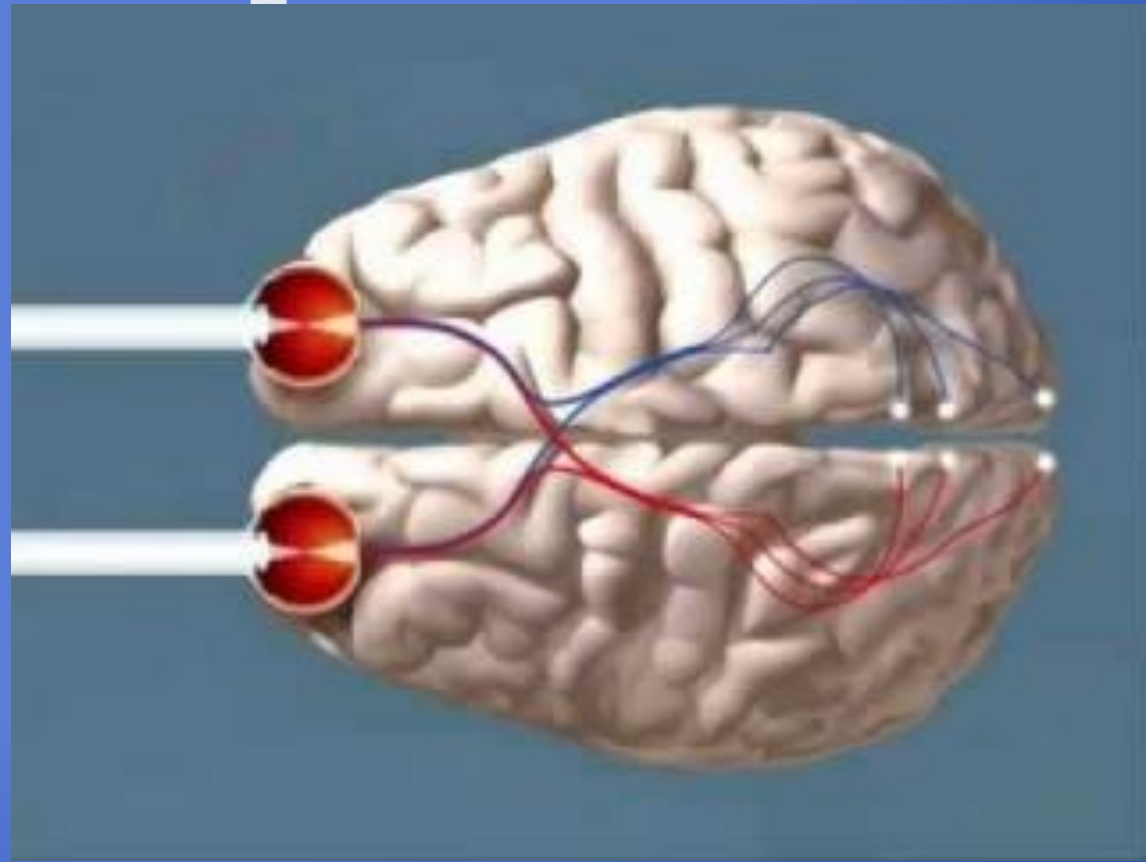


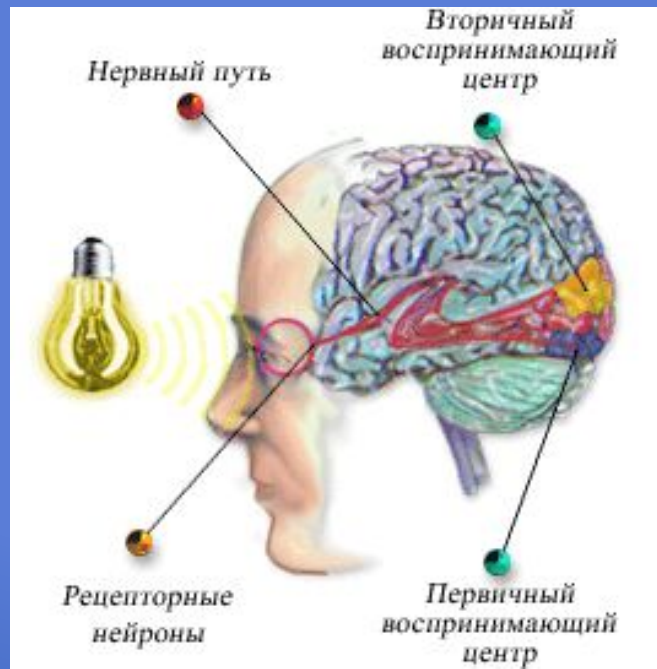
# Анатомия зрительного анализатора



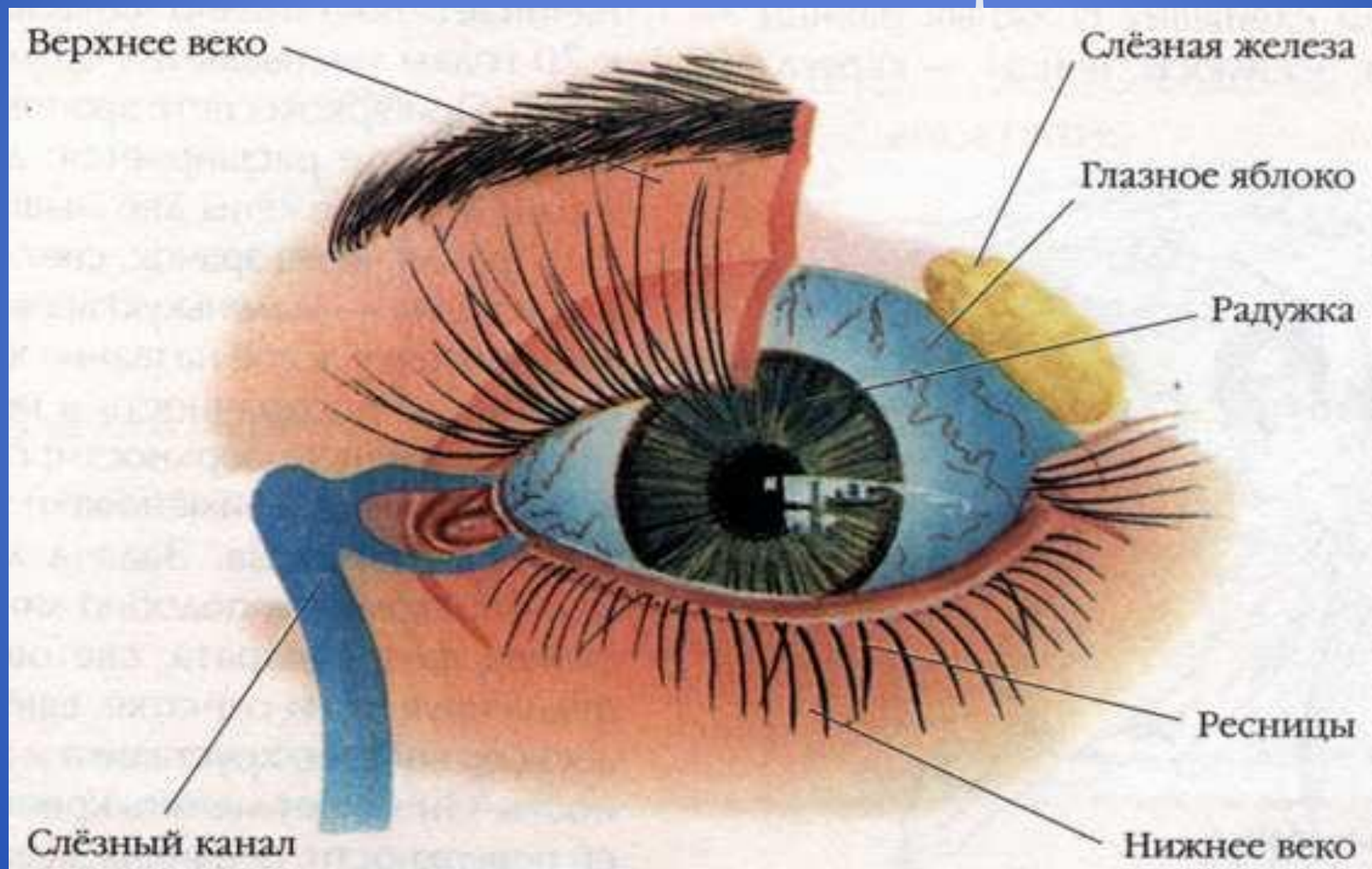
# Зрительный анализатор состоит

## из трёх отделов:

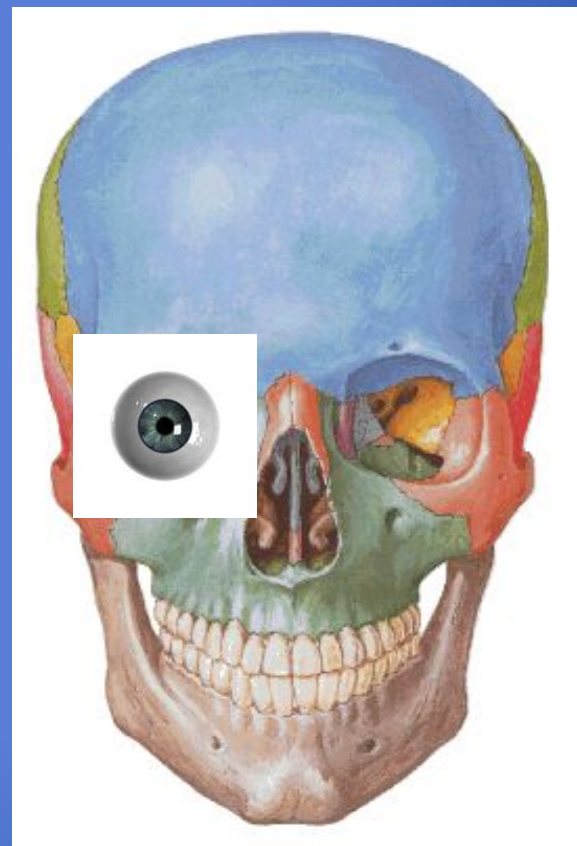
- § **периферического** – рецепторы сетчатой оболочки глаза;
- § **проводникового** – зрительные нервы, передающие возбуждение в головной мозг;
- § **центрального** – подкорковые и стволые центры (латеральные коленчатые тела, подушка таламуса, верхние холмики крыши среднего мозга), а также зрительная область в затылочной доле коры больших полушарий головного мозга.



# Вспомогательный аппарат глаза

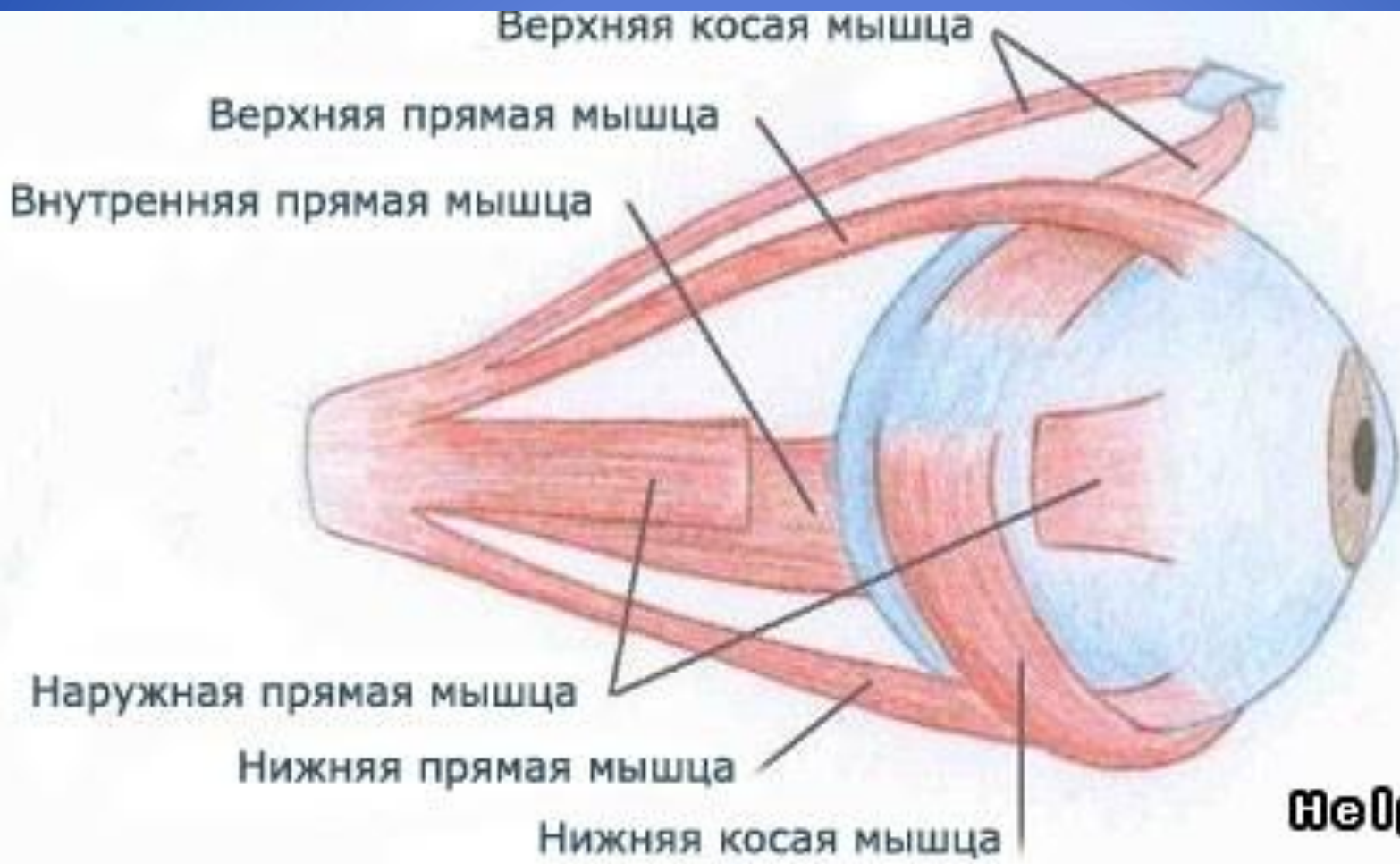


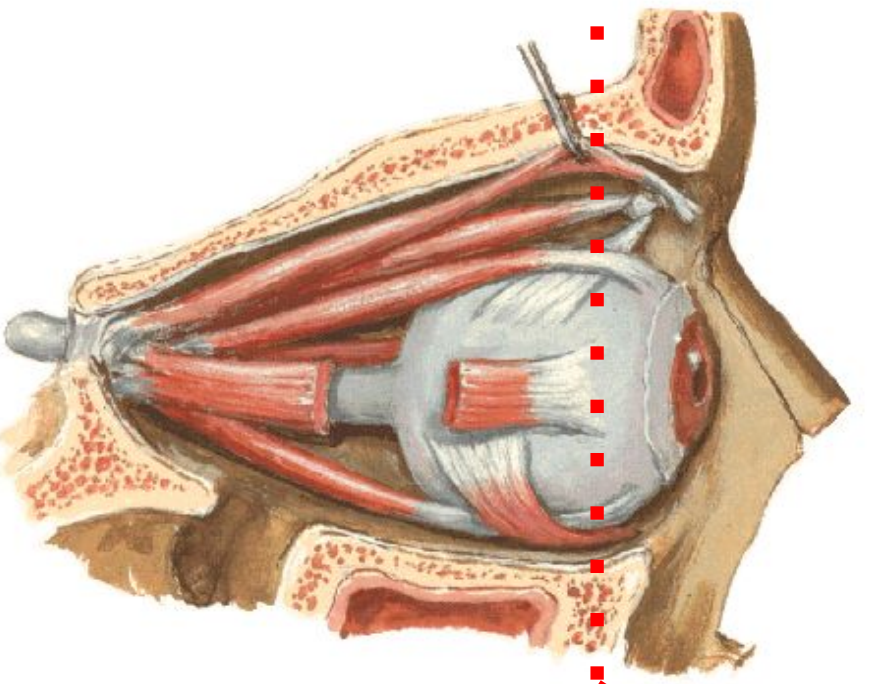
Глаз – парное, почти сферическое образование диаметром 24 мм и весом 6–8 г, расположенное в глазницах черепа



Глаз укреплен здесь при помощи четырех прямых и двух косых мышц, управляющих его движениями. Форма глаза поддерживается за счет гидростатического давления (25 мм рт. ст.) водянистой влаги и стекловидного тела.

