

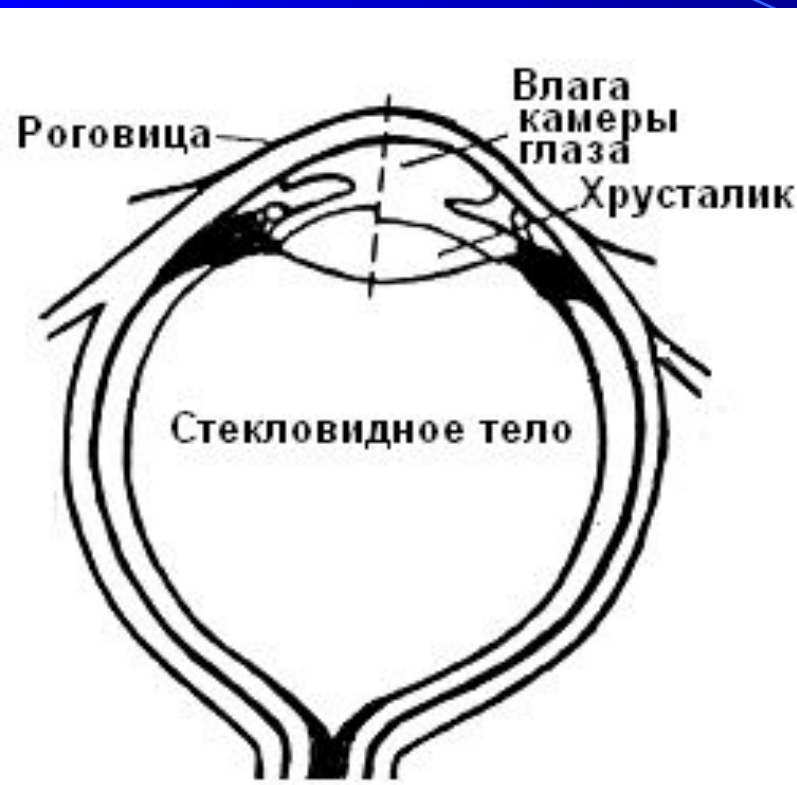
Зрение

С помощью зрения человек получает до 90% информации из внешнего мира!

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

Оптические и жидкостные среды

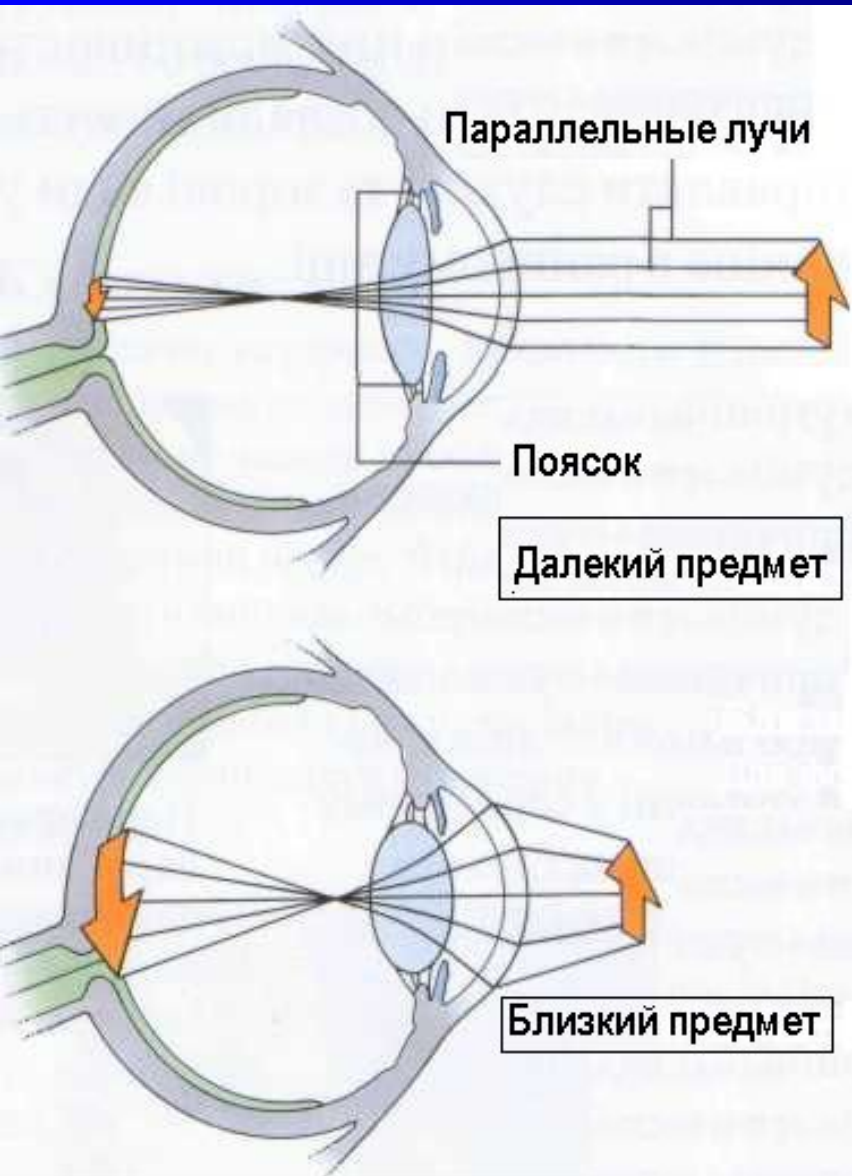
глаза



Прежде чем световая волна достигнет рецепторных клеток, 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.

Суммарная преломляющая сила глаза молодого человека составляет 59 D при рассматривании далеких предметов и $70,5\text{ D}$ - при рассматривании находящихся вблизи.

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.

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.
- Отсюда становится понятным, почему одновременно нельзя ясно видеть далекие и близкие предметы.

Оптические несовершенства глаза

- Сферическая аберрация: центр больше преломляет чем периферия (вечером предметы нечеткие).
- Хроматическая аберрация: 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 $0,5 D$).

Механизм аккомодации:



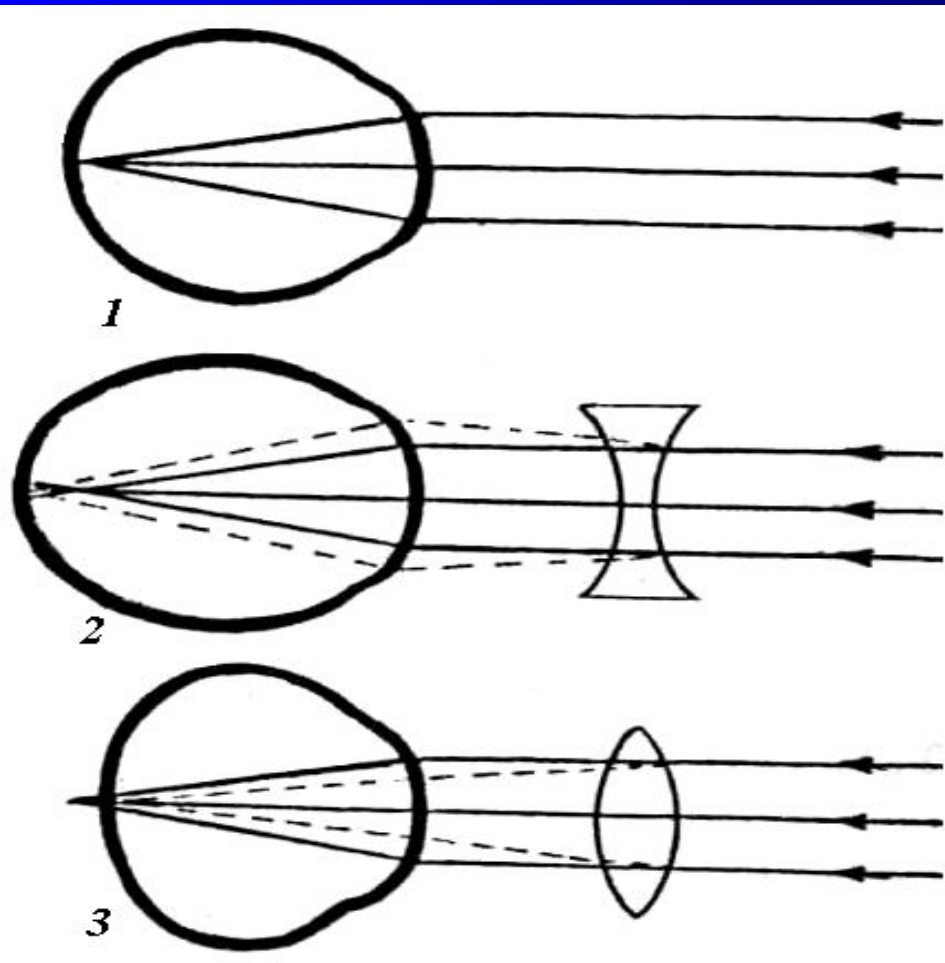
Аккомодация обеспечивается хрусталиком, кривизна которого может меняться (рис.) в диапазоне от 15 D до 29 D. Хрусталик заключен в тонкую капсулу, переходящую по краям в циннову связку. Кривизна хрусталика зависит от взаимодействия сил эластичности самого хрусталика и натяжения капсулы. Так как обычно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

