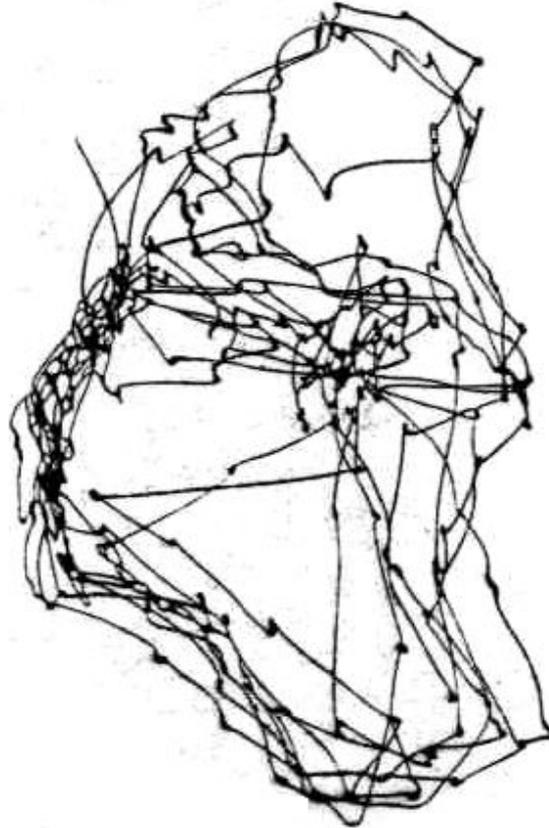


- На уровне нейронов подкорковых ядер также можно обнаружить наличие *рецептивных полей*, обеспечивающих их связь с конкретными рецепторами сетчатки.
- В этих ядрах происходит широкое взаимодействие зрительных нейронов с близлежащими структурами ЦНС.

# Верхние бугры четверохолмия

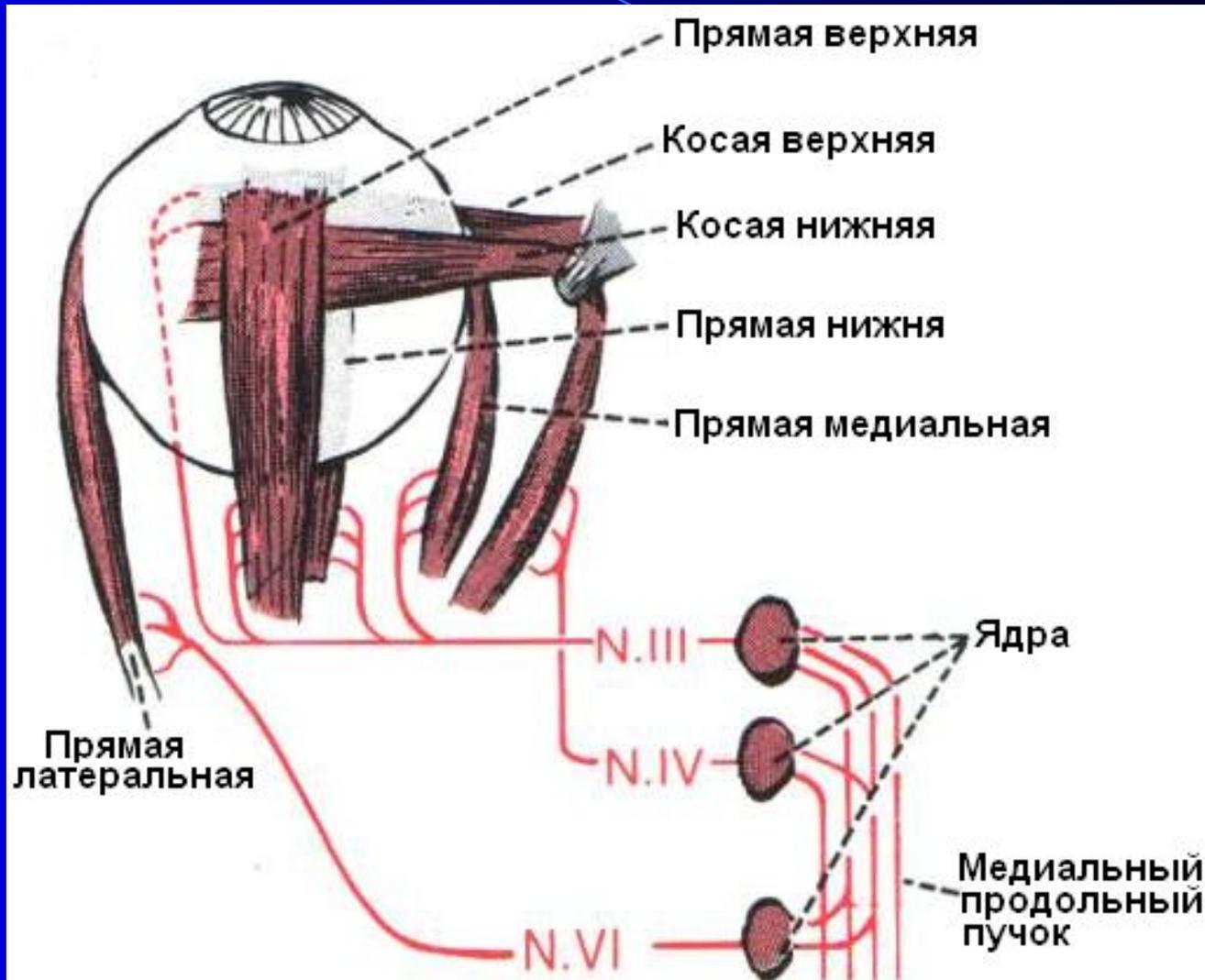
- Импульсы, поступающие в верхние бугорки чрезвычайно важны для определения движущегося объекта и регуляции движения глаз. Нейроны здесь отвечают появлением ПД преимущественно на **движущийся стимул**. При этом некоторые нейроны реагируют на движение зрительного стимула через рецепторное поле лишь в строго определенном направлении, у других - заданность направления менее выражена.
- *Верхние бугры четверохолмия являются первичными центрами интегрирования сенсорной информации, используемой для **пространственной ориентации**.*