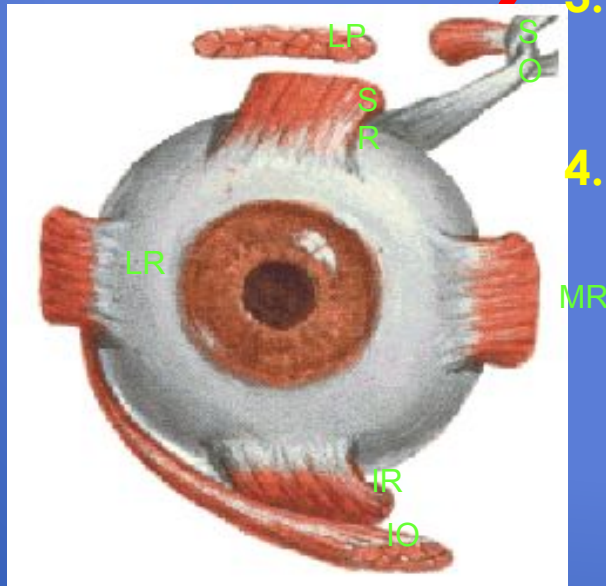


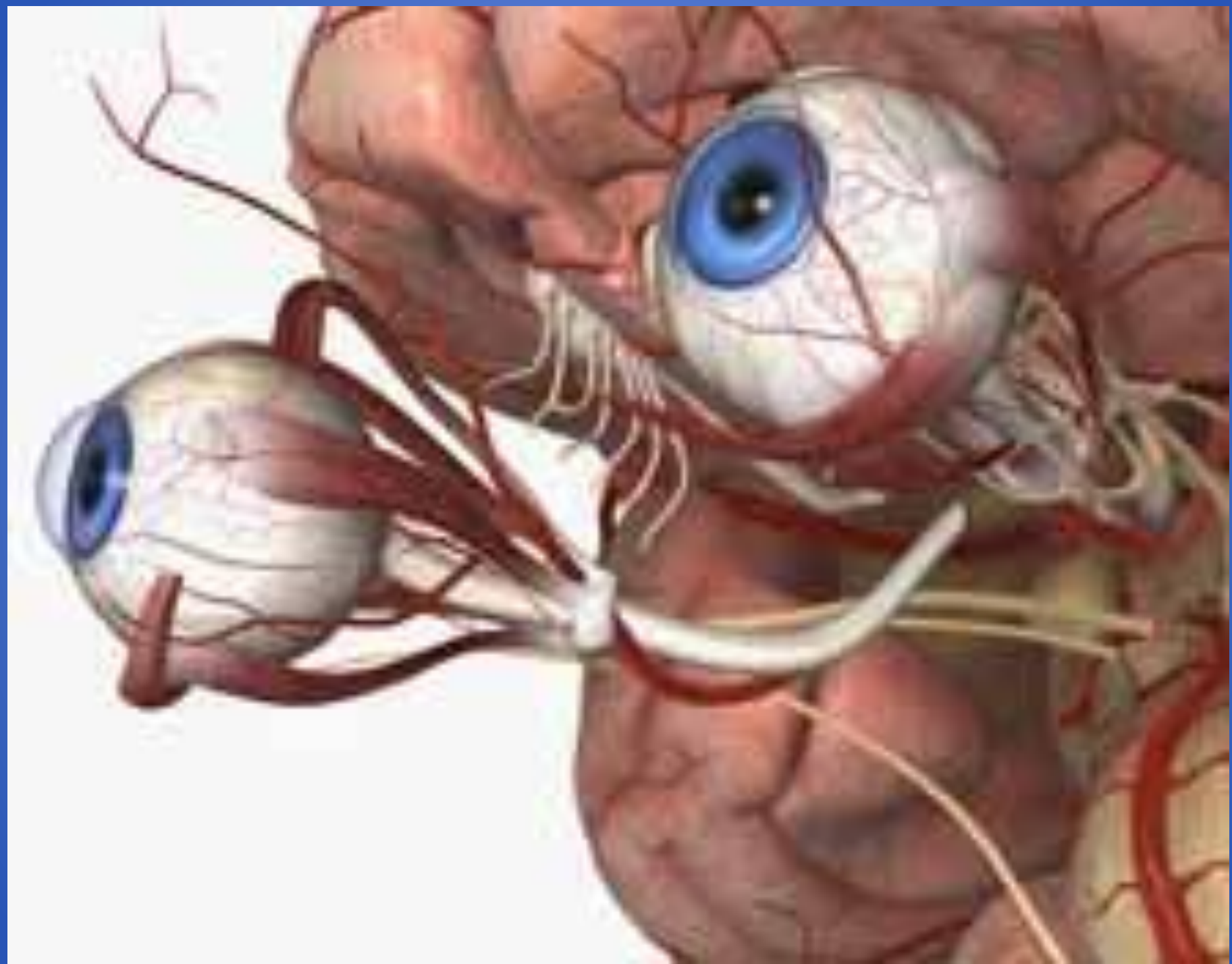




Глазодвигательные мышцы обеспечивают следующие движения глаза:

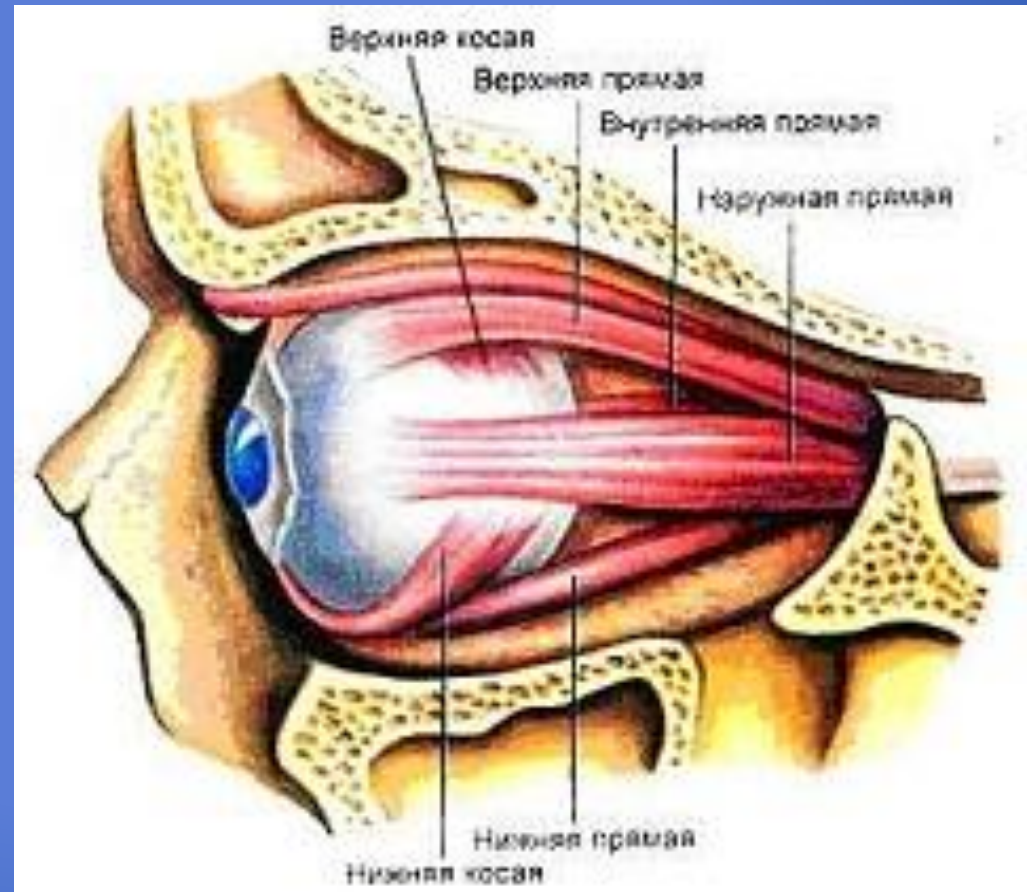
1. **приведение (аддукцию)**, т. е. движение его в сторону носа; эту функцию выполняет внутренняя прямая мышца, дополнительно - верхняя и нижняя прямые мышцы; их называют аддукторами;
2. **отведение (абдукцию)**, т. е. движение глаза в сторону виска; эту функцию выполняет наружная прямая мышца, дополнительно - верхняя и нижняя косые; их называют абдукторами;
3. **движение вверх** - при действии верхней прямой и нижней косой мышц; их называют поднимателями;
4. **движение вниз** - при действии нижней прямой и верхней косой мышц; их называют опускающими.

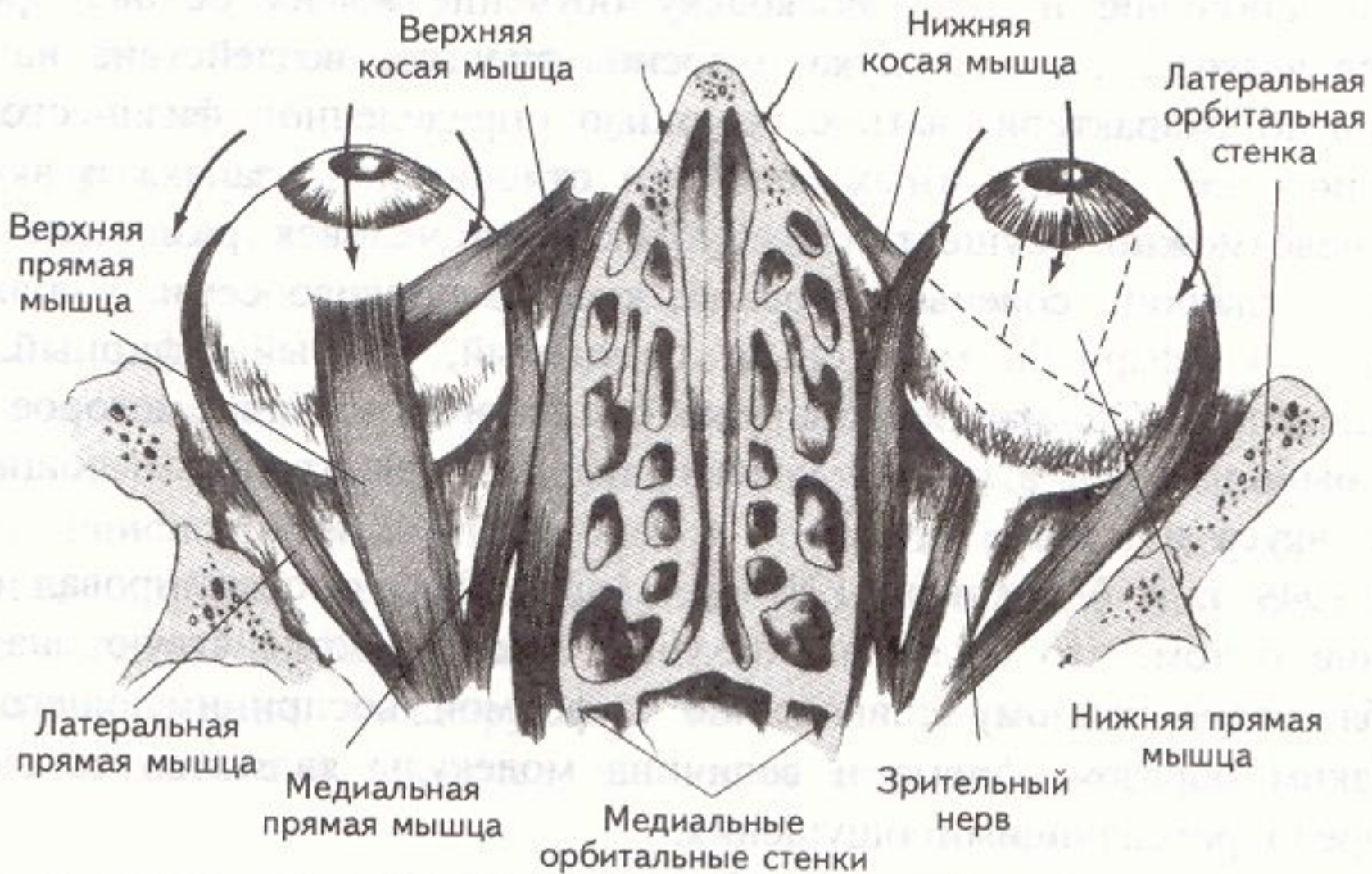






Все мышцы глаза, кроме нижней косой, начинаются от сухожильного кольца, расположенного в толще глазницы и расходятся кпереди, образуя конусообразную мышечную воронку. Все глазные мышцы, кроме верхней косой, прикрепляются сразу к склере.