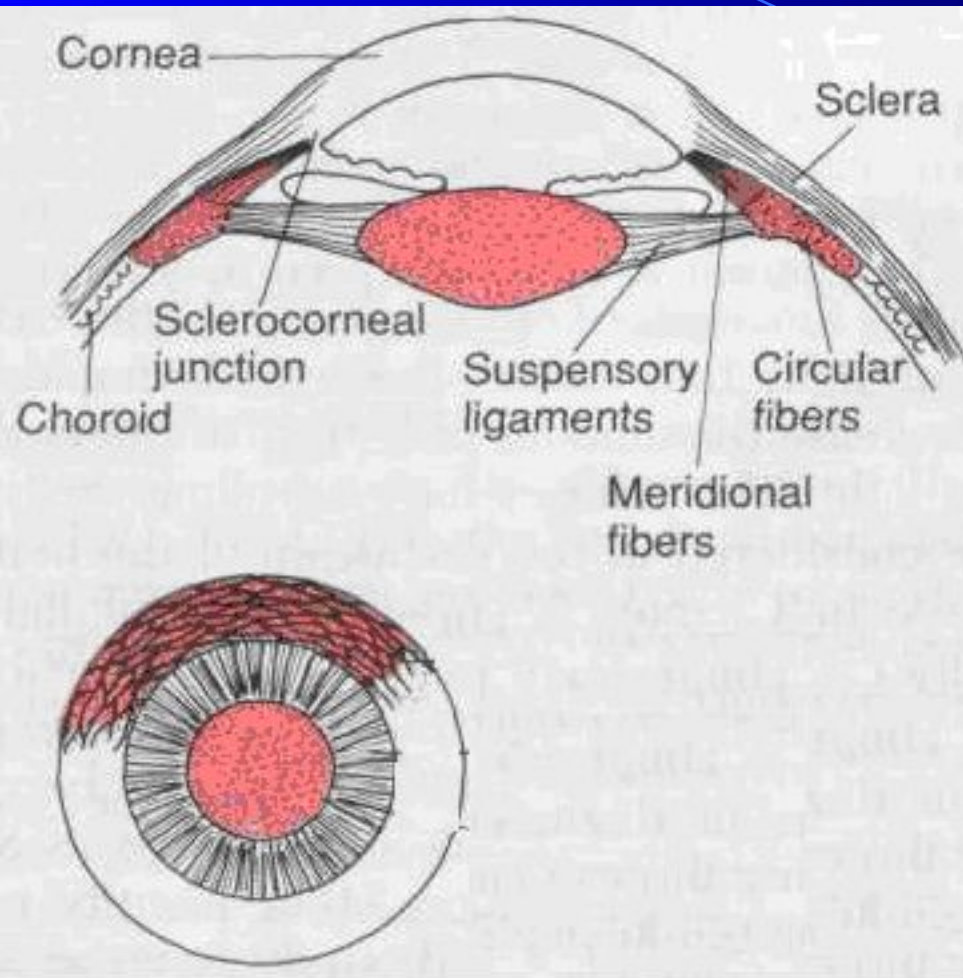
Несовершенство глазного яблока и патология аккомодации



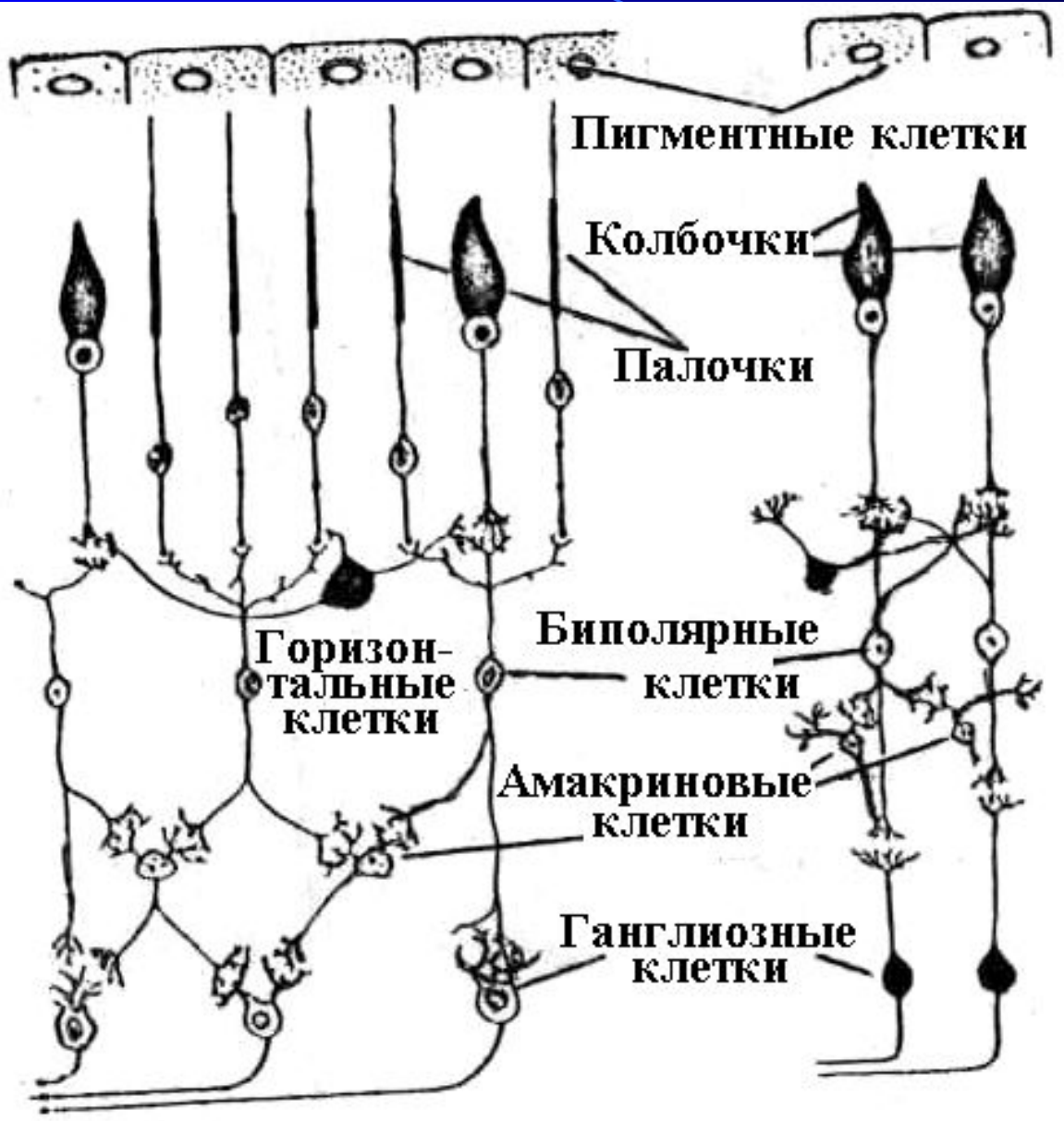
- 1 - норма,
- 2 – миопия (исправляется двояковогнутой линзой),
- 3 – гиперметропия (исправляется двояковыпуклой линзой).
- Старческая дальнозоркость обусловлена утратой эластичности хрусталика.

Зрачок

- Зрачок регулирует количество света, поступающего к сетчатке (адаптация).
- *Зрачковый рефлекс* регулируется двумя нервами:
парасимпатические волокна, вызывают сужение зрачка, а симпатические - расширение.