# Запись движения глаз при рассматривании неподвижного предмета в течение 2-х минут

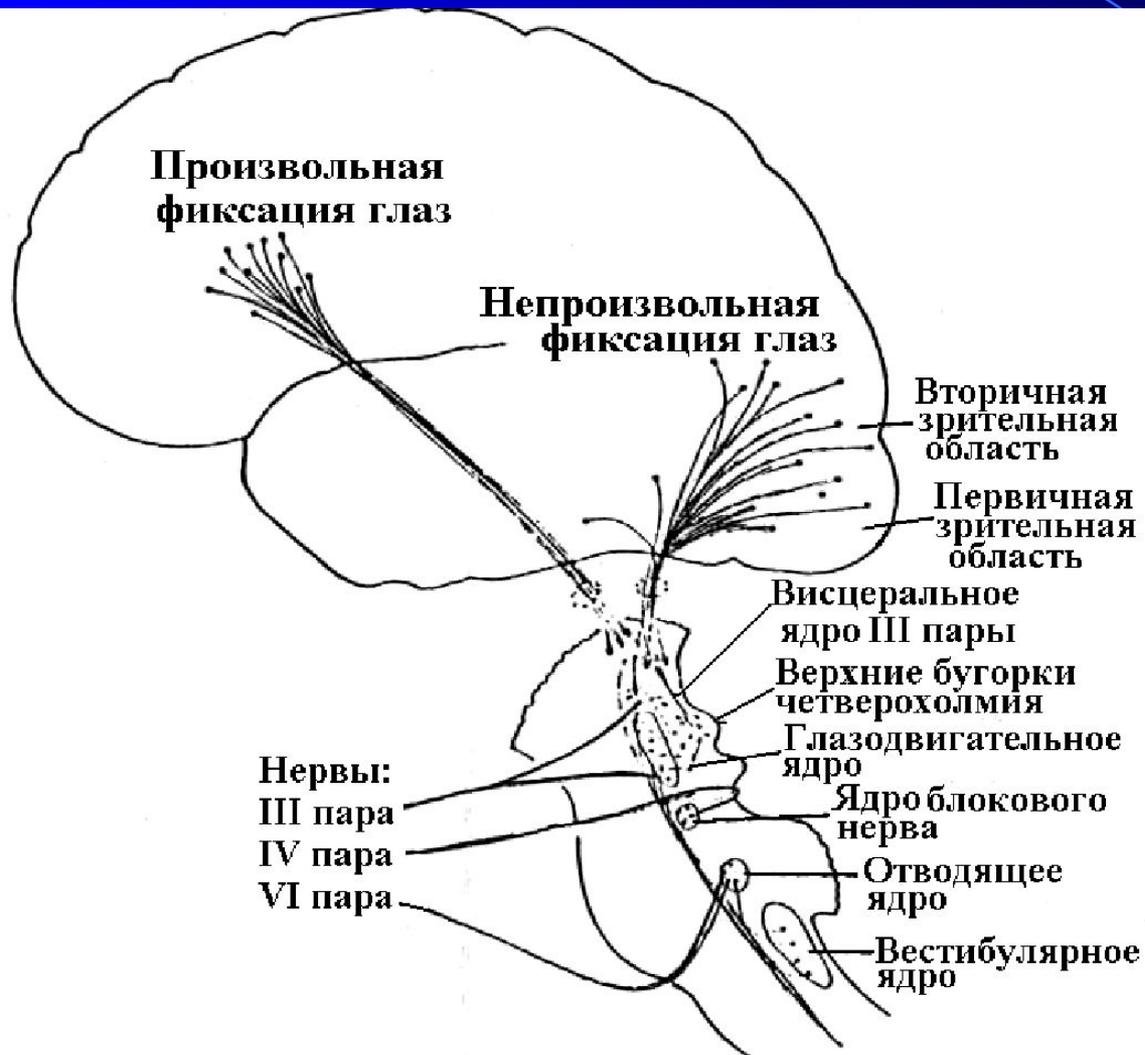


- Так как зрительный пигмент каждые раз разрушается, то глаза должны
- двигаться для перевода лучей на новые рецепторные клетки.