# ОБОЛОЧКИ И КАМЕРЫ ГЛАЗА

СКЛЕРА  
И  
РОГОВИЦА

СОСУДИСТАЯ  
ОБОЛОЧКА

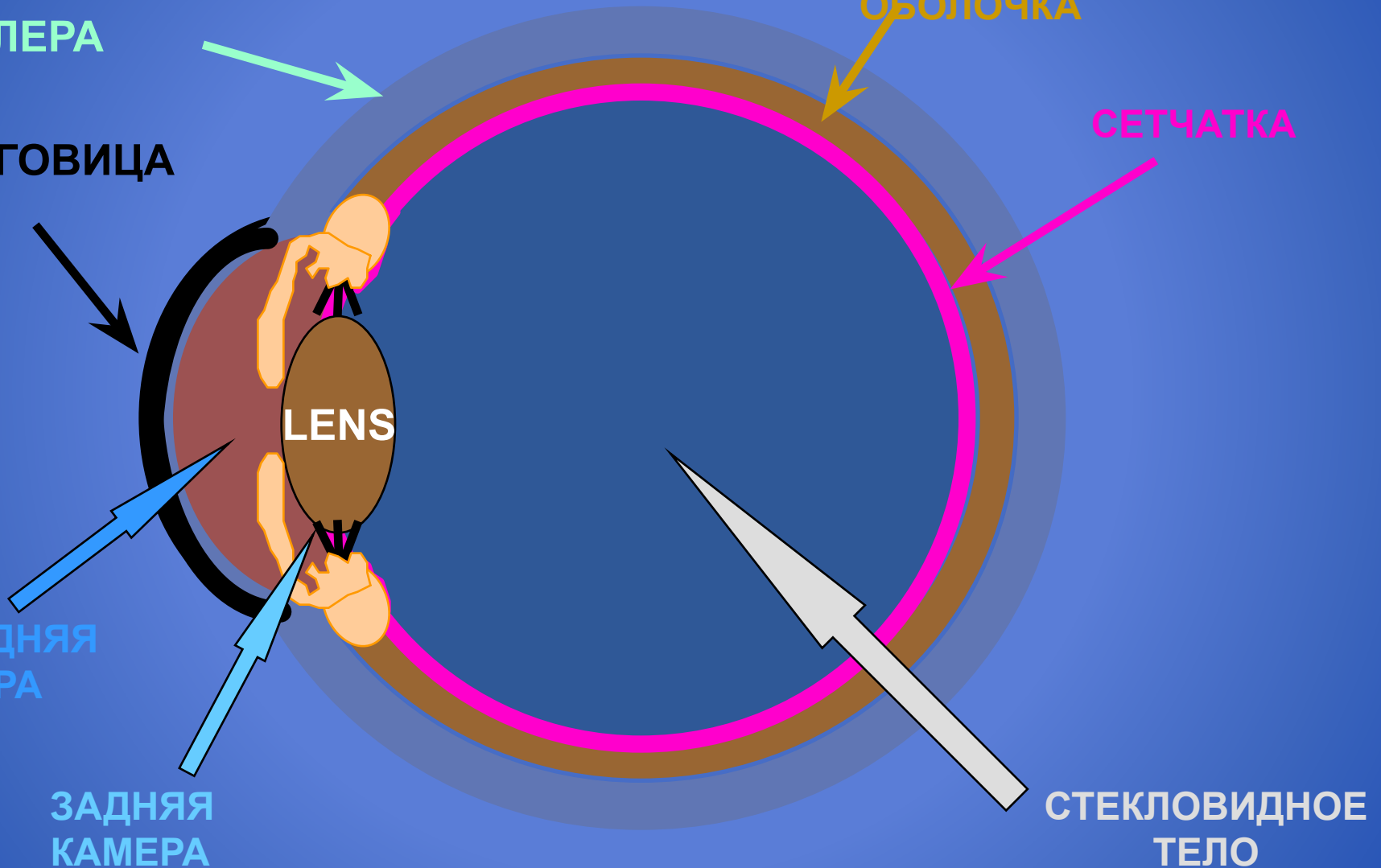
СЕТЧАТКА

LENS

ПЕРЕДНЯЯ  
КАМЕРА

ЗАДНЯЯ  
КАМЕРА

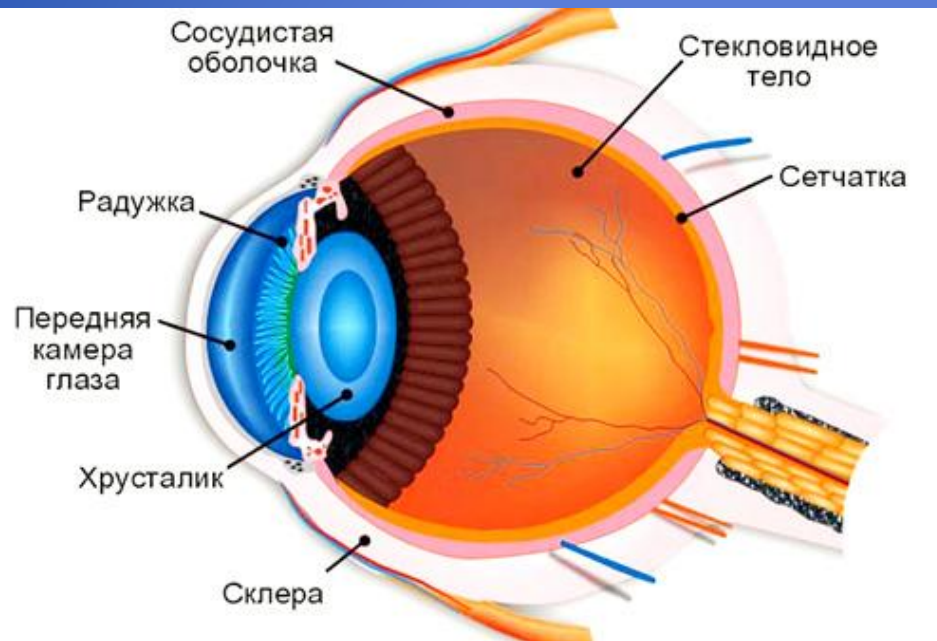
СТЕКЛОВИДНОЕ  
ТЕЛО



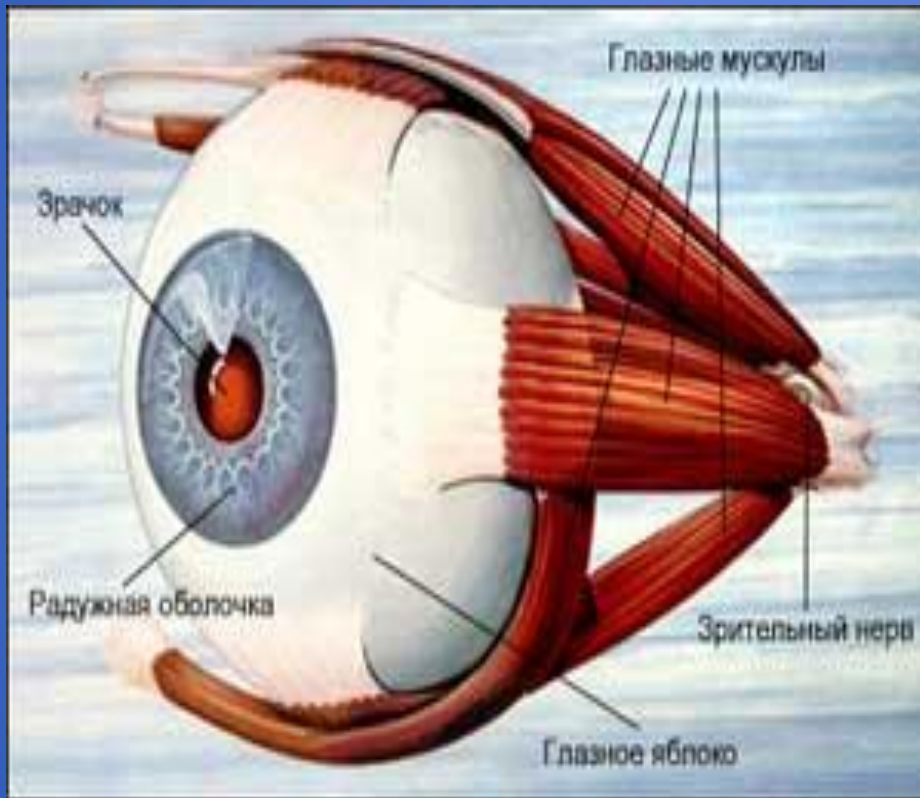
**Склера** - наружная оболочка глаза человека, обычно имеет белый цвет, иногда с голубоватым оттенком.

**Сосудистая оболочка** задерживает своим пигментным слоем излишек световых лучей и не дает им попасть на поверхность сетчатки, а так же распределяет сосуды по всем слоям глазного яблока.

В глубине глазного яблока располагается третья глазная оболочка – **сетчатка**, состоящая из двух частей – пигментной, расположенной снаружи и внутренней.



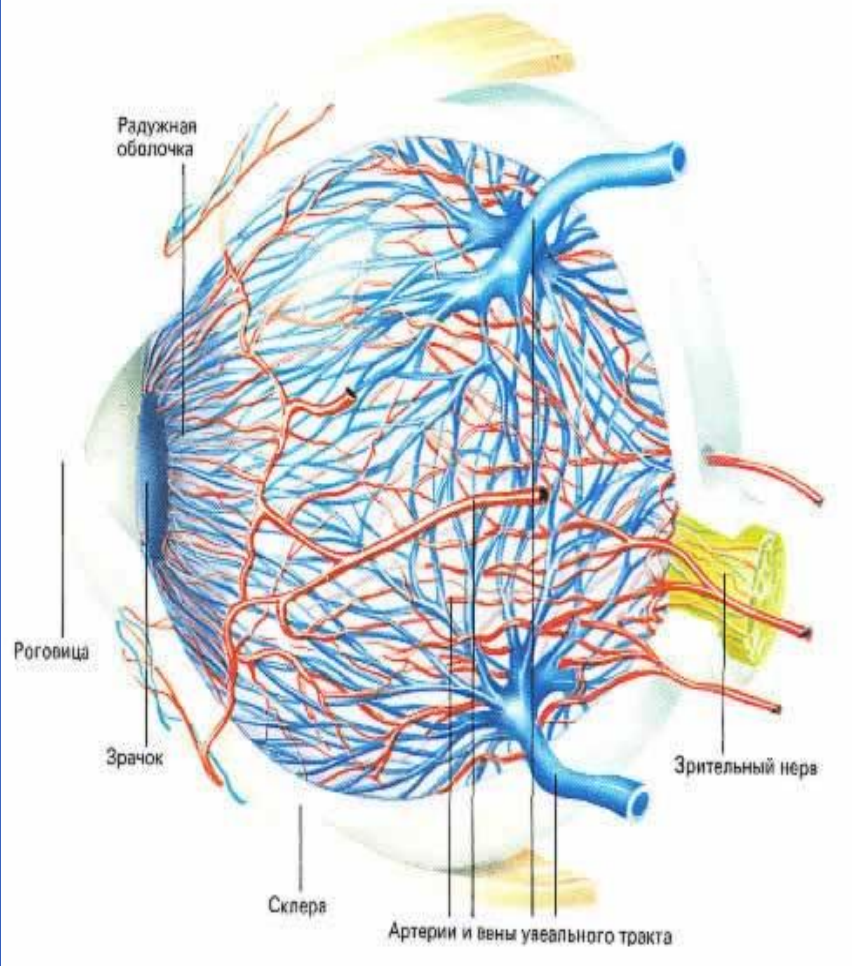
# БЕЛОЧНАЯ ОБОЛОЧКА - СКЛЕРА



- Наружная;
- Соединительнотканая;
- Непрозрачная;
- Беловатая;
- Содержит небольшое количество нервных окончаний;
- Образует форму глазного яблока;
- Защищает глаз;
- Место прикрепления глазных мышц

# Сосудистая оболочка глаза

Увеальное кровоснабжение



Функции:

- Кровеносная;
- Питание глаза;

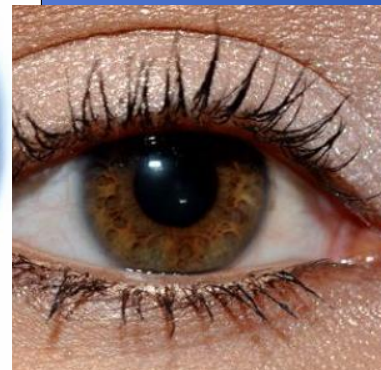
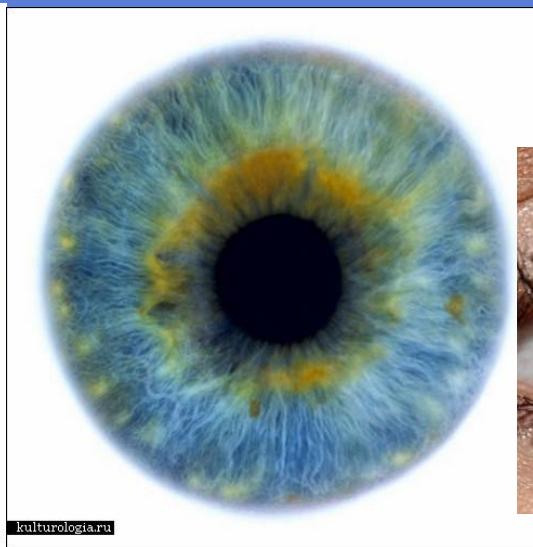
Части сосудистой оболочки:

- Радужная оболочка;
- Цилиарное тело – ресничные мышцы и связки, удерживающие хрусталик;
- Собственно сосудистая оболочка.

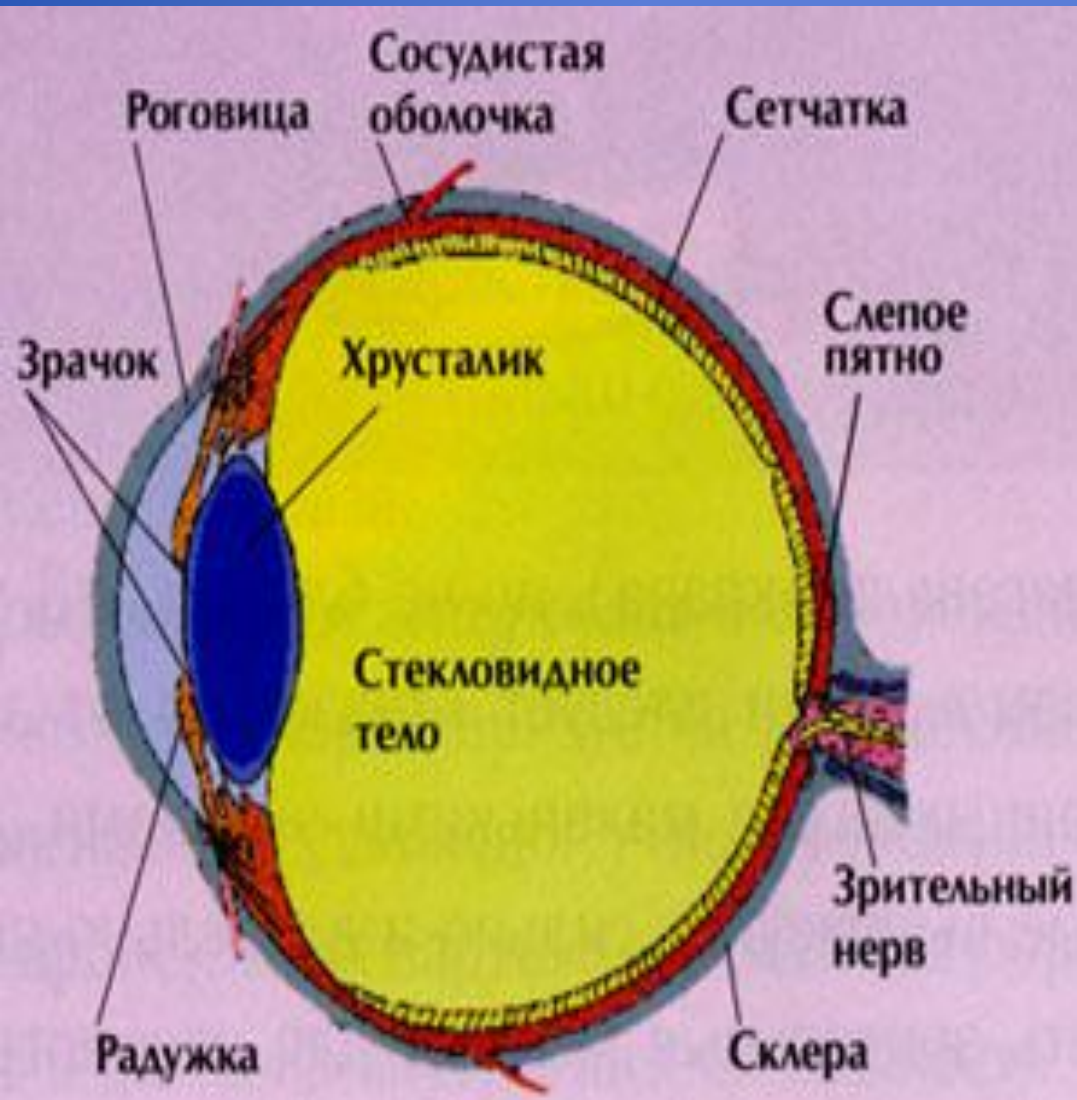
# Радужка

По латыни радужка - iris. А ведь Ирис - посланник богов, который спускается на землю по радуге. Сама радуга появилась после потопа как знамение вечного завета Бога его земным творениям. А в организме человека, этом своеобразном малом мире, радужку признавали нередко связью внутреннего мира и внешнего. Этаким главной аркой - рай-дугой.

Пигмент меланин определяет цвет глаз



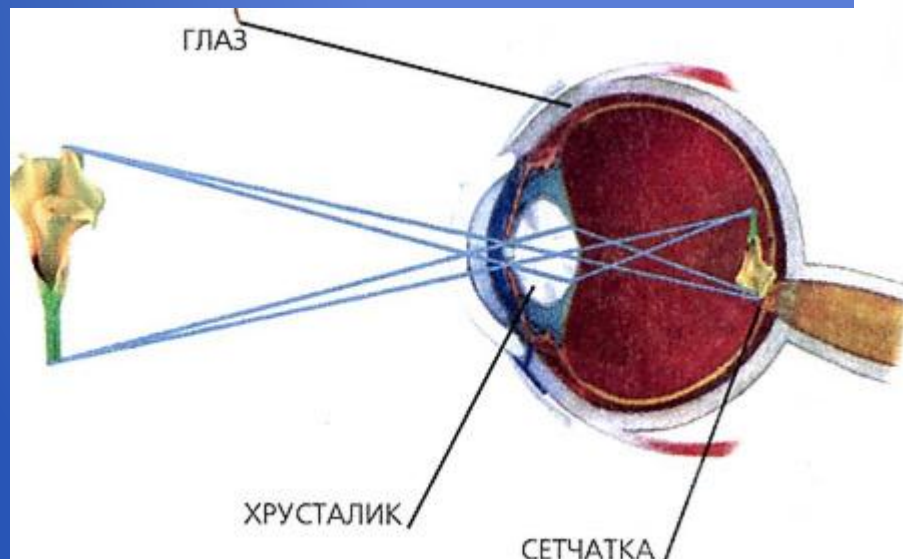
# Сетчатка глаза



- Внутренняя;
- Важная;
- Тонкая;
- Чувствительная;
- Полусфера;
- Содержит рецепторы глаза – фоторецепторы;
- Способность к фотохимическим реакциям.

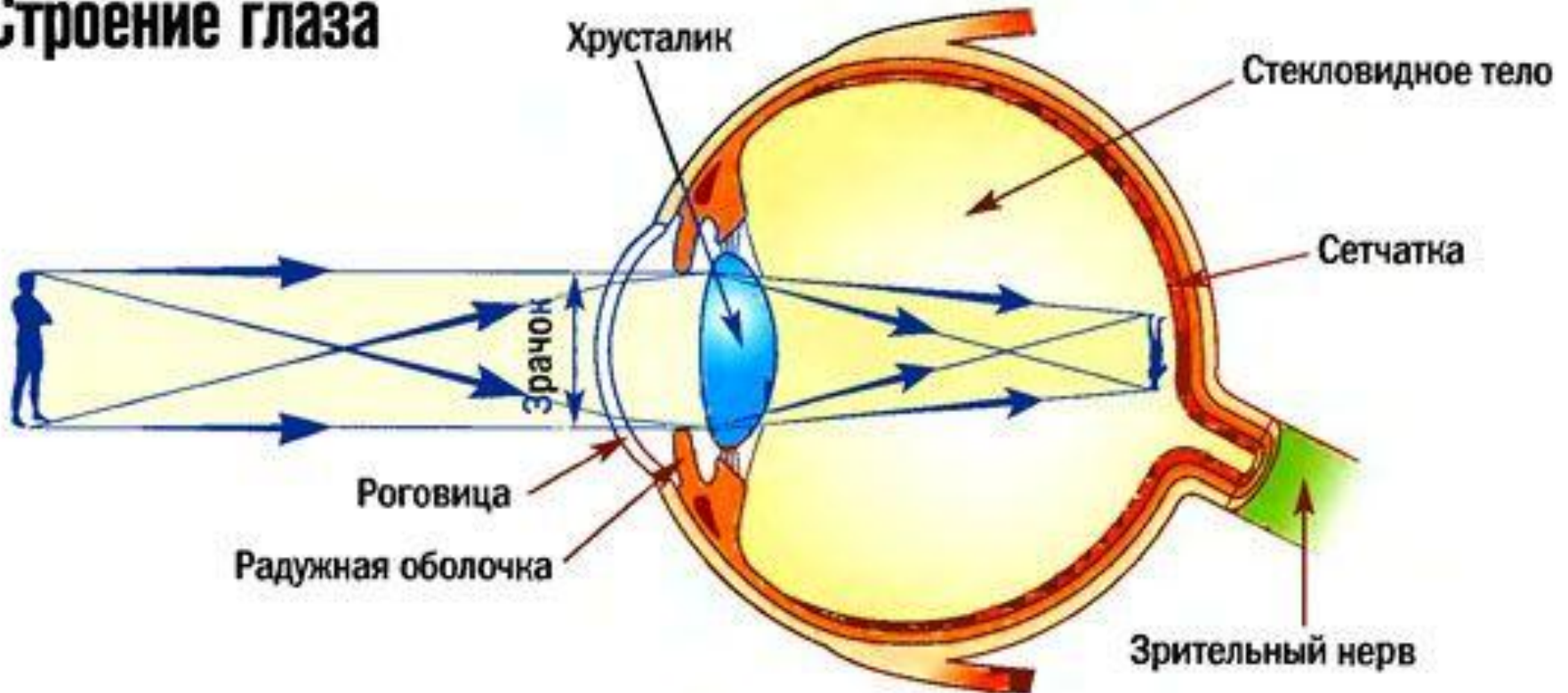


Световые лучи от рассматриваемых предметов проходят через оптическую систему глаза (роговицу, жидкость камер глаза, хрусталик и стекловидное тело) и фокусируются на его внутренней оболочке (сетчатке), в которой сосредоточены светочувствительные клетки – фоторецепторы (колбочки и палочки).