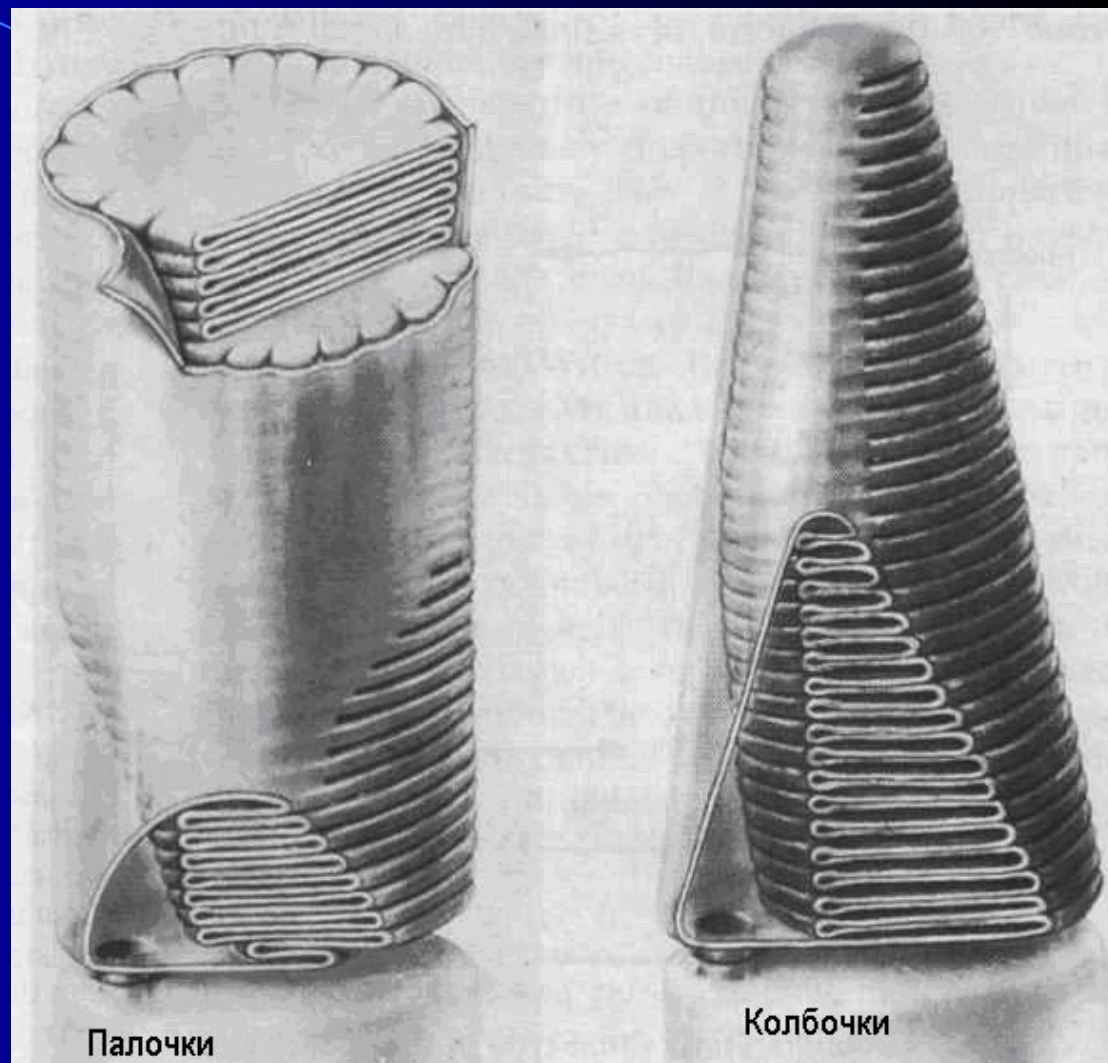


Сетчатка



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

Схема палочки и колбочки



Зрительные пигменты

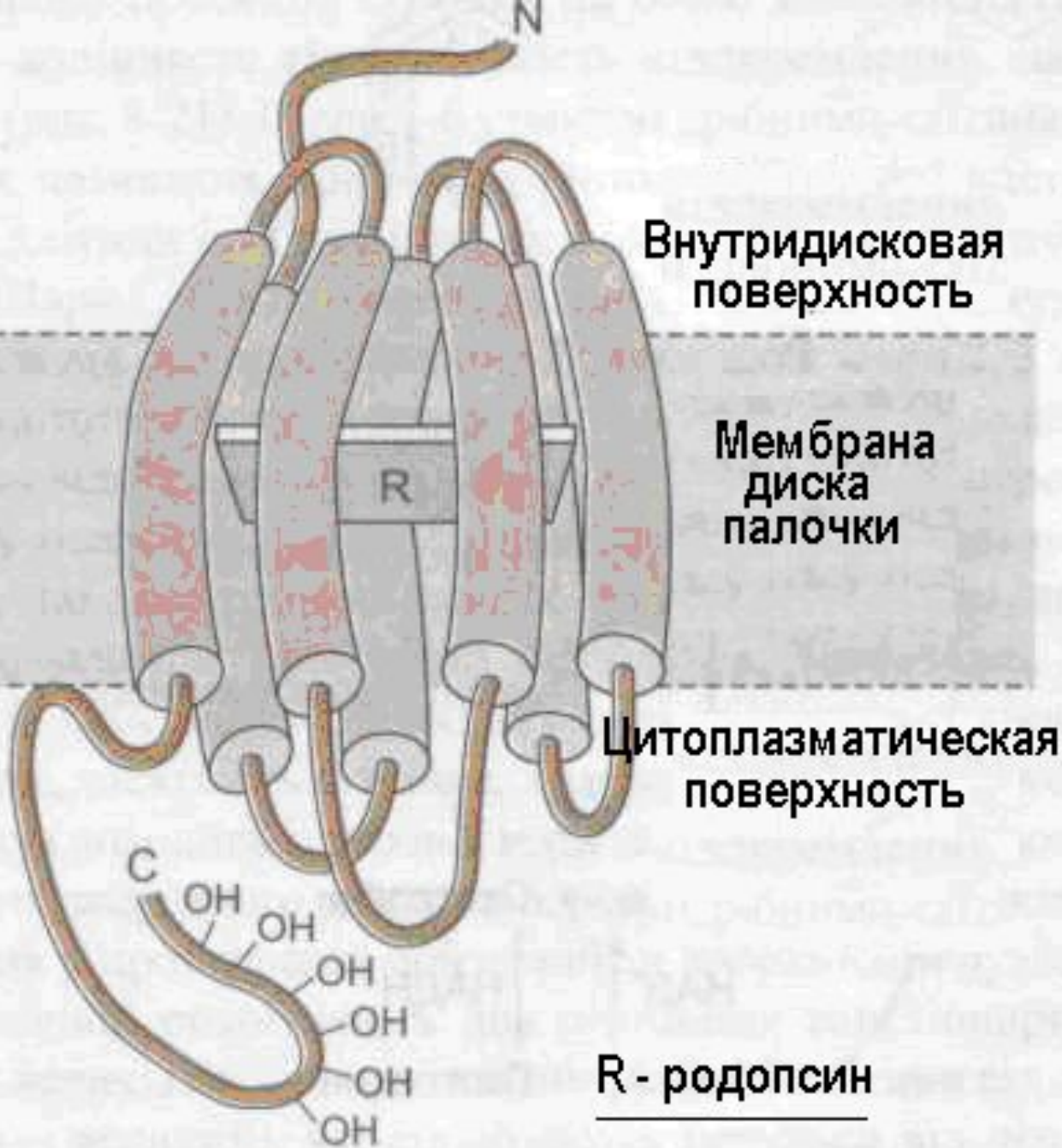
- Светочувствительный сегмент фоторецепторов содержит *зрительные пигменты*, а на противоположном конце их имеется синапс. Зрительный пигмент палочек – *родопсин* фиксирован на мембране диска, а в колбочках – на их складках.
- Колбочки различаются по наличию трех типов зрительного пигмента: *иодопсина, хлоролаба и эритролаба*.

Плотность размещения палочек и колбочек в различных отделах сетчатки.

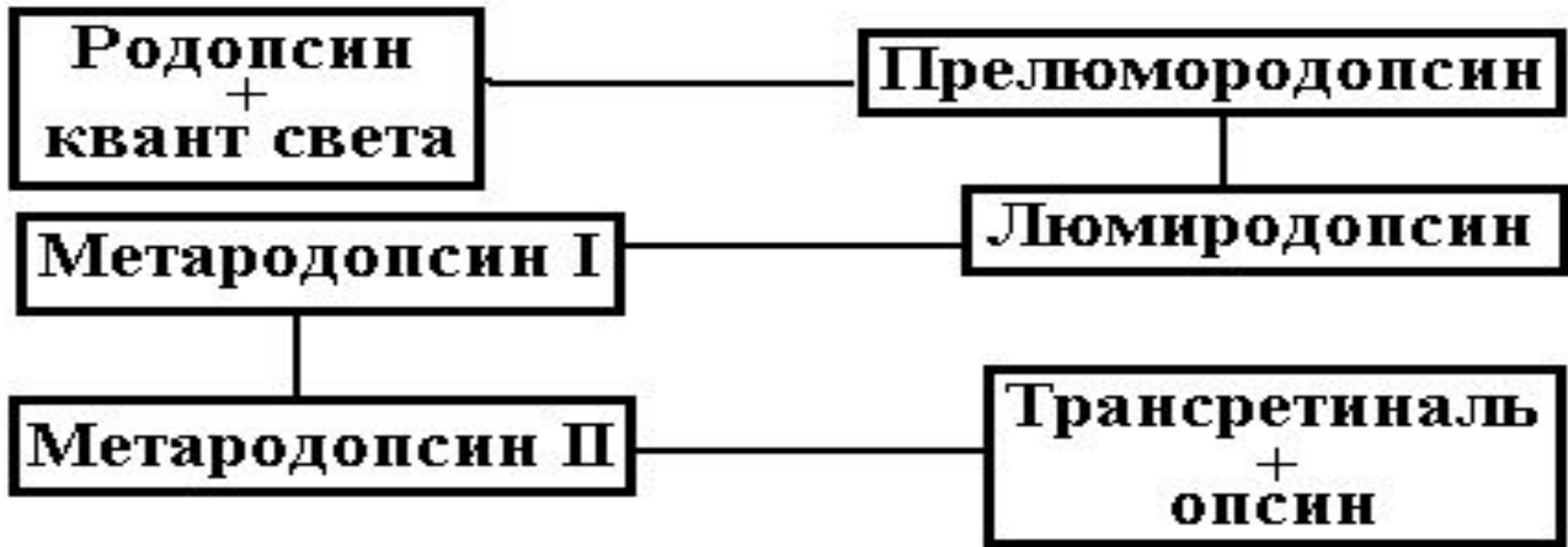


- Колбочки располагаются преимущественно в центральной ямке.
- Плотность палочек максимальна вокруг центральной ямки.
- Дальше к периферии плотность их уменьшается.