# Мышцы, осуществляющие движения глаз



## Схема путей, управляющих движениями глаз

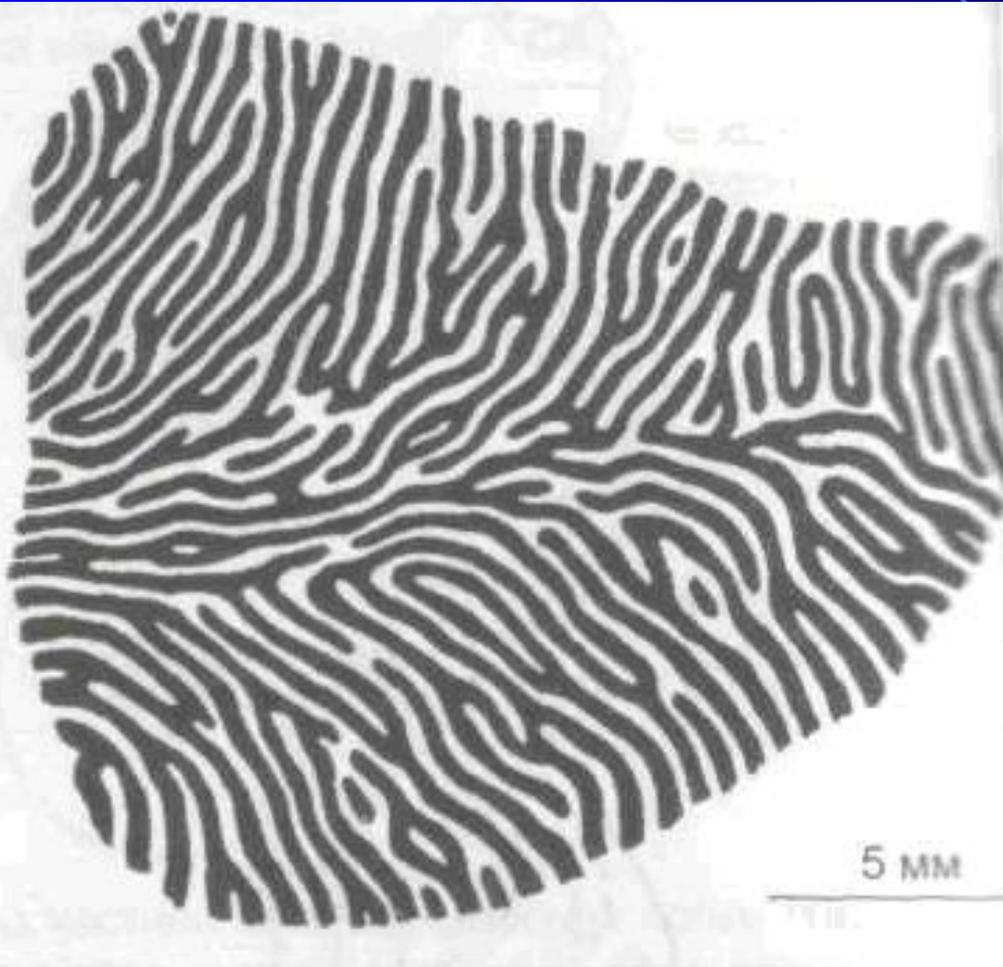


- Для сознательных движений глаза центры находятся в лобной доле коры .
- Непроизвольные движения осуществляются центрами, находящимися в затылочной доле коры .

## Латеральное коленчатое тело

- В латеральном коленчатом теле три слоя нейронов связаны с сетчаткой этой же стороны, а три другие - с контрлатеральным глазом. Многие нейроны здесь сгруппированы так же, как и в сетчатке, в виде концентрических РП.
- Можно выделить два класса нейронов: отвечающие на контраст и отвечающие на свет и темноту. В обеих группах нейронов есть РП с on- и off-центрами.
- Некоторые нейроны имеют *цветоспецифические РП*.
- Система нейронов сетчатки и латерального коленчатого тела выполняет анализ зрительных стимулов, оценивая их цветовые характеристики, пространственный контраст и среднюю освещенность различных участков поля зрения.

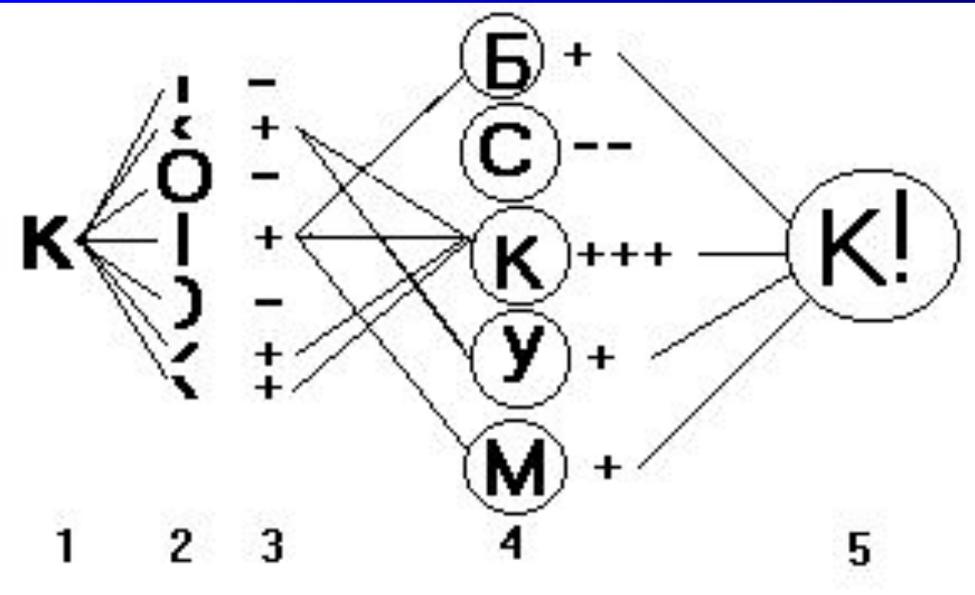
# Расположение нейронов в коре от двух глаз



Расположение нейронов в зрительной коре:  
темным цветом - один глаз, светлым - другой.