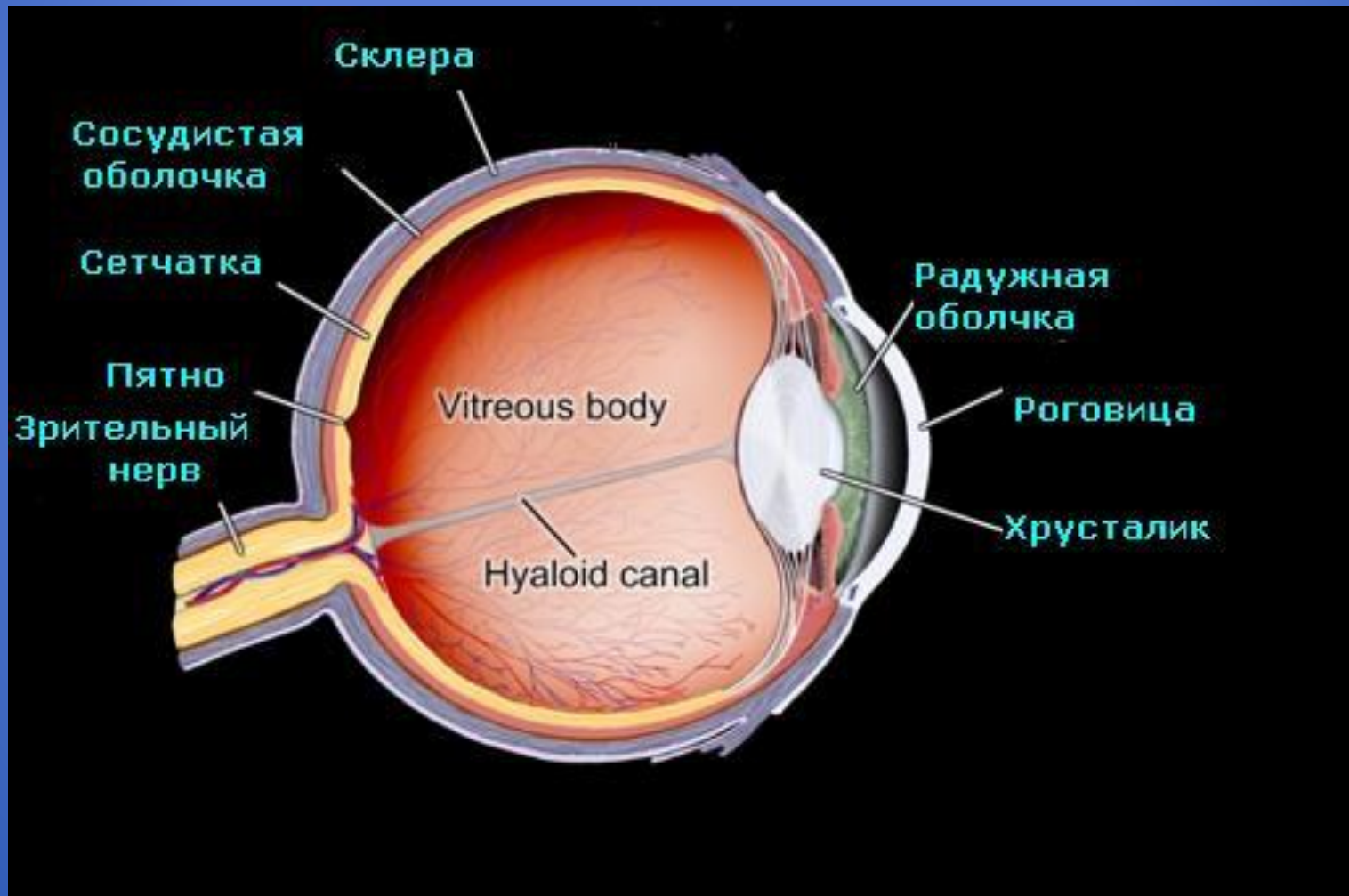
**Оптическая система глаза** - фокусируя световые лучи, обеспечивает создание на сетчатке чёткого изображения предметов, расположенных как на близком, так и на дальнем расстоянии от глаза. Эта способность глаза называется **аккомодацией**.

## Строение глаза





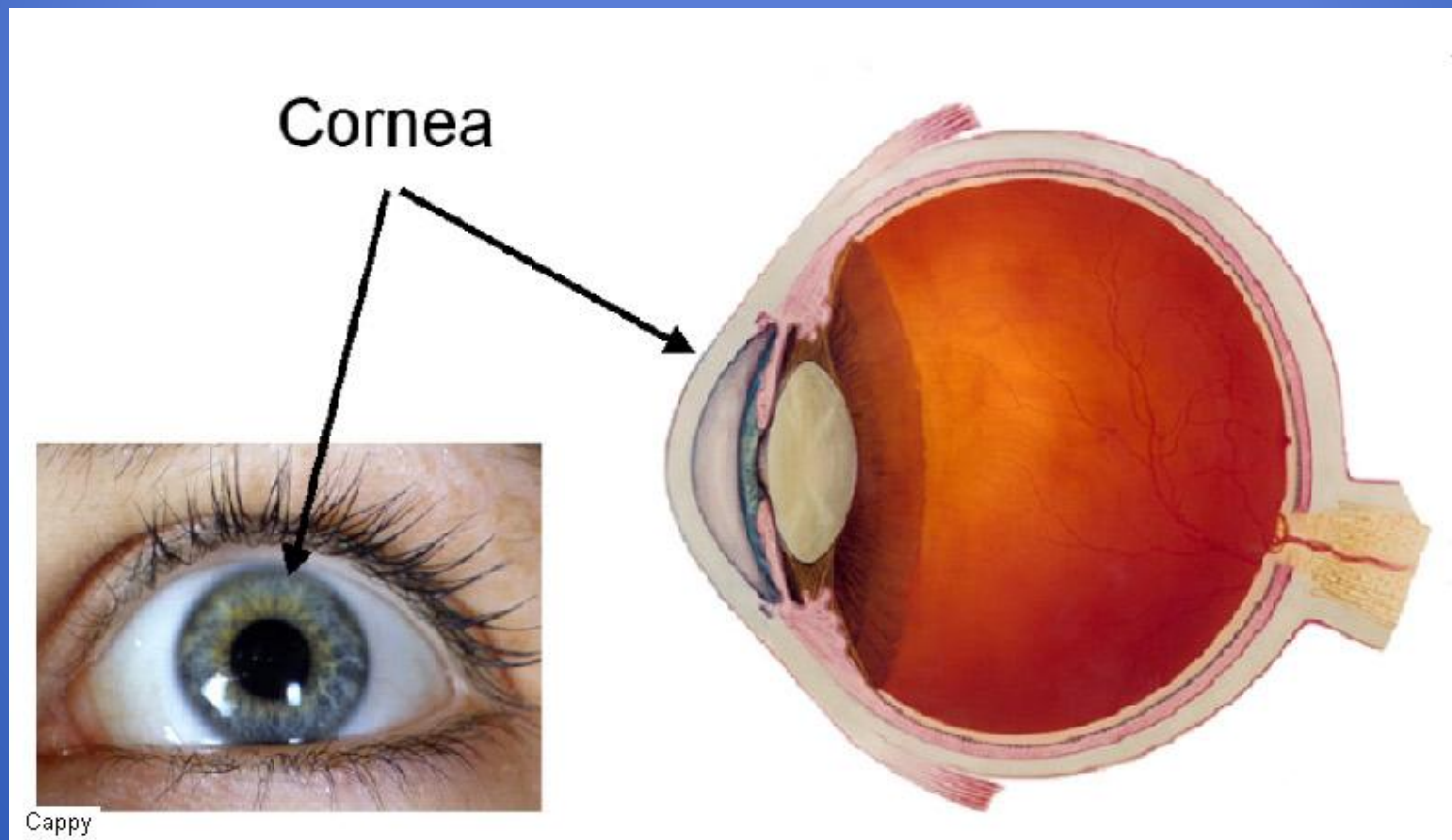
Оптическая система глаза состоит из роговицы, жидкости передней и задней камер глаза, хрусталика и стекловидного тела, но аккомодационная функция глаза зависит, главным образом, от роговицы и хрусталика.



**Роговица** – передняя часть склеры глаза – это сферической формы, бессосудистая, высокочувствительная, прозрачная, оптически гомогенная оболочка с гладкой, зеркальной, блестящей поверхностью.



Форма роговицы не может изменяться, поэтому рефракция здесь зависит только от угла падения света на роговицу, который, в свою очередь, зависит от удаленности предмета. В роговице происходит наиболее сильное преломление света, а функция хрусталика состоит в окончательной «наводке на фокус».



# РОГОВИЦА ГЛАЗА



**Хрусталик** – это прозрачное эластическое образование, имеющее форму двояковыпуклой линзы. Хрусталик покрыт стекловидной, бесструктурной, прозрачной, очень плотной и сильно преломляющей свет капсулой (сумкой), по всему краю которой к цилиарной мышце ресничного тела тянутся тонкие, но очень упругие волокна (цинновы связки).

Они сильно натянуты и держат хрусталик в растянутом (уплощённом) состоянии, но при рассматривании близких предметов натяжение цинновых связок уменьшается, натяжение капсулы ослабляется и хрусталик, вследствие своей эластичности, становится более выпуклым. Сила преломления его увеличивается, – происходит аккомодация глаза на близкое расстояние.

При смотреии вдаль, увеличившееся натяжение цинновых связок, приводит к обратному эффекту: хрусталик делается более плоским и его преломляющая способность становится наименьшей.





Хрусталик молодых людей содержит в своём составе преимущественно растворимые белки, но после 20 лет белковый состав хрусталика постепенно изменяется: увеличивается количество его нерастворимых фракций и уменьшается растворимых. В результате, в хрусталике формируется **плотное ядро**, которое к старости ещё более увеличивается, и хрусталик почти полностью теряет свою эластичность. Постепенно теряется проницаемость сумки хрусталика, в результате чего изменяется снабжение его питательными веществами и формируется его помутнение (**старческая катаракта**).