Расположе-
ние
родопсина
на
мембране
палочки



Родопсин



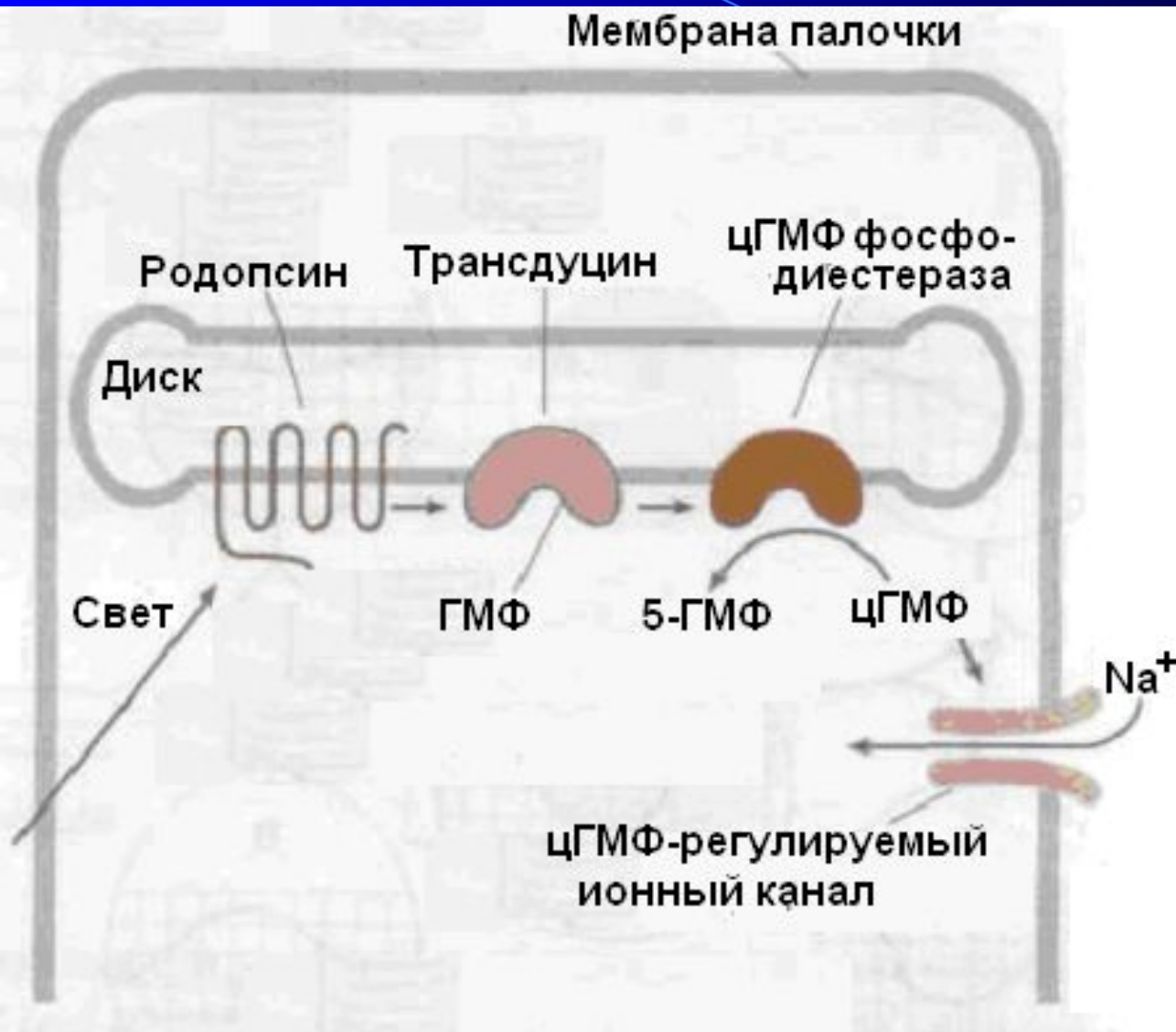
- Превращение молекулы родопсина при поступлении кванта света.
- Поэтому для восприятия следующего кванта света родопсин должен восстановиться.

Медиатор и действие света

- В темноте Na-каналы открыты (-25 мВ) – деполяризация выделение медиатора.
- На свету - Na-каналы закрываются (-90 мВ) – ГИПЕРПОЛЯРИЗАЦИЯ медиатор не выделяется.



Включение вторых посредников

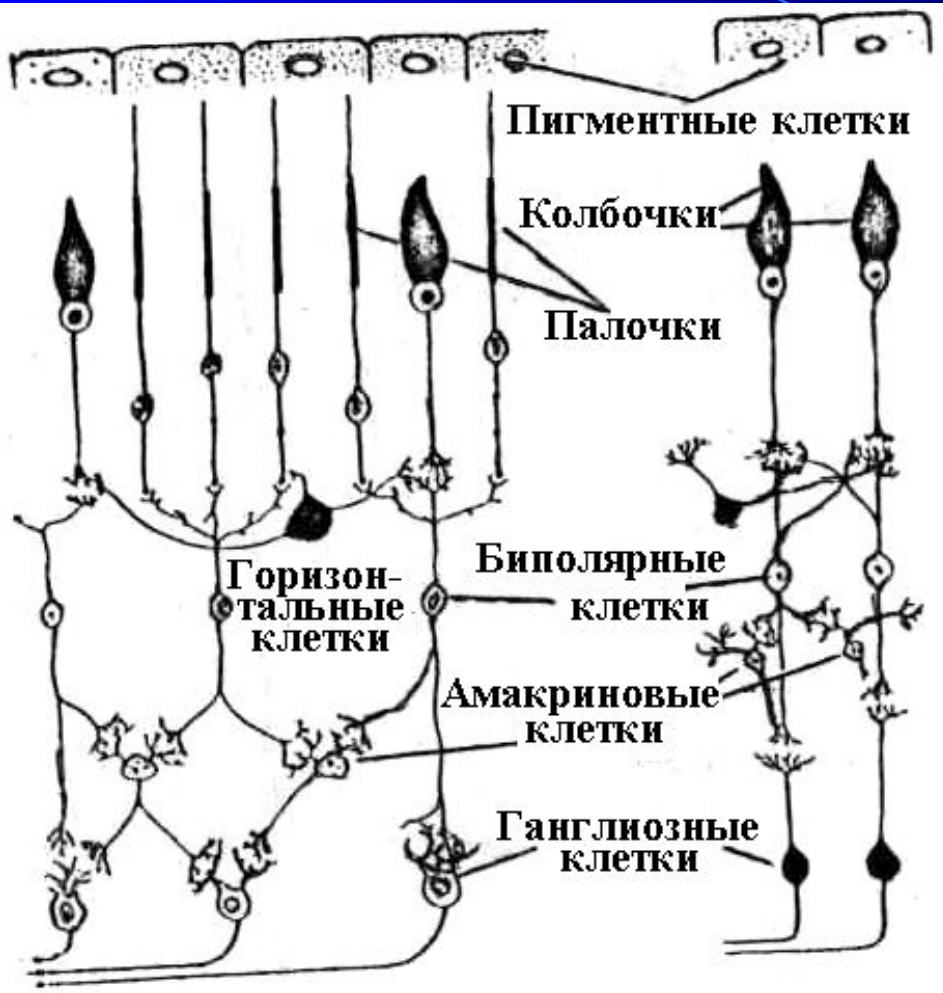


- При изменении зрительного пигмента запускаются вторые посредники (цГМФ или Ca^{++}), которые и регулируют проницаемость мембраны к ионам.

Различие адаптации палочек и колбочек

Рецепторный потенциал в палочках развивается медленнее, чем в колбочках. Обусловлено это 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.

Нейроны сетчатки



- 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 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.

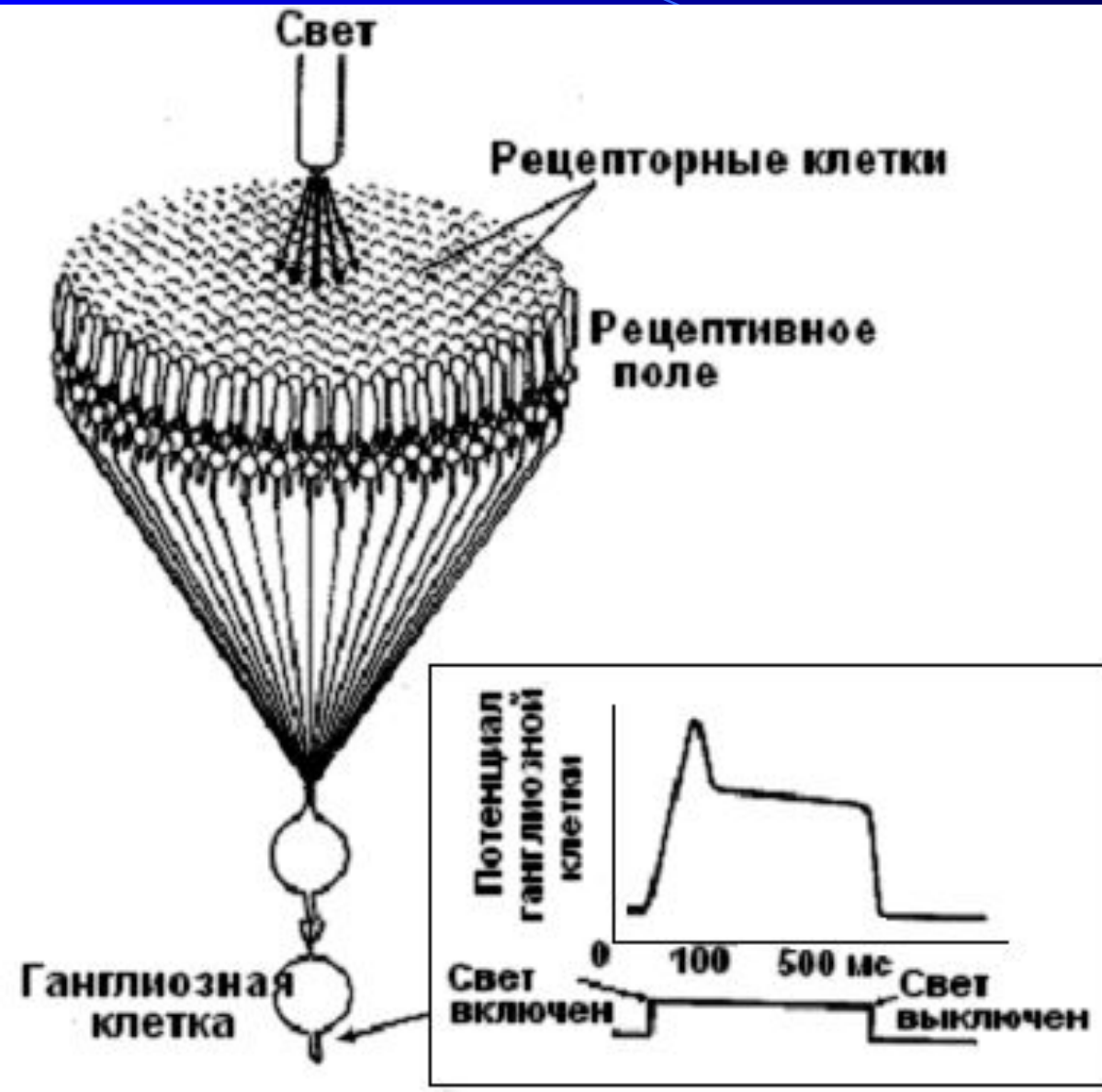
Ганглиозные клетки, которые являются началом зрительного тракта, при поступлении кванта света на фоторецептор могут либо передавать ПД, либо быть заторможенными. Это зависит от особенностей медиаторов во всех остальных нейронах: биполярных горизонтальных и амакриновых.