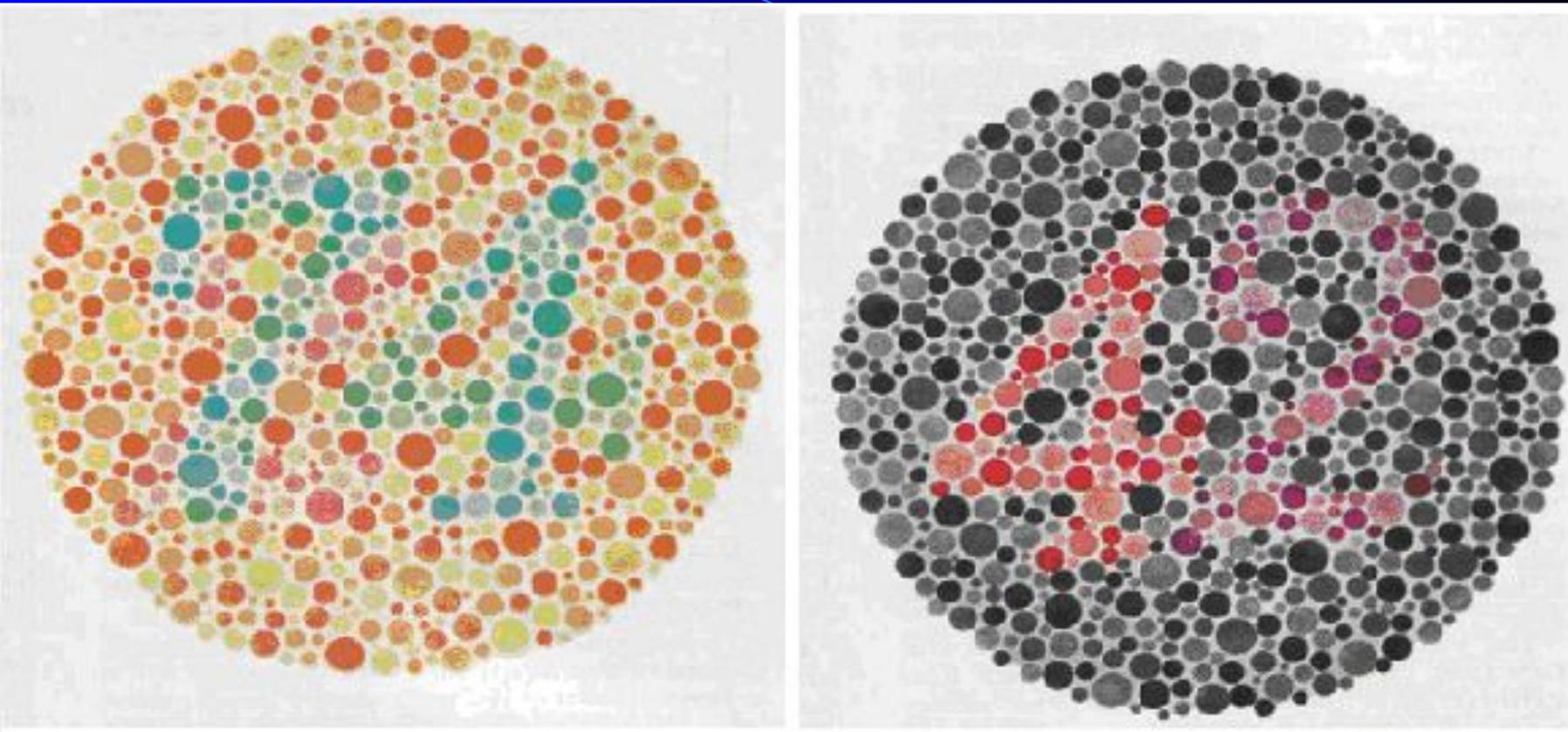
- К затылочным полям коры импульсы поступают от обеих глаз (рис.)
- Кора обеспечивает **опознание объекта.**
- И этот механизм формируется в постнатальном онтогенеза путем обучения.

## Схема опознания образа с помощью различного типа нейронов (1-3)



- 1 – образ,
- 2 – врожденные характеристики ганглиозных полей,
- 3 – состояние нейронов: возбужденные (+) и интактные (-),
- 4 – детекторы возможных образов,
- 5 - *детектор осознания образа.*

# Исследование цветового зрения



- Дети начинают выбирать игрушки по цвету лишь в 5-6 месяцев .
- В 2,5-3,0 дети только правильно начинают различать цвета.
- Для хорошего различения цвета необходим не только колбочковый аппарат, но и формирующиеся центральные структуры, обеспечивающие осознание ощущений.