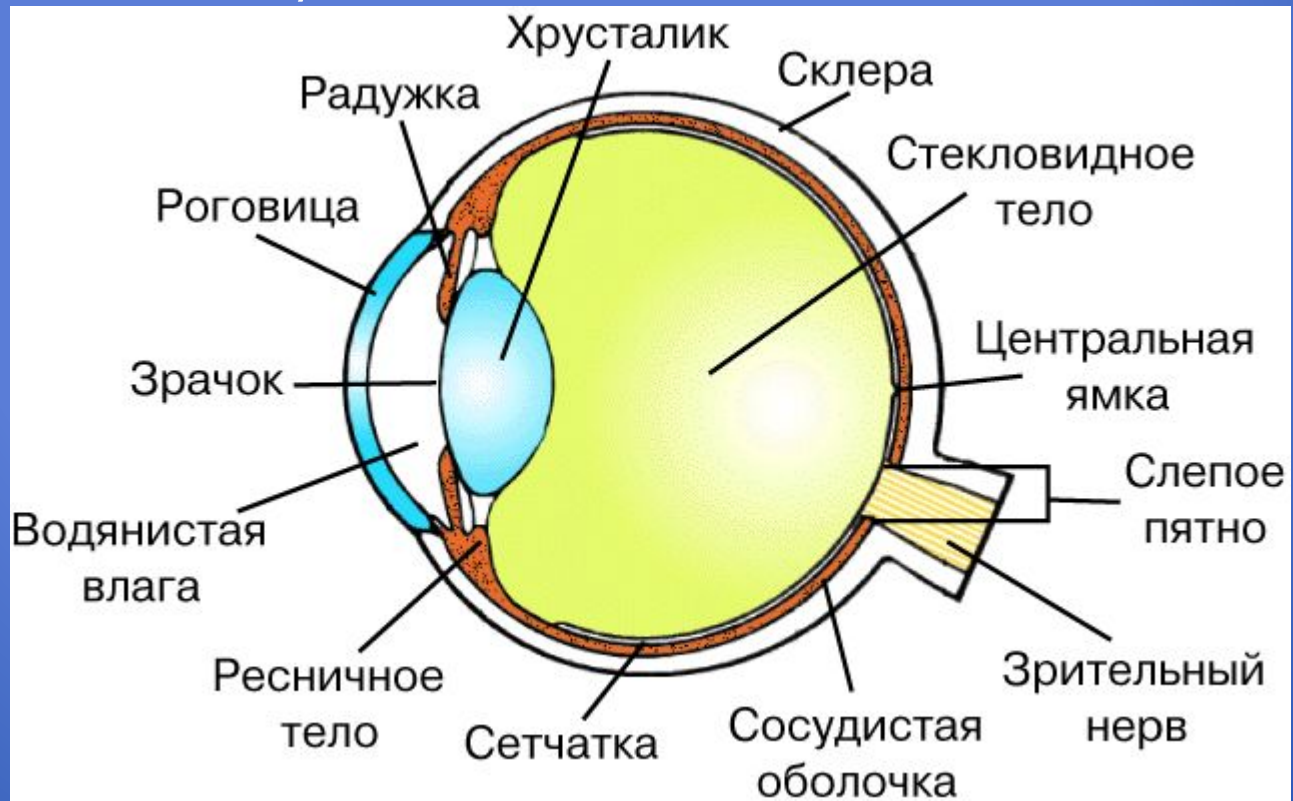
Normal, clear lens

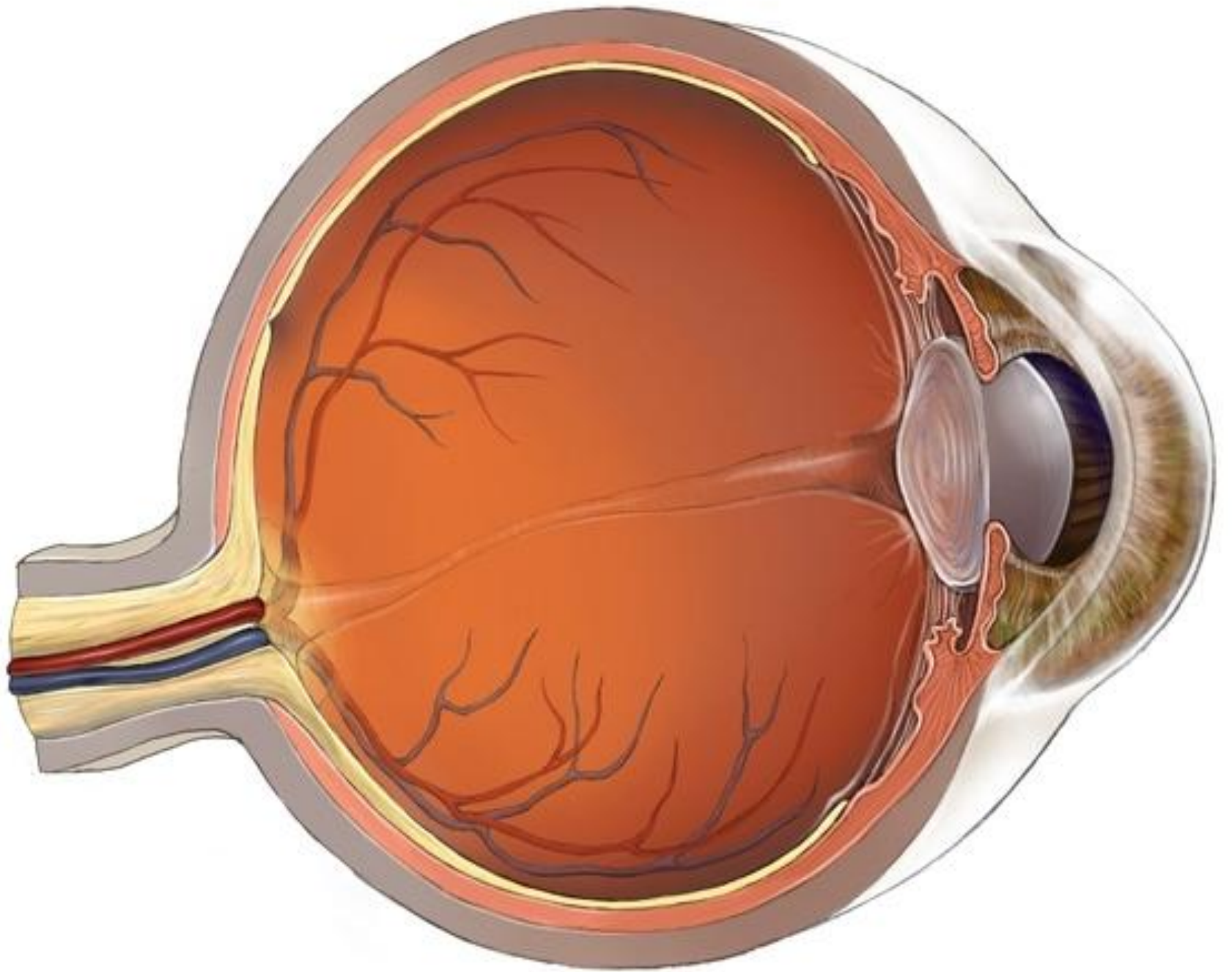


Lens clouded by cataract

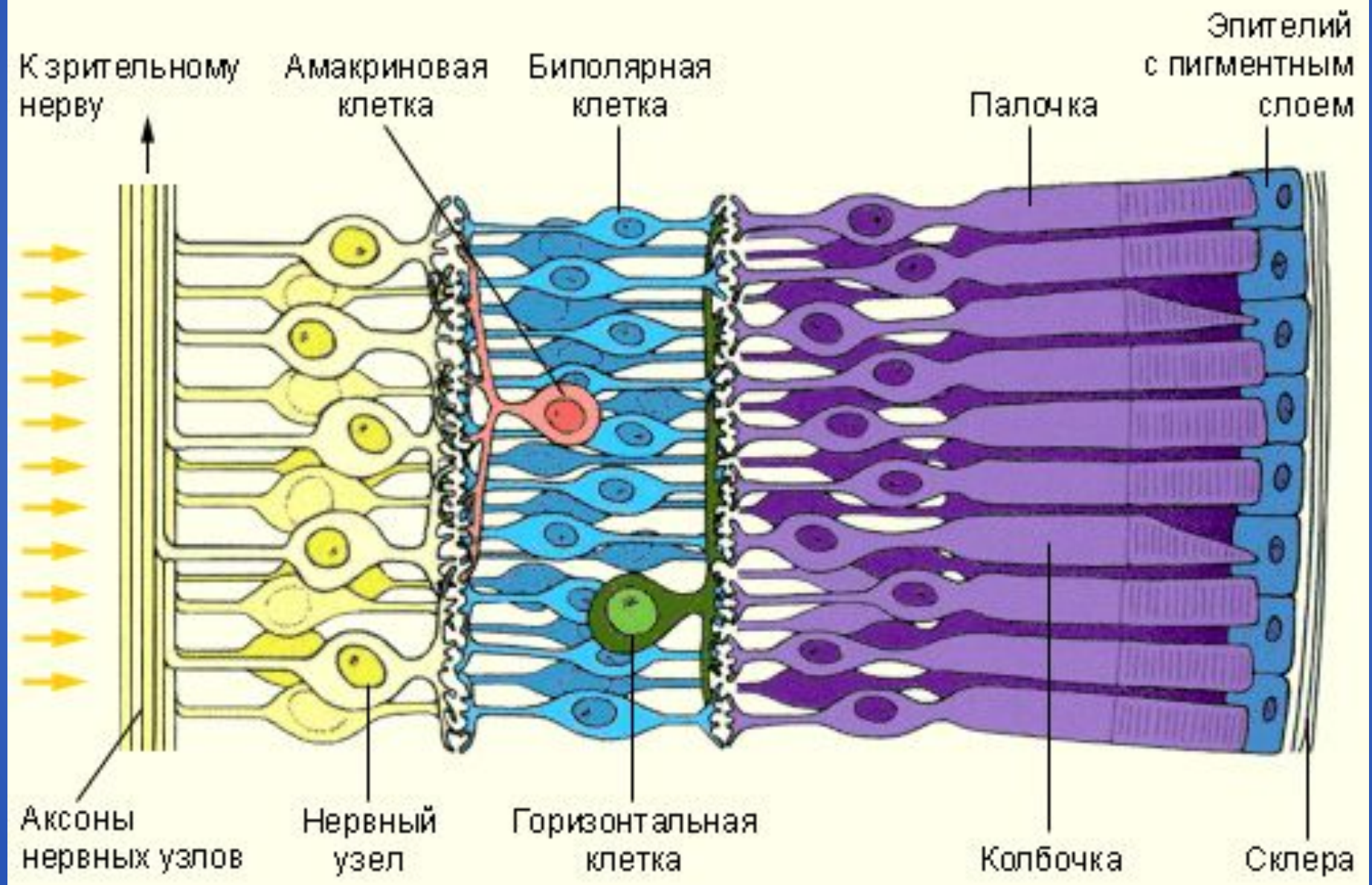


Полость глаза позади хрусталика заполнена прозрачным, аморфным, желеобразным веществом – стекловидным телом, заполняющим пространство между сетчаткой и хрусталиком. В стекловидном теле содержится до 98% воды и ничтожно малое количество белка и солей. Оно не имеет сосудов и нервов, но придаёт форму и упругость главному яблоку, является одним из важных элементов оптической системы глаза; при заболеваниях – мутнеет.





# Сетчатка состоит из 10 слоёв, но в светоощущении участвуют 2, 6 и 9-й



# Слой сетчатки: схема

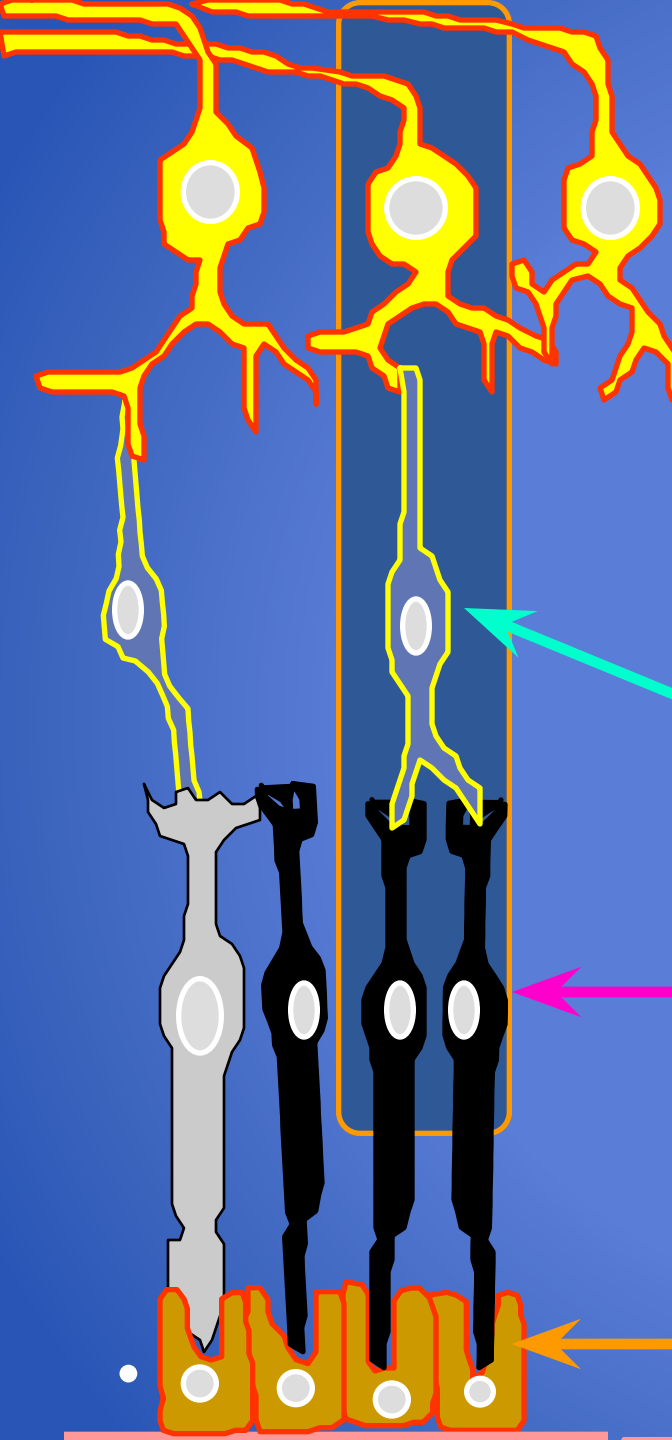
← ГАНГЛИОЗНЫЕ КЛЕТКИ

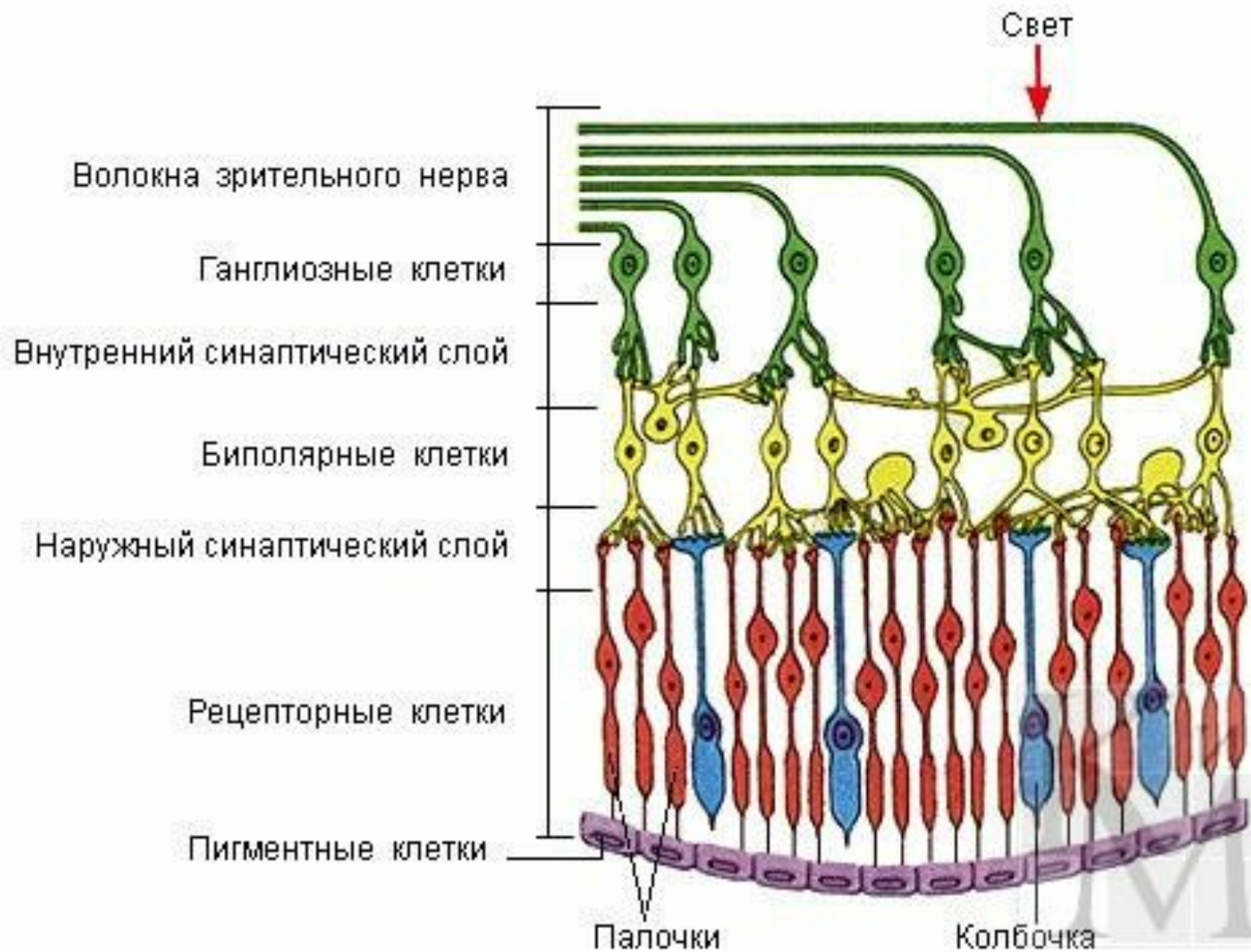
Биполярные клетки

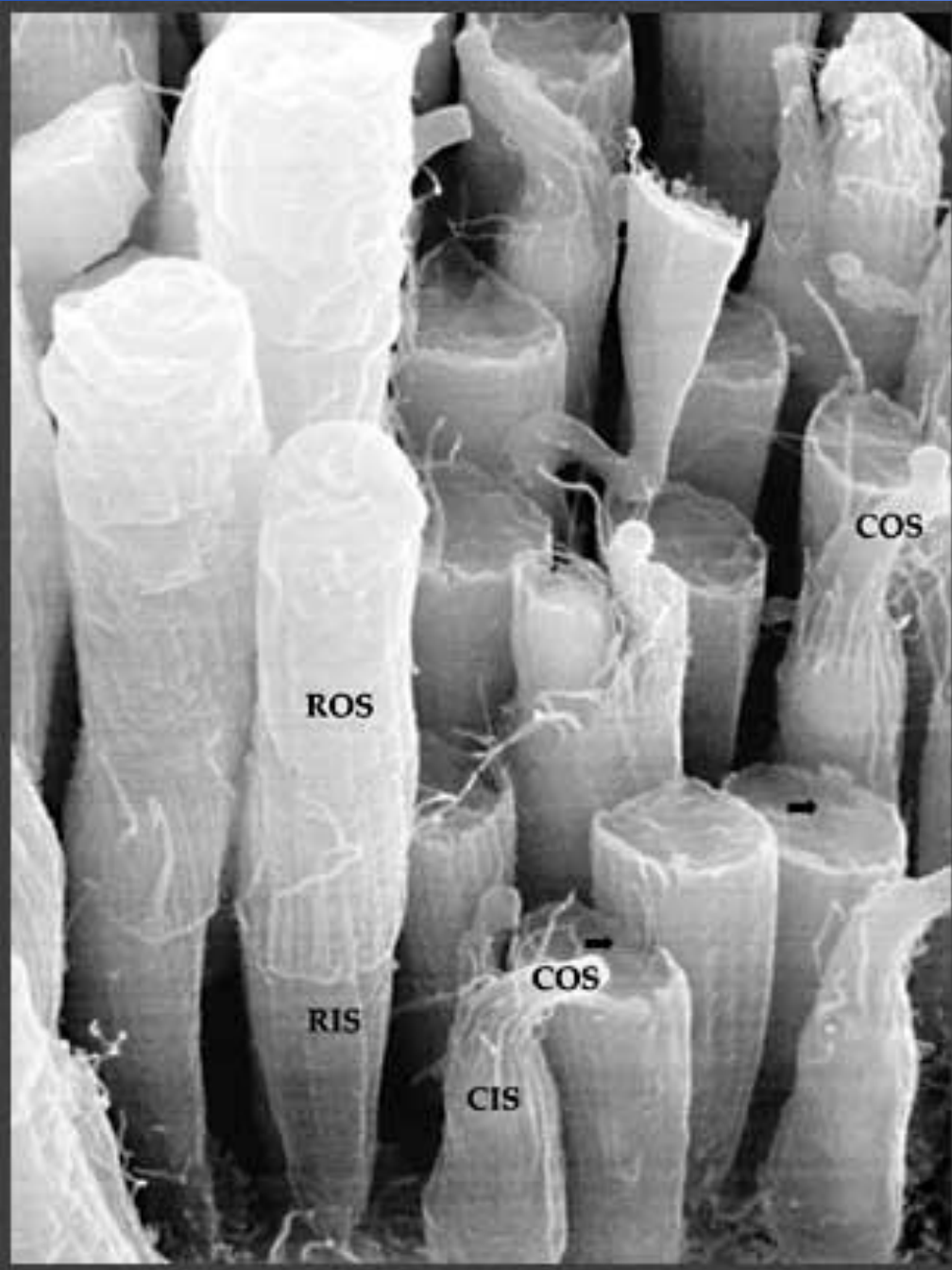
← фоторецепторы

← Пигментный эпителий

мембрана







В сетчатке человека насчитывается примерно 5-6 млн. колбочек и 120 млн. палочек. Колбочки являются носителями цветного, дневного зрения, палочки – носителями светощущения в сумеречных (бесцветовых) условиях. Чувствительность палочек зависит от концентрации зрительного пурпура в них и нервных элементов зрительного анализатора.