Биполярные клетки

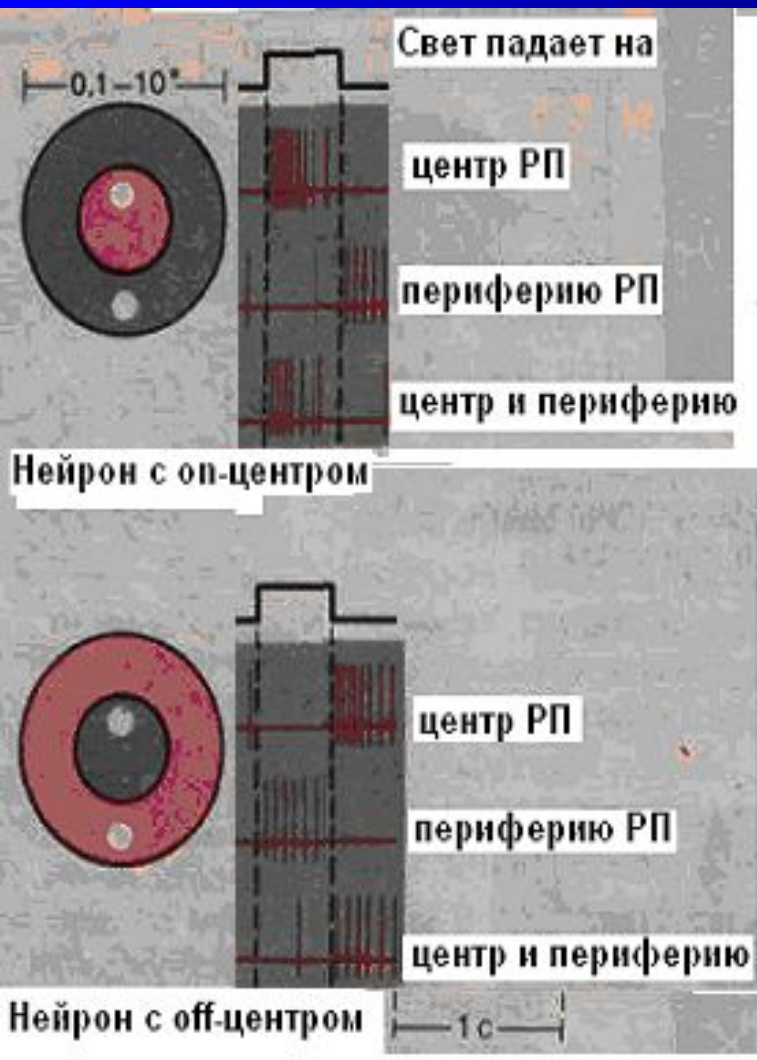
- В сетчатке имеется два типа биполярных клеток - *деполяризующиеся* и *гиперполяризующиеся*. Эти клетки обладают спонтанной пейсмекерной активностью. В *деполяризующихся клетках* в темноте под влиянием выделяющегося из рецепторной клетки тормозного медиатора спонтанная деполяризация угнетается. Напротив, 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 *гиперполяризующиеся* 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).



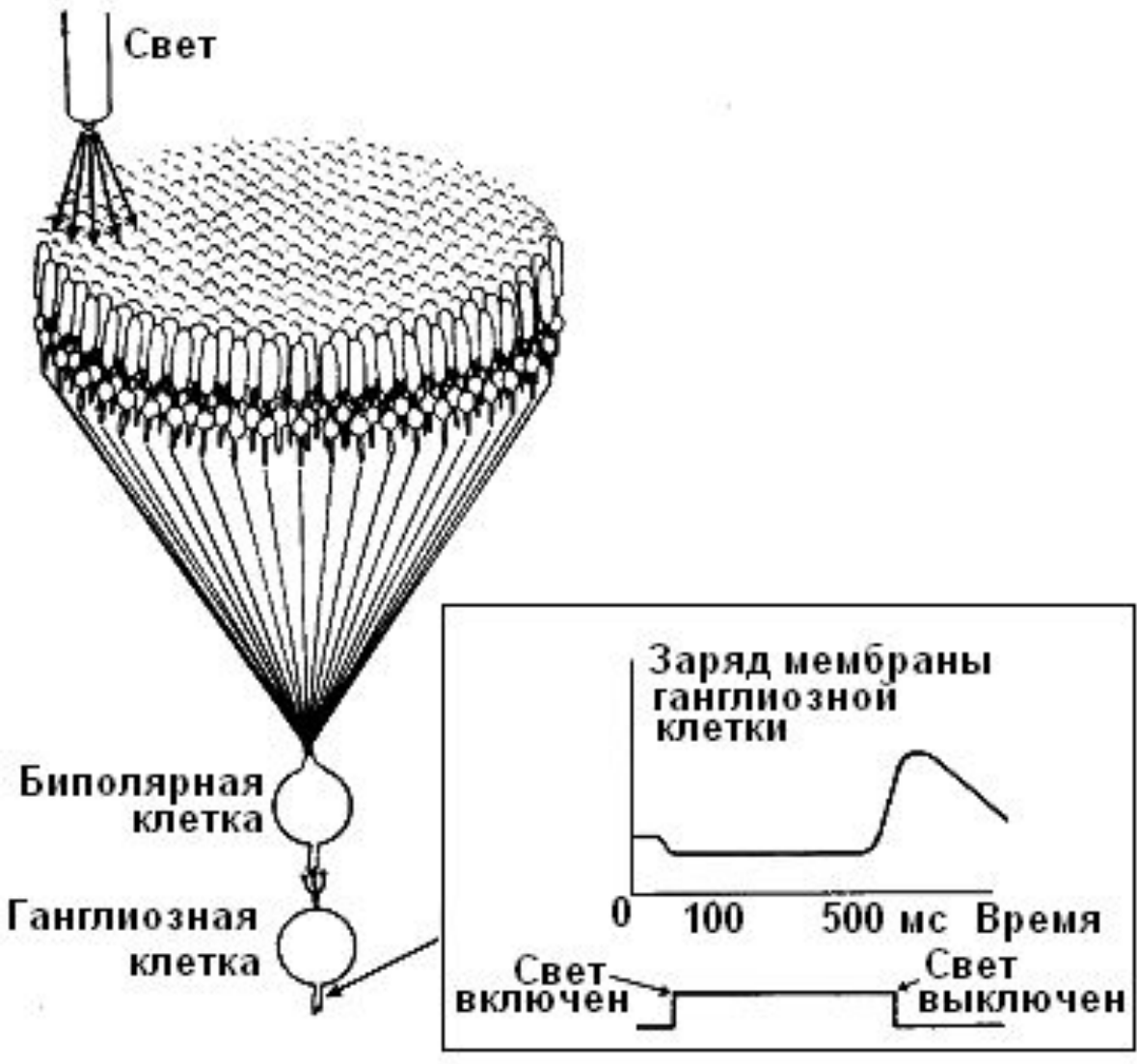
Ганглиозные поля палочек



РП ганглиозных нейронов организованы с *антагонистической* характеристикой центра и периферии. Если свет поступает в центр, то конечный ответ ганглиозной клетки один, а на периферию - другой.