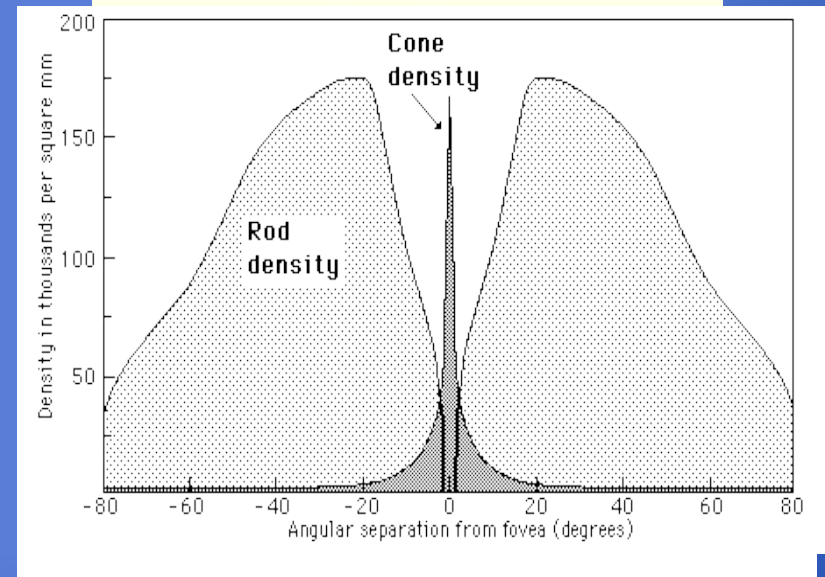
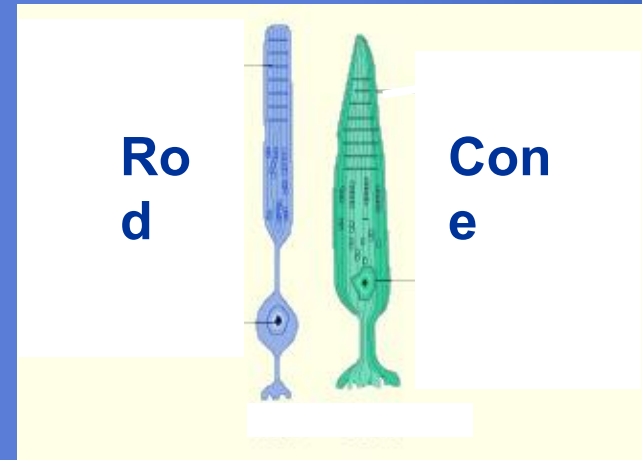
# Два вида фоторецепторов

## Палочки - 120 млн

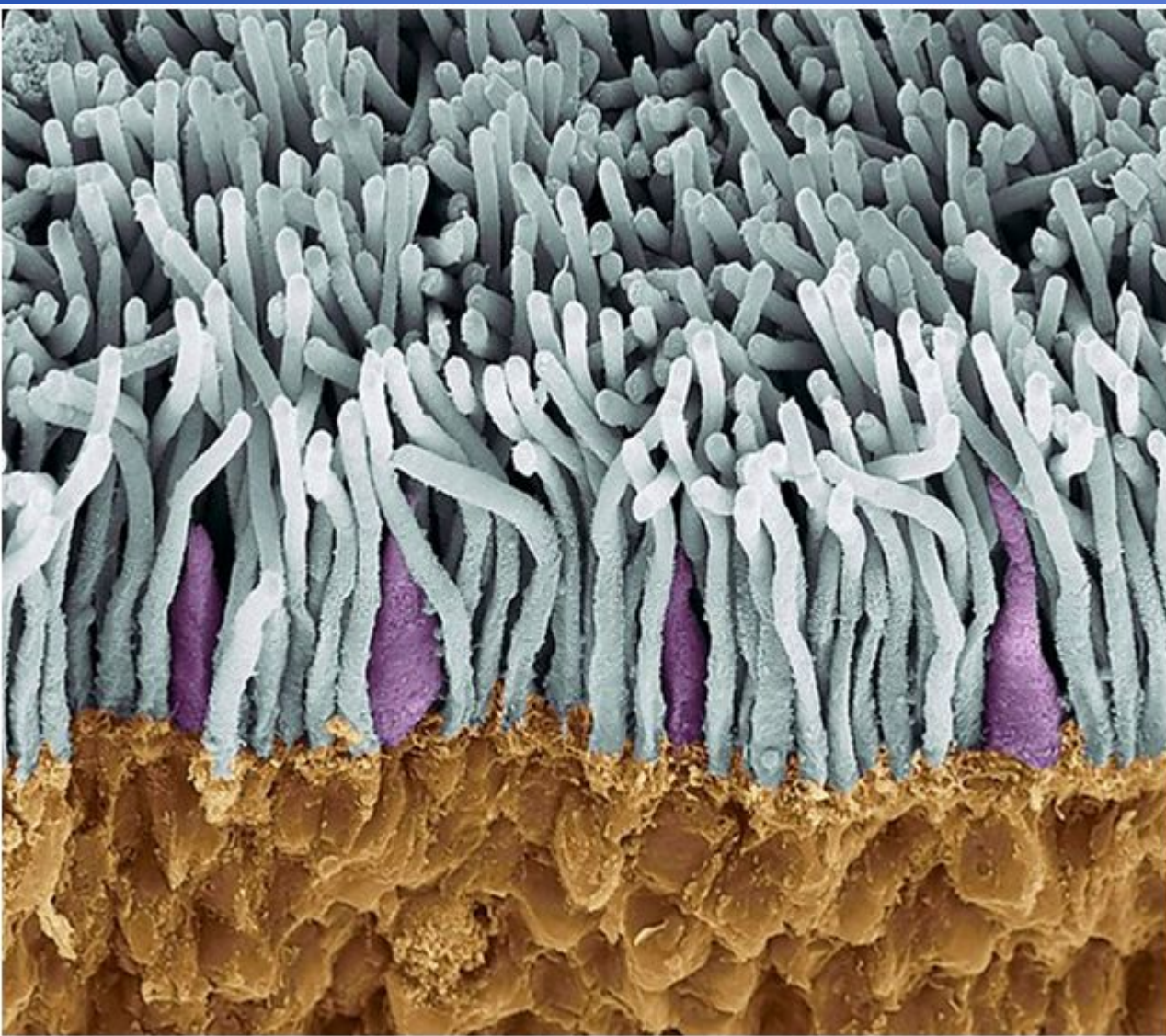
Для ночного зрения  
> 90 % фоторецепторов  
В Fovea их нет

## Колбочки – 5-6 млн

Для дневного зрения  
< 10 % фоторецепторов  
Сконцентрированы в Fovea







За цветное зрение отвечают колбочки.  
Это длинные клетки состоят из двух частей:

- **Дистальная часть** – наружный сегмент, содержит фоторецепторные мембраны, здесь происходит поглощение света и начинается процесс зрительного возбуждения
- Ресничка соединяет наружный сегмент с внутренним
- **Внутренний сегмент** – скопления митохондрий (эллипсоид), ядро, ЭПС, гранулы гликогена; в синаптическую часть вырастают окончания вторых нейронов сетчатки – биполярных и горизонтальных клеток.

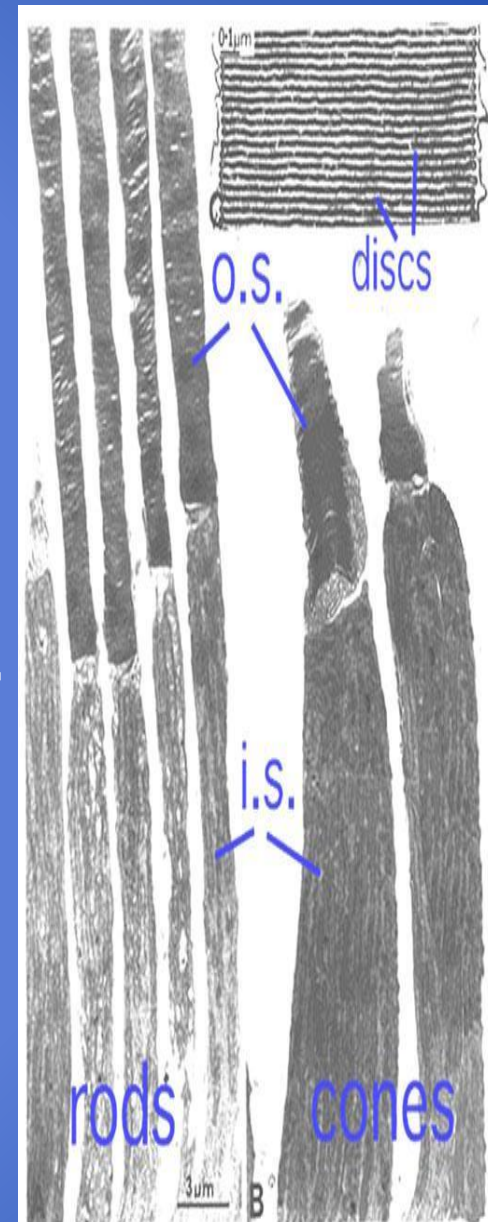
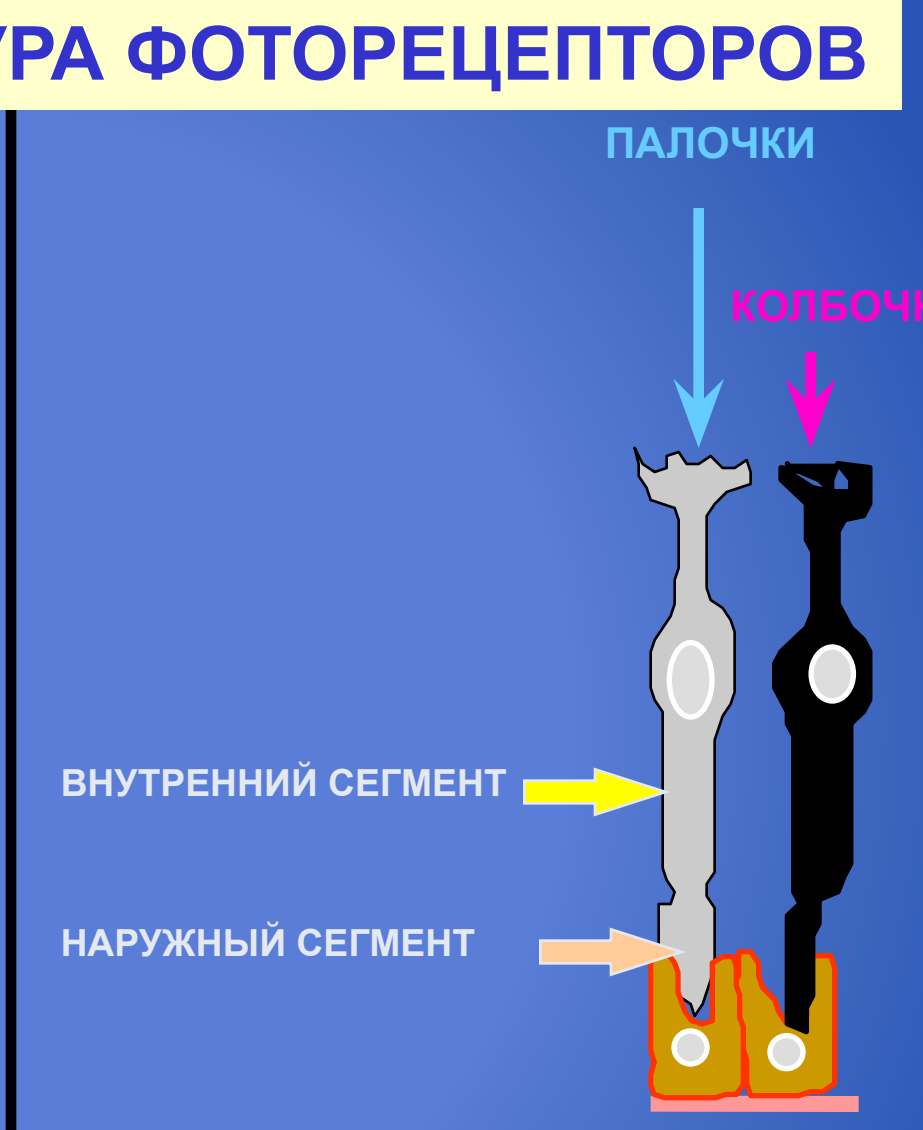
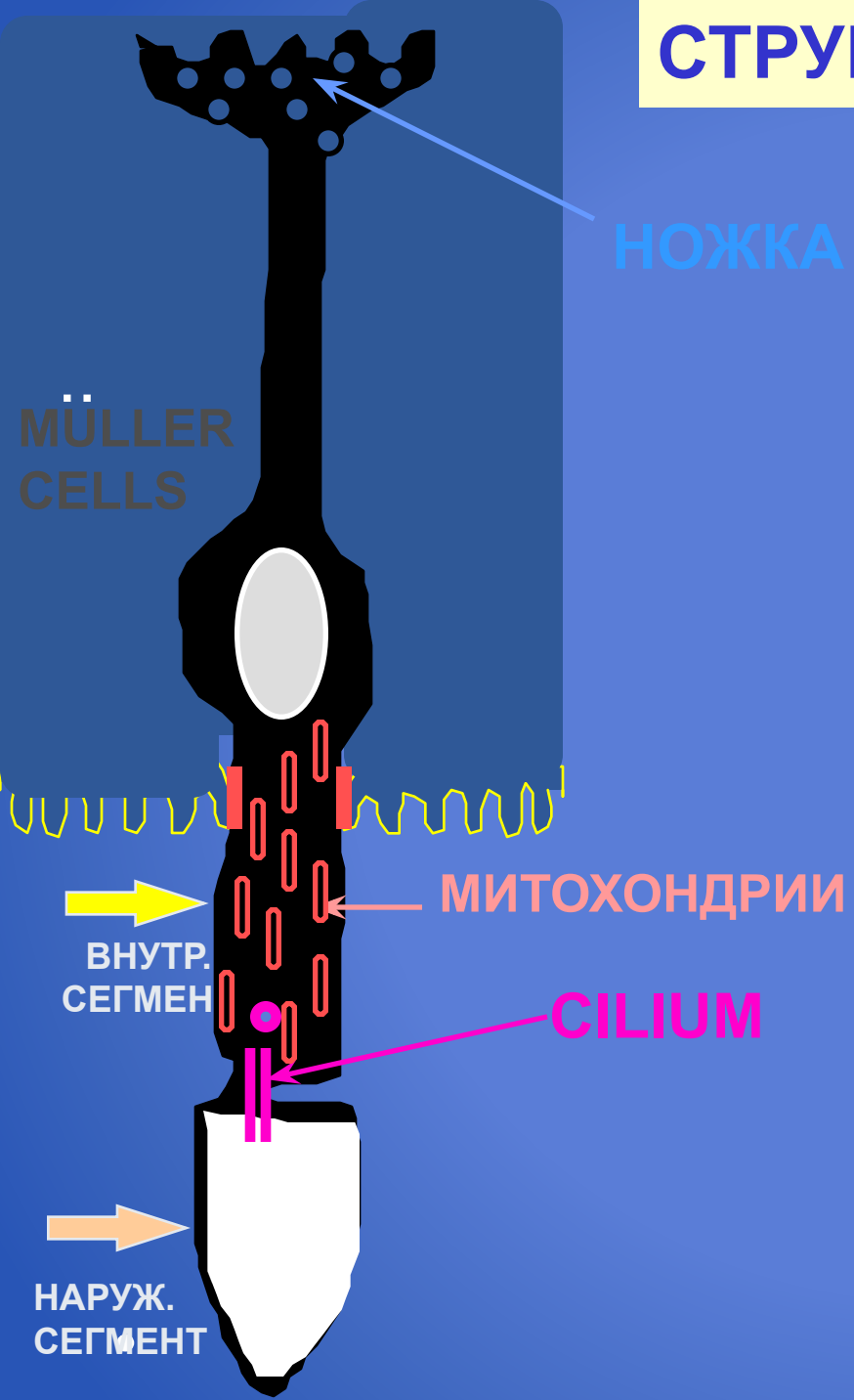
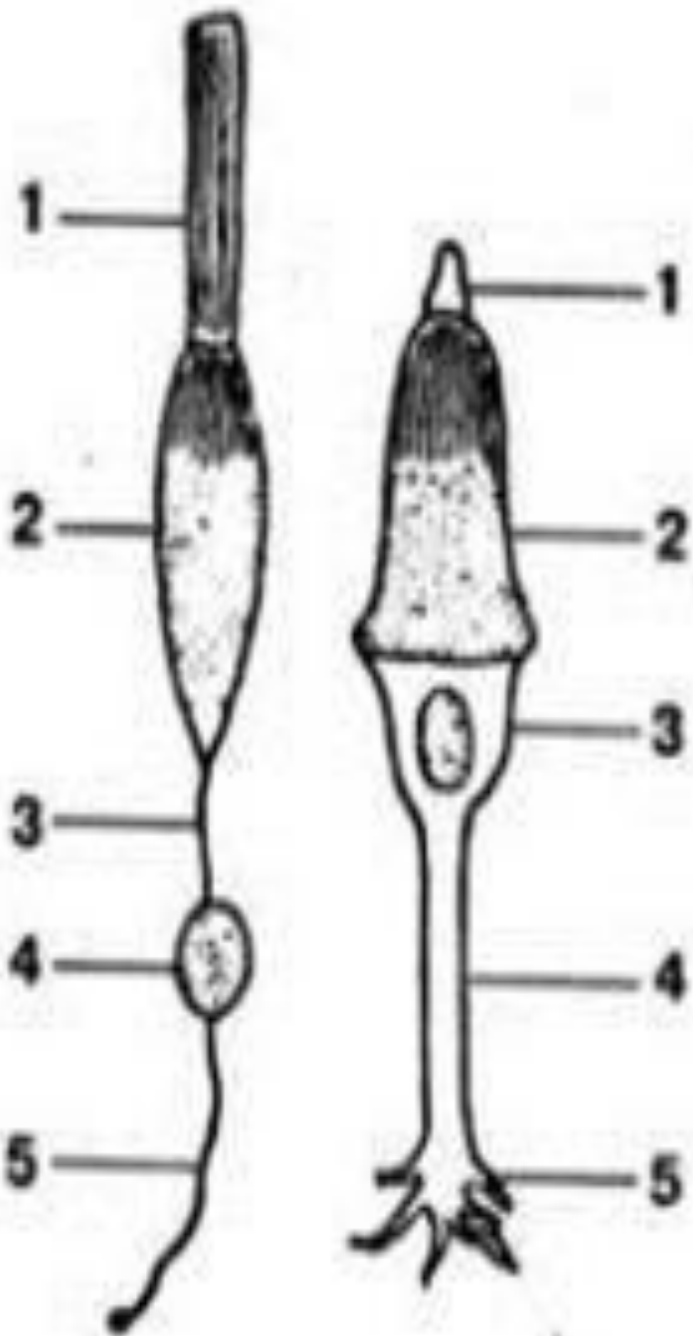


Fig 2. Low magnification EM image of monkey rods and cones with an enlargement of the outer segment discs.

# СТРУКТУРА ФОТОРЕЦЕПТОРОВ





**А – палочка:**

- 1 – наружный членик;
- 2 – внутренний членик;
- 3 – волокно;
- 4 – ядро;
- 5 – конечная пуговка.

**Б - колбочка:**

- 1 – наружный членик;
- 2 – внутренний членик;
- 3 – ядро;
- 4 – волокно;
- 5 – ножка



*Fig1b. Scanning electron micrograph of the rods and cones of the primate retina. Image adapted from one by Ralph C. Eagle/Photo Researchers, Inc.*

- У человека наружные сегменты колбочек содержат около 800 дисков. В процессе эмбрионального развития диски колбочек образуются как складки-впячивания плазматической мембраны реснички.