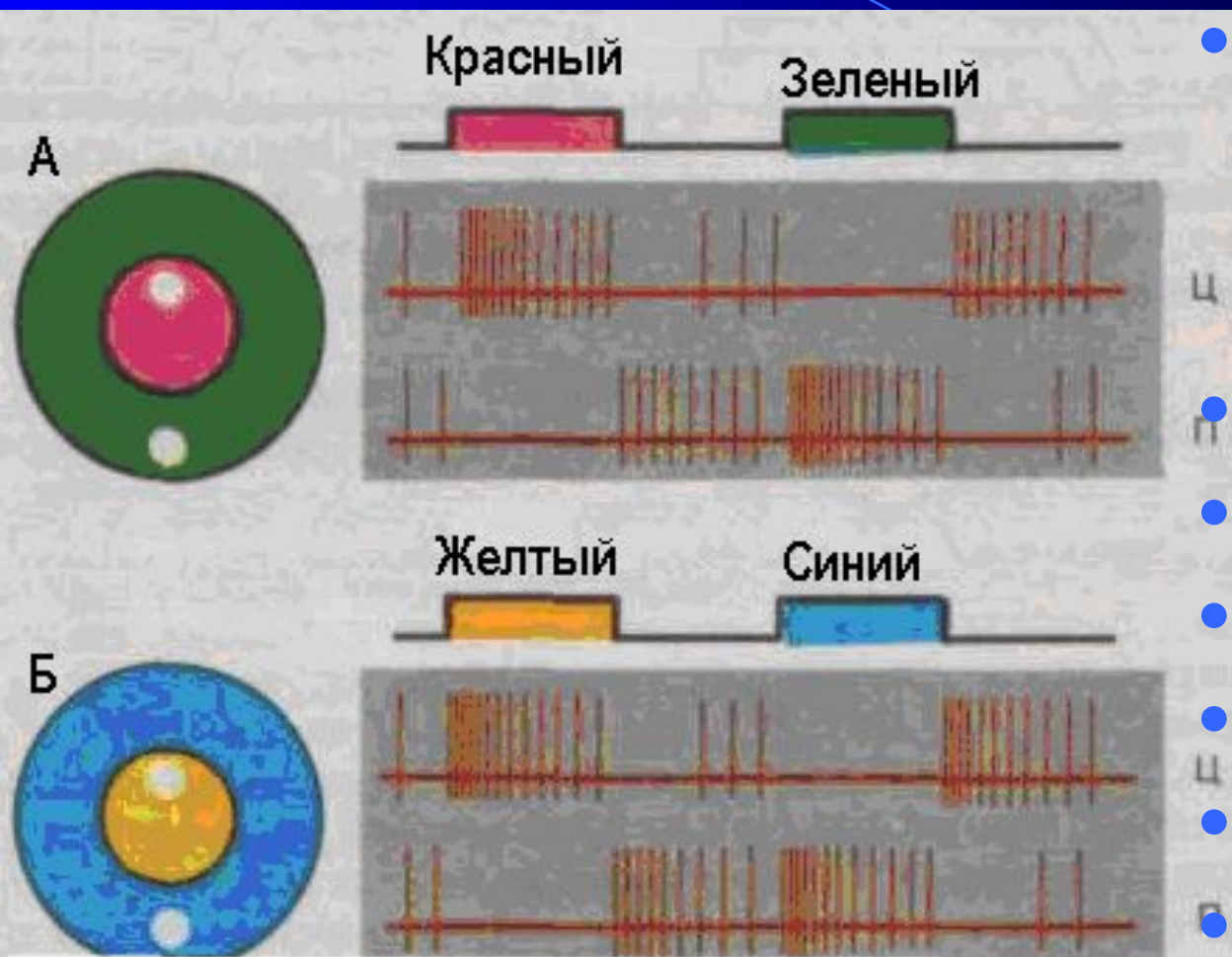
В сетчатке обнаружено несколько разновидностей рецептивных полей, а физиологическое назначение их заключается в формировании остроты зрения – возможности различать отдельные точки.

Ганглиозная клетка с оп-центром



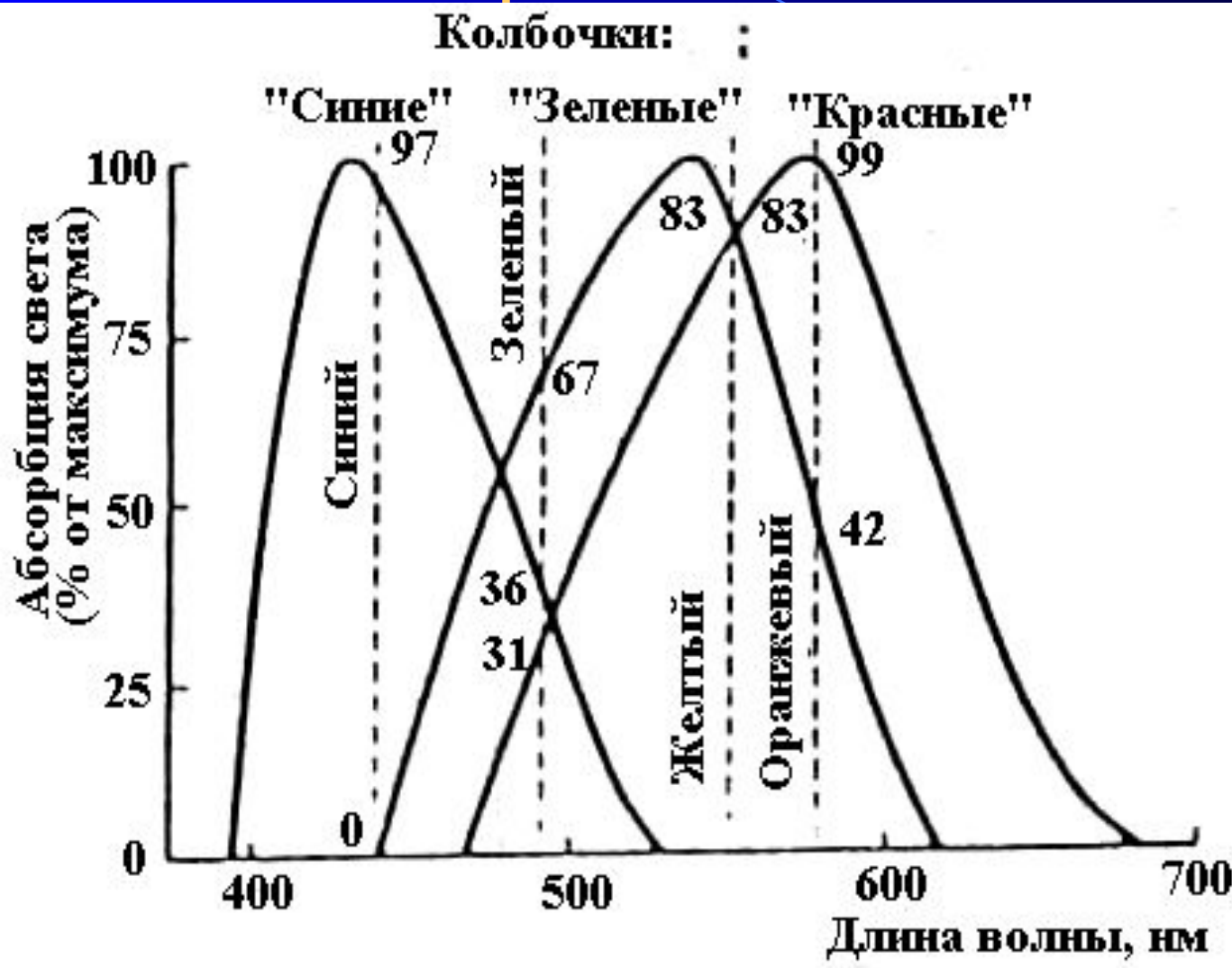
Пд в ганглиозной клетке при освещении периферии не появляется.