Photoreceptor outer segments and the disc structures.  
(From Carlos Rozas, CanalWeb, Chile).

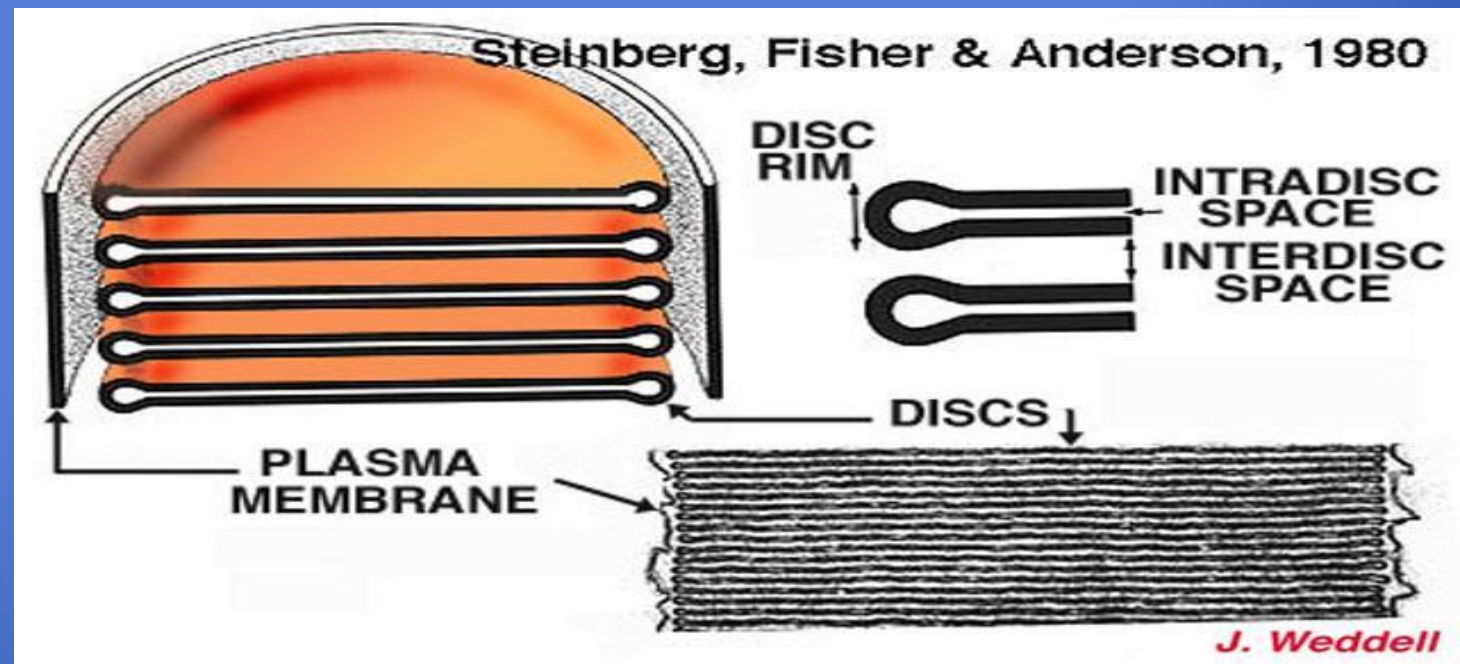
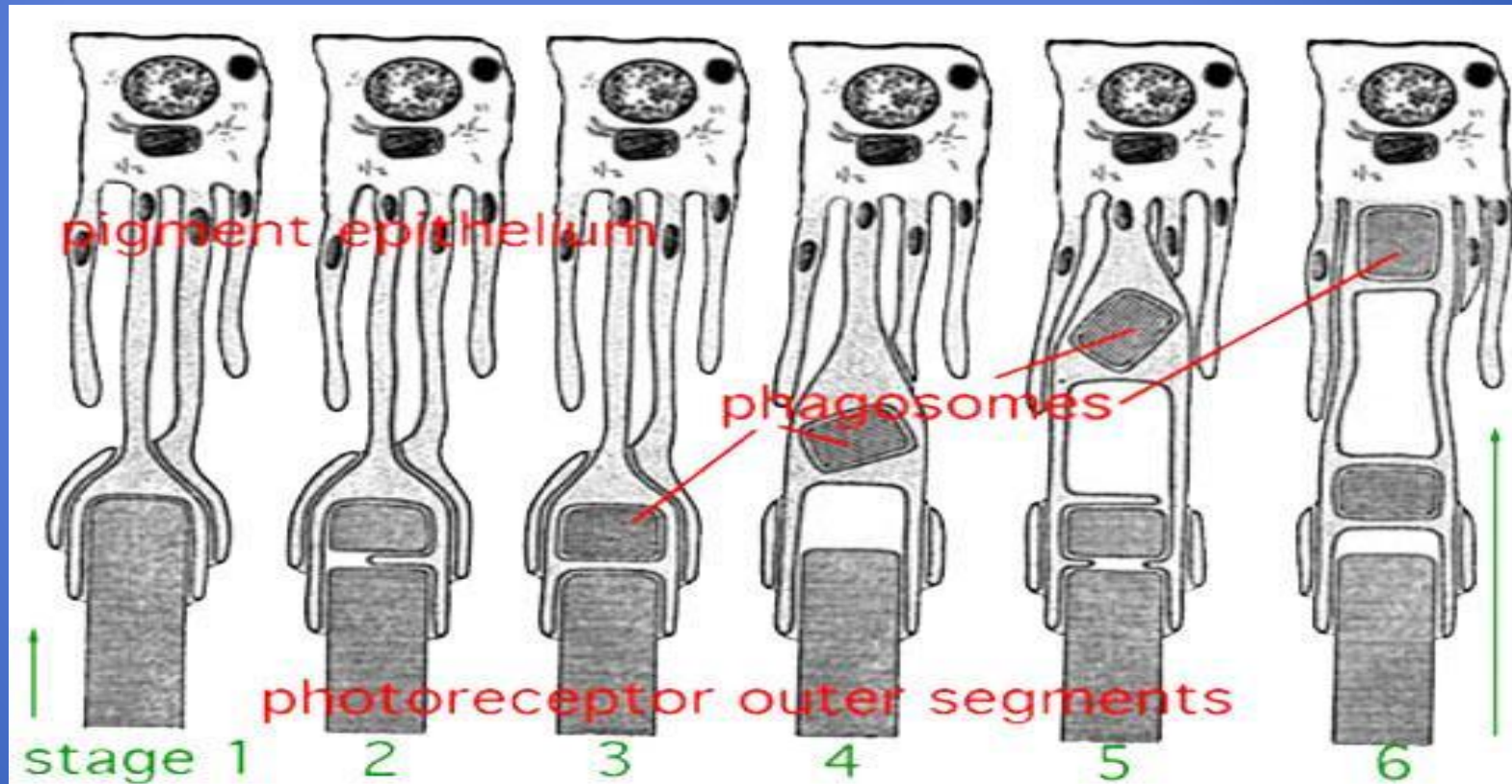


Fig. 6. Drawing of rod outer segment discs.

- В колбочках диски сохраняют связь с плазматической мембраной на протяжении всей жизни, а по мере старения дистальные концы со временем фагоцитируются клетками пигментного эпителия.



*Fig. 12. Diagrammatic representation of disc shedding and phagosome retrieval into the pigment epithelial cell.*

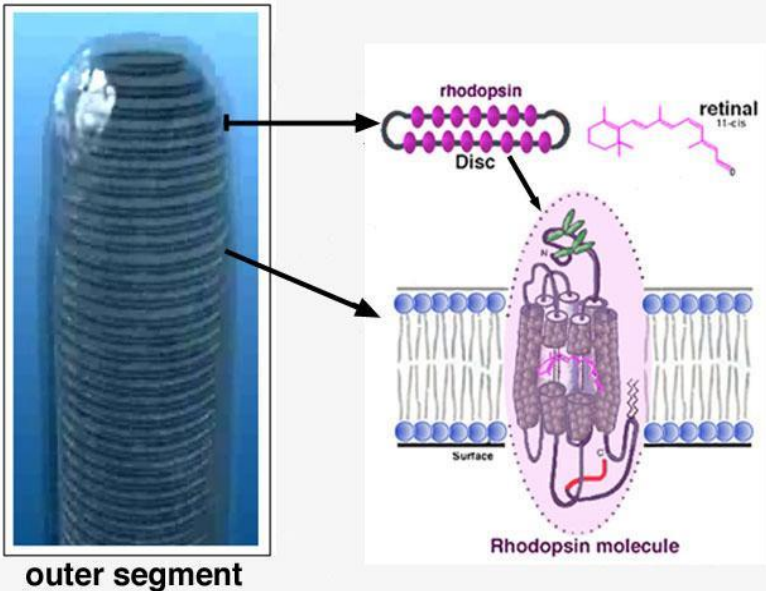


Fig 8. Schematic diagram of Rhodopsin in the outer segment discs.

В палочках родопсины,  
В колбочках - йодопсины

- Мембрана дисков, как и любая клеточная мембрана, состоит из липидного бислоя с пронизывающими его интегральными белками – зрительным пигментом.
- Пигмент – хромопротеид, содержит хромофорную группу (лиганд) – 11- цис ретиналь (альдегид витамина А) и белок опсин (350 аминокислот).
- Пигменты имеют разные пики чувствительности.



Молекула пигмента, изгибаясь, пронизывает липидный бислой мембраны, образуя семь трансмембранных спиралей. С 7-й спиралью связана хромофорная группа.

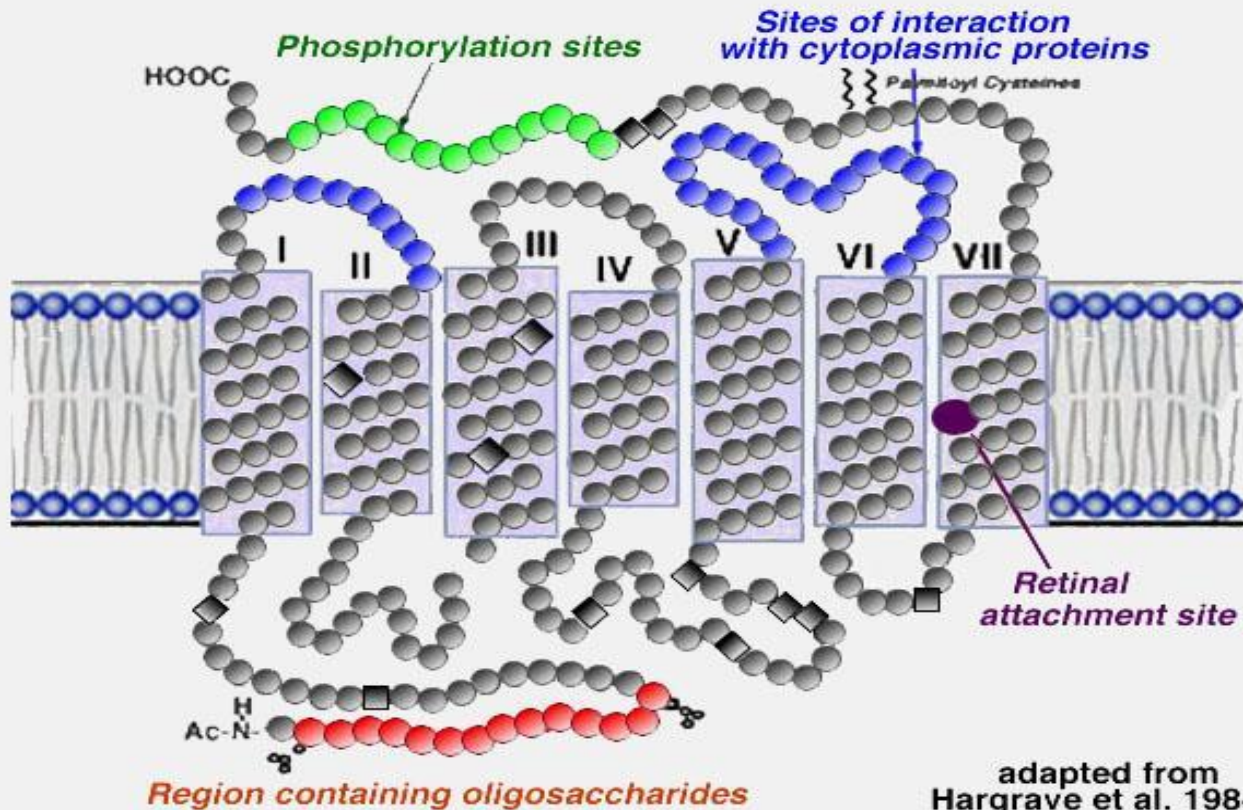


Fig. 9. Structural model of rhodopsin showing seven transmembrane components and the attachment site for retinal.

Самым важным и очень тонким местом сетчатки является так называемое пятно сетчатки («жёлтое пятно») с центральной ямкой, где сосредоточена основная масса колбочек. По мере продвижения к периферии плотность колбочек снижается, но одновременно увеличивается плотность палочек. Колбочки, обладающие высокой разрешающей способностью, в основном обеспечивают дневное цветоощущение и участвуют в точном восприятии формы, цвета и деталей предмета. Жёлтое пятно, особенно его центральная ямка, – место наиболее чёткого, так называемого центрального зрения.



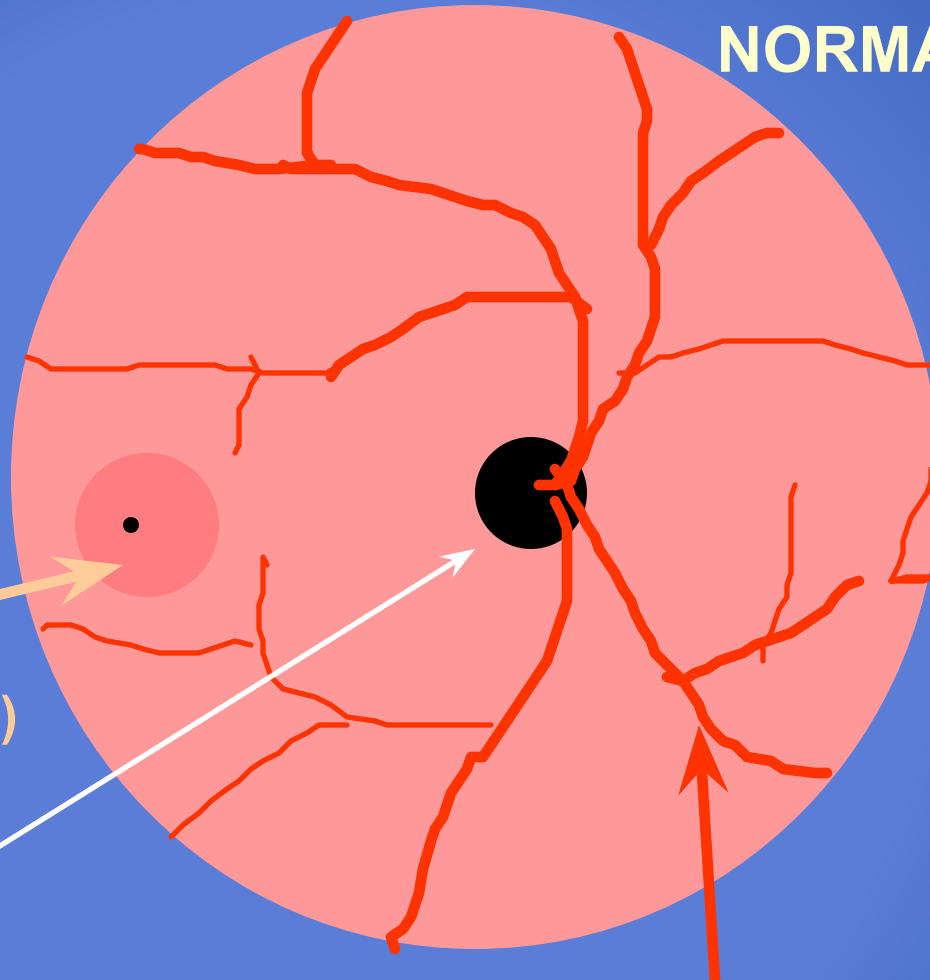
# Глазное дно. Офтальмоскопия

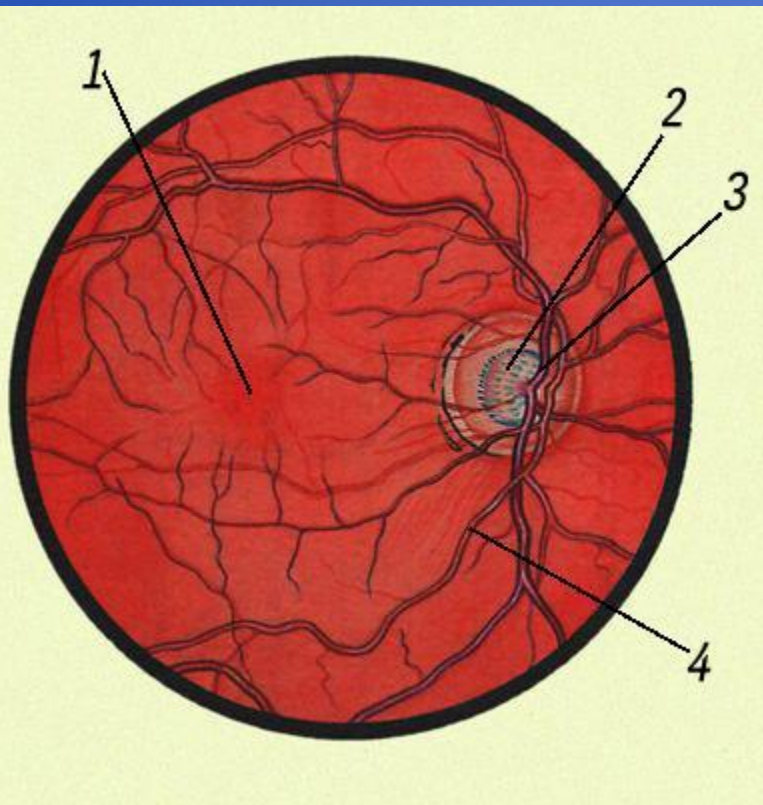
NORMAL VIEW

Желтое пятно (макула)