Ганглиозные поля колбочек



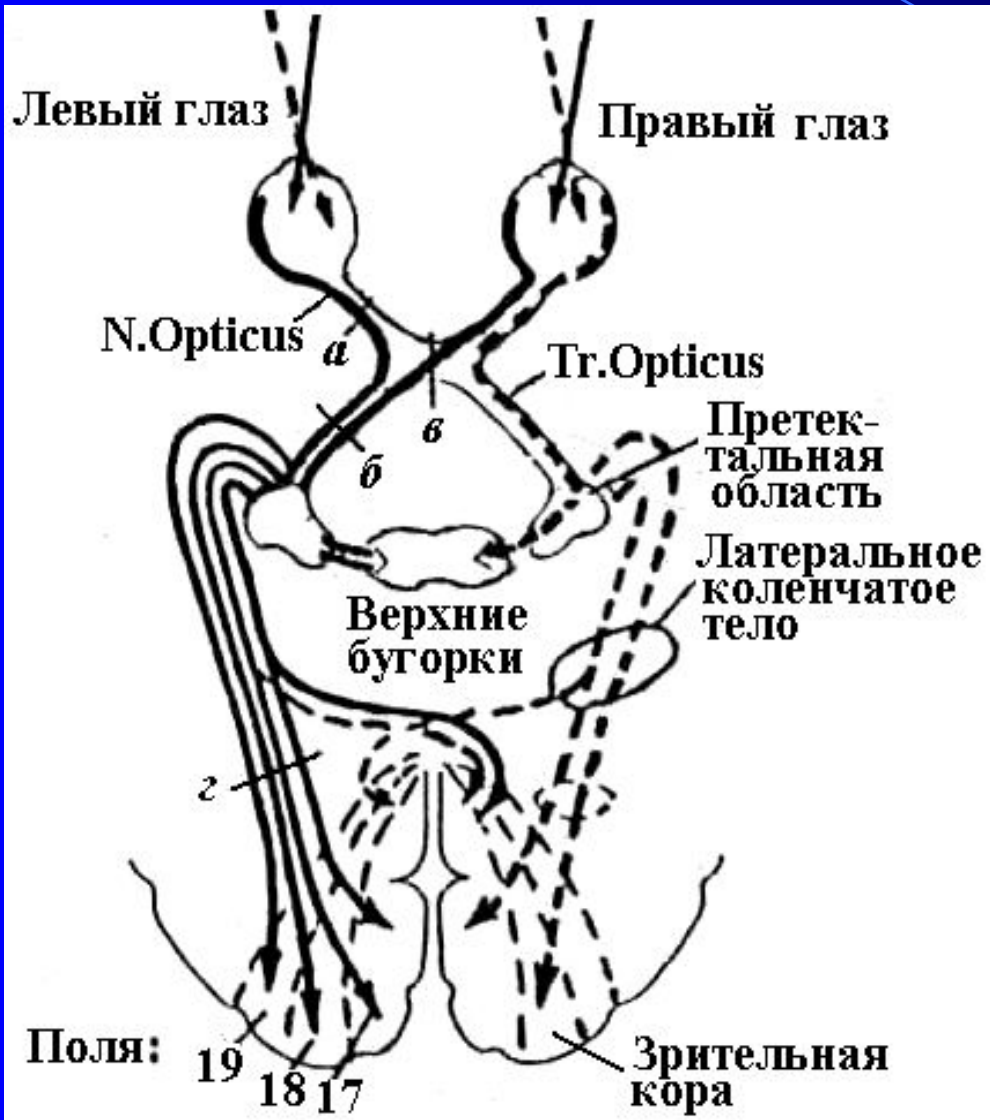
- В основе формирования пар колбочек лежат 4 основных цвета:
- красный-зеленый,
- желтый-синий.
- Имеется 4 ГП:
- центр К, а периф. З;
- центр З, а периф. К;
- центр Ж, а периф. С
- центр С, а периф. Ж

Спектральная чувствительность трех типов колбочек



- Род.- 505 нм
- Гол.- 445 нм
- Зел.- 535 нм
- Крас.- 570 нм

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.
- *Передние бугры четверохолмия являются первичными центрами интегрирования сенсорной информации, используемой для пространственной ориентации.*

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

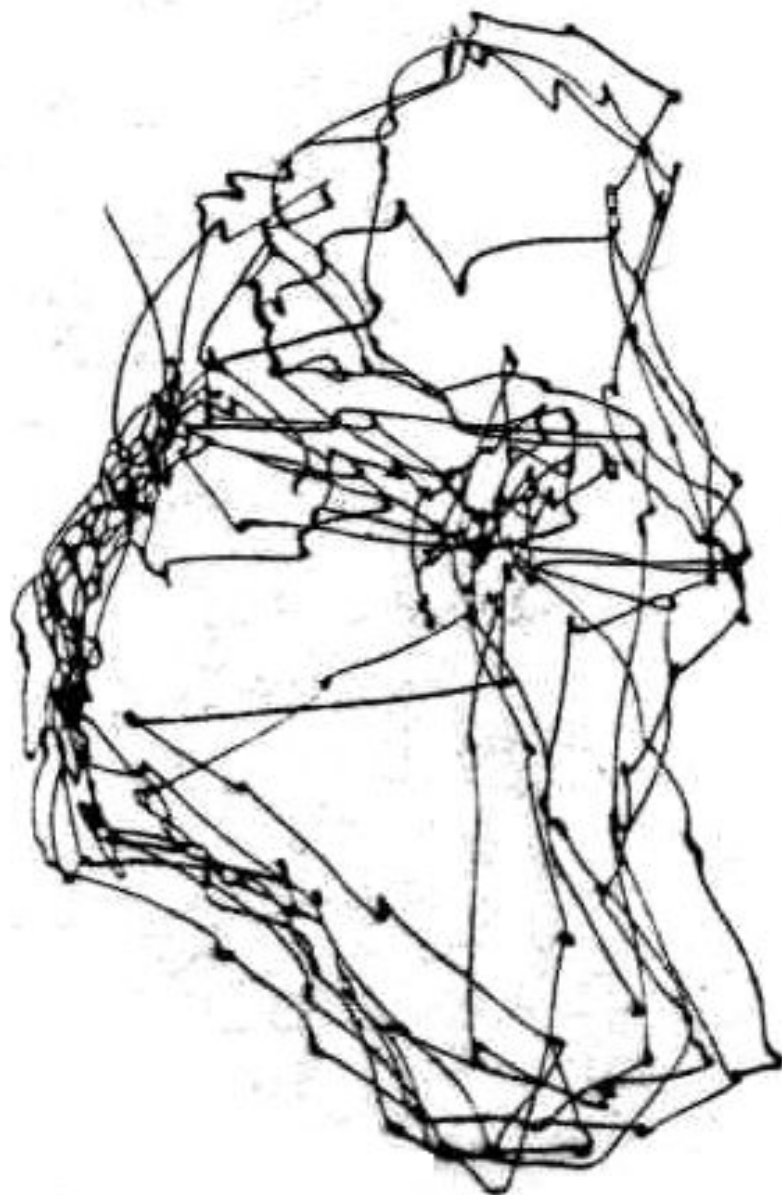
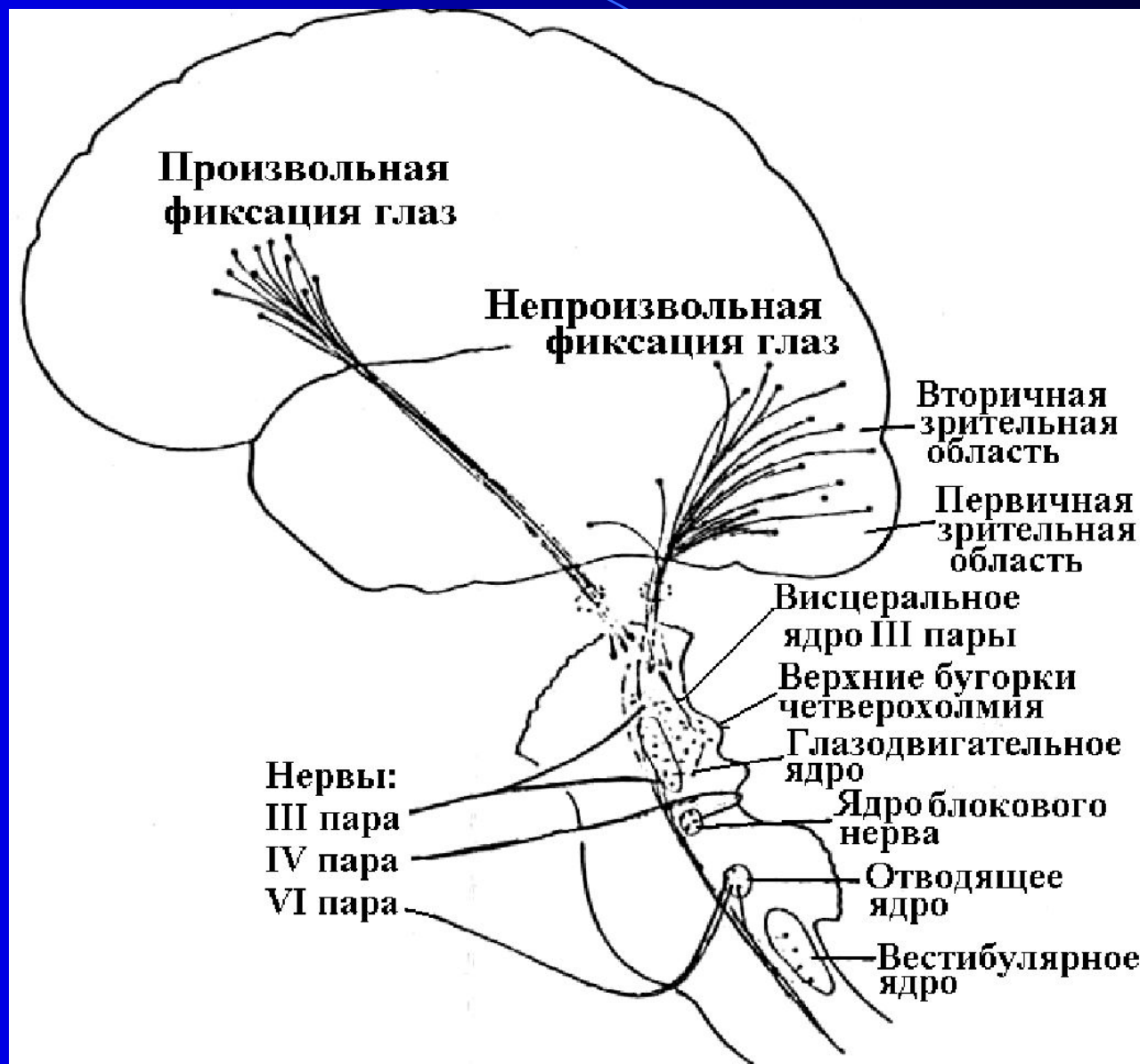


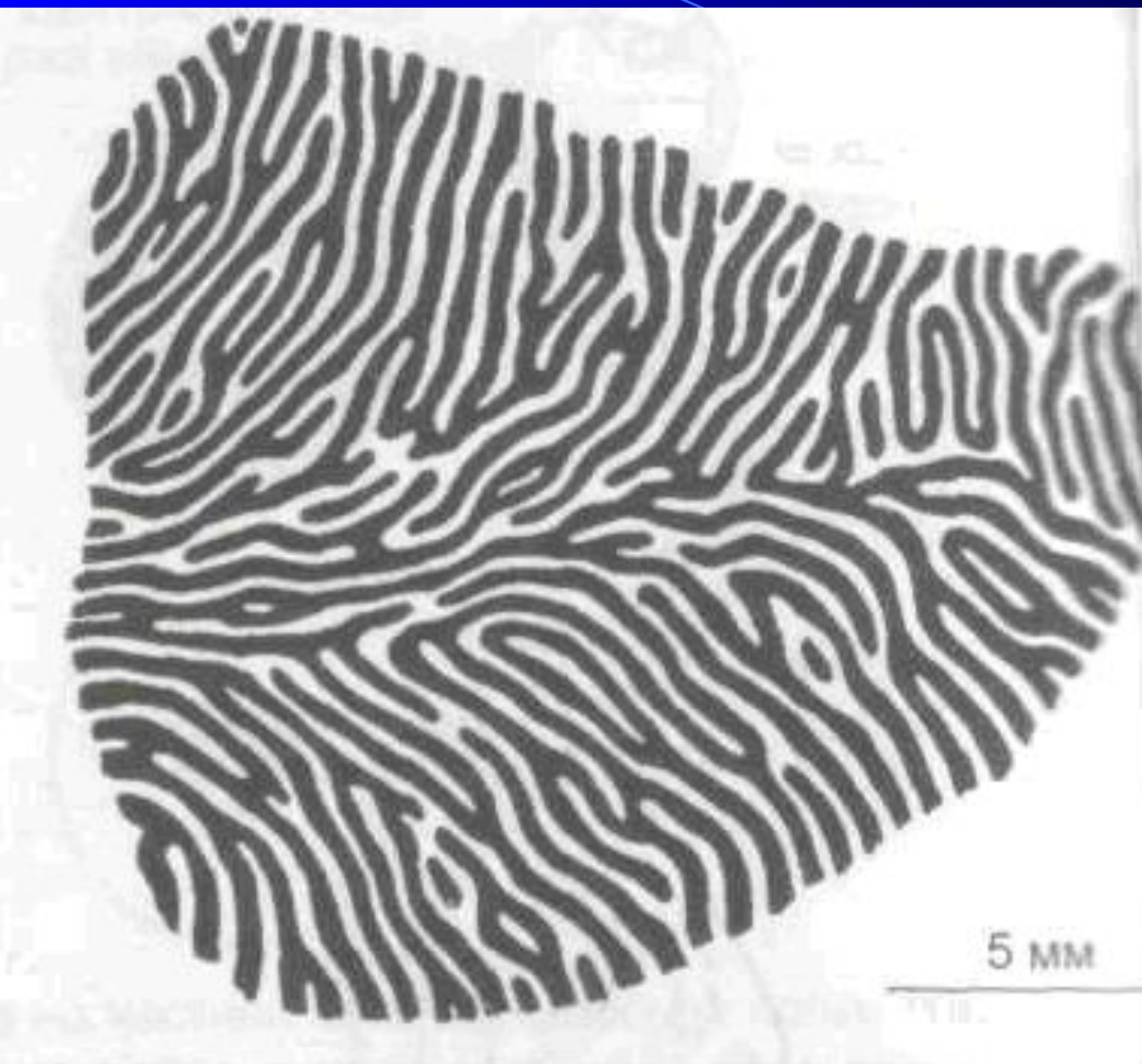
Схема путей, управляющих движениями глаз



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.

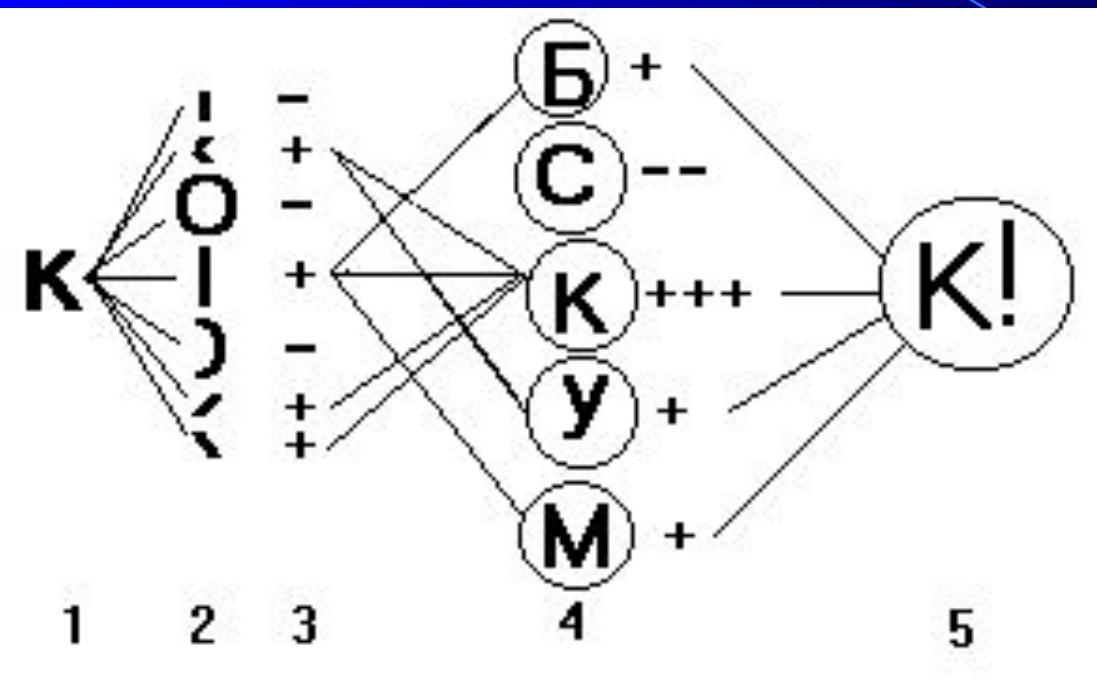
Расположение нейронов в коре от двух глаз



- Кора обеспечивает опознание объекта.

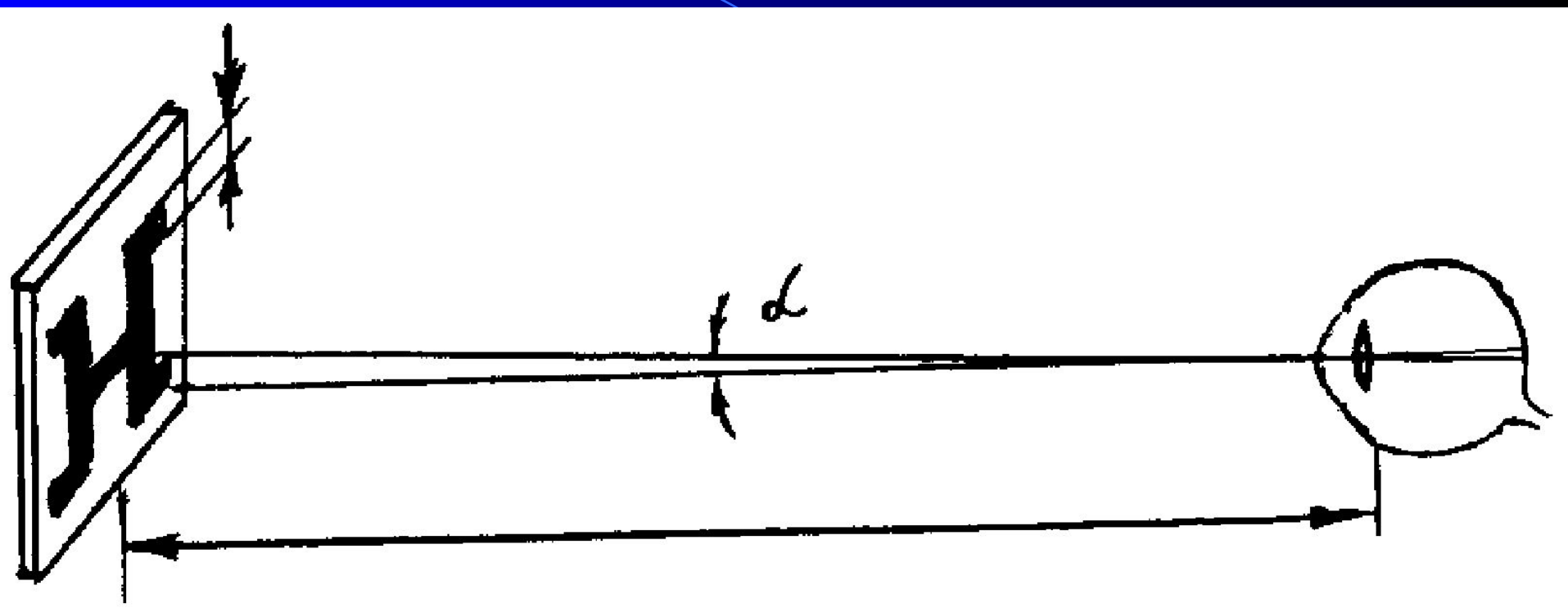
Расположение нейронов в зрительной коре:
темным цветом - один глаз, светлым - другой.

Схема опознания образа



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

Схема исследования остроты зрения



Исследование цветового зрения