Оптический диск (слепое пятно)

Кровеносные сосуды



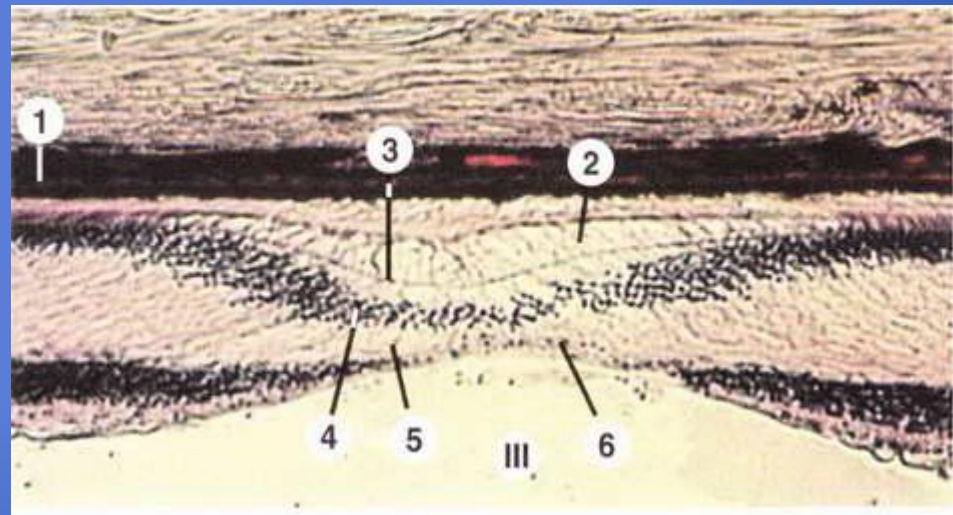


1.- желтое пятно; 2- диск зрительного нерва; 3- артерия; 4 - вена.

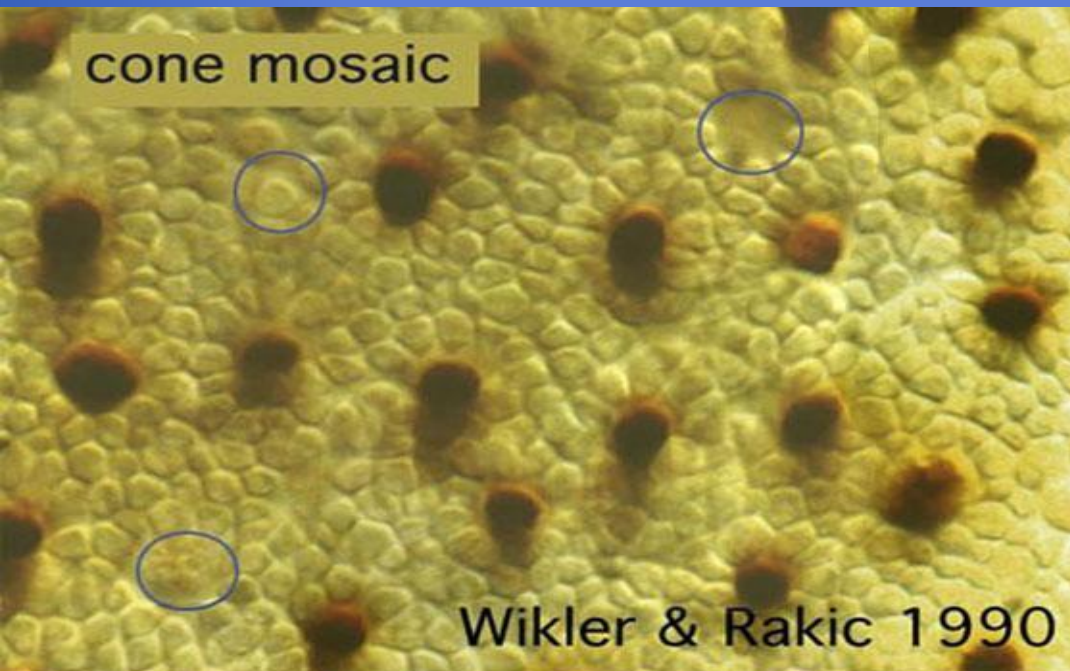
III — желтое пятно.

1 — пигментный эпителий;  
2 — слой колбочек (палочковые нейроны отсутствуют): существенно утолщен;

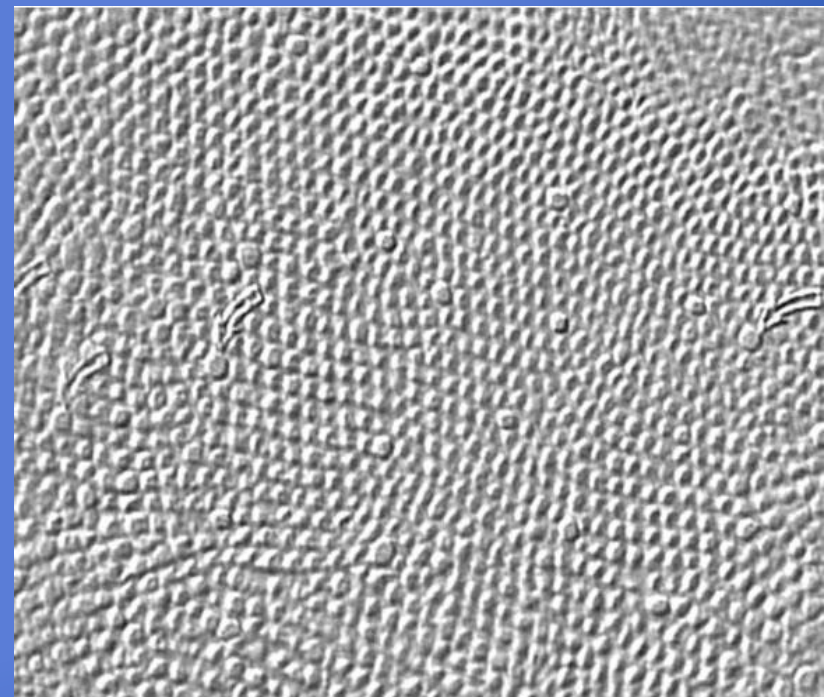
3 — наружная пограничная мембрана: хорошо выявляется на фоне утолщенного слоя колбочек.



**Распределение колбочек и палочек по сетчатке человека** (Curcio, 1987). У взрослого человека содержится от 80 до 110 млн палочек и от 4 до 5 млн колбочек. Плотность колбочек максимальна в ямке, в которой содержится 10% всех колбочек. За пределами фовеа плотность колбочек резко уменьшается по всем направлениям макулярной области и остается приблизительно одинаковой, но асимметричной: в назальной области плотность колбочек выше, чем в темпоральной, особенно на периферии (Кравков, 1951). Колбочки присутствуют почти по всей периферической зоне, однако цветовое зрение в ней очень слабое.



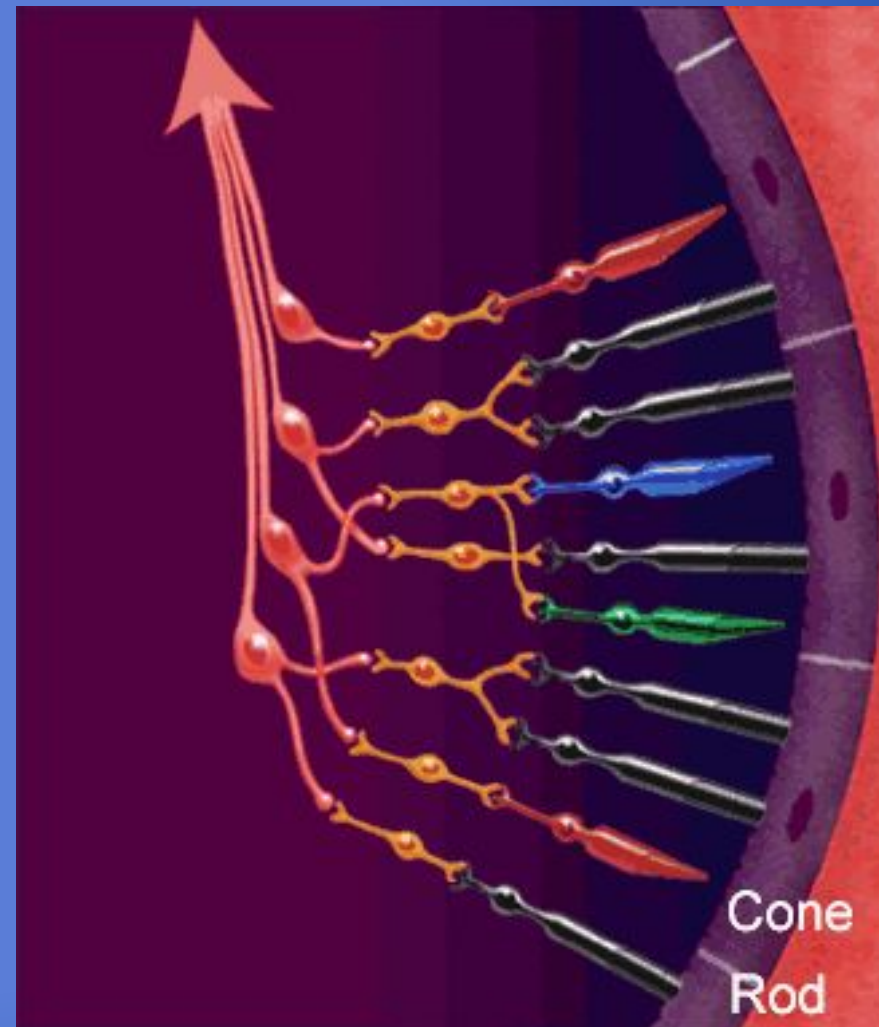
*Fig. 17. Primate cone mosaic as revealed by anti-cone opsin immunostaining. Cones that do not stain brown are blue cones (blue circles).*



*Fig. 13. Tangential section through the human fovea. Larger cones (arrows) are blue cones.*

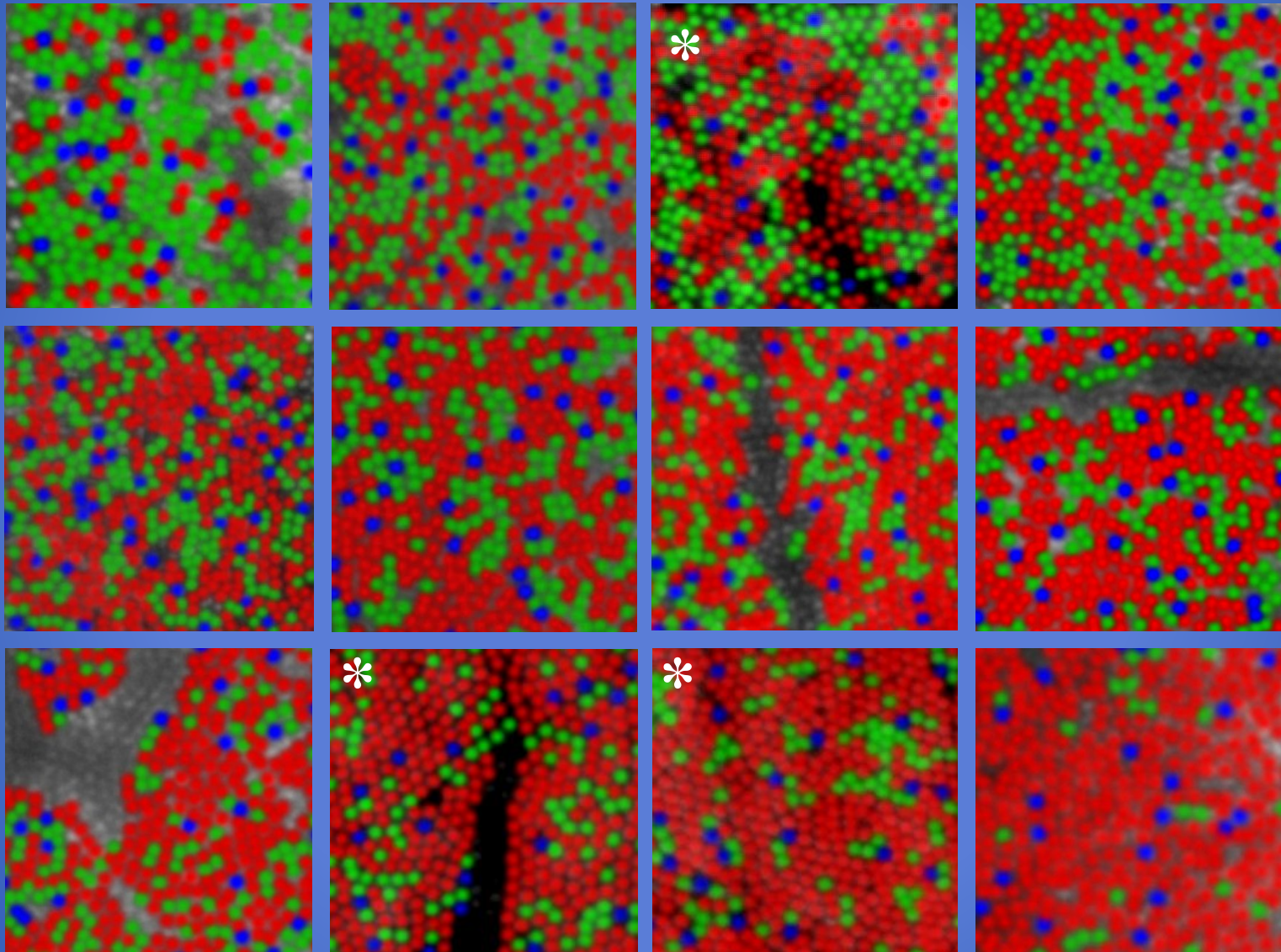
# Колбочки у человека бывают трех видов:

- **Красные** – содержат пигмент эритролаб – пик чувствительности которого лежит в длинноволновой части спектра
- **Зеленые** – содержат пигмент хлоролаб – пик чувствительности которого лежит в средневолновой части спектра
- **Синие** – содержат пигмент цианолаб – его пик чувствительности лежит в коротковолновой части спектра



# Индивидуальная вариабельность частоты встречаемости L и M колбочек у человека

1:  
3



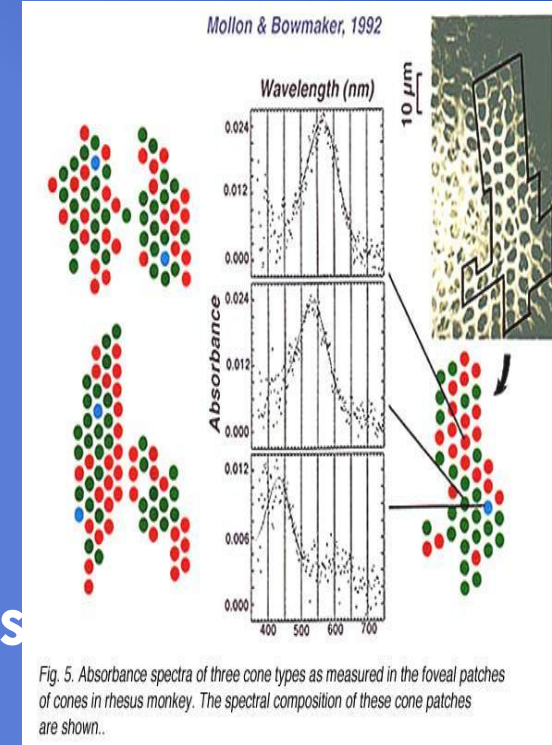
5  
arcmin

16:  
1

\* A. Roorda & D.R. Williams, *Nature* 1999

H. Hofer, J. Carroll, D.R. Williams

В фовеа L и M колбочки распределены равномерно по отношению друг к другу и морфологически не отличаются. Численное же соотношение L и M колбочек в фовеа человека по психофизическим измерениям предполагалось в пределах 2:1 (Ciceron, Nerger, 1989). Однако измерения в фовеа обезьян вывели их численное соотношение как примерно равное (Mollon, Bowmaker, 1992). А. Roorda и D. Williams в 1999 г., проделав измерения по спектральной чувствительности «красных» и «зеленых» колбочек в живом глазе человека методом лазерной интерферометрии, нашли, что люди сильно отличаются по численным пропорциям тех и других колбочек.





S-колбочки морфологически имеют большие размеры и меньшее численное соотношение в области фовеа. В макуле процентное соотношение длинно- и средневолновых колбочек к S-колбочкам равняется 88-92% к 8-12% (Ahnelt, 1987, 1994). Центральная область сетчатки, свободная от синих колбочек, имеет размер в 2 градуса угла зрения (Шамшинова, 1999).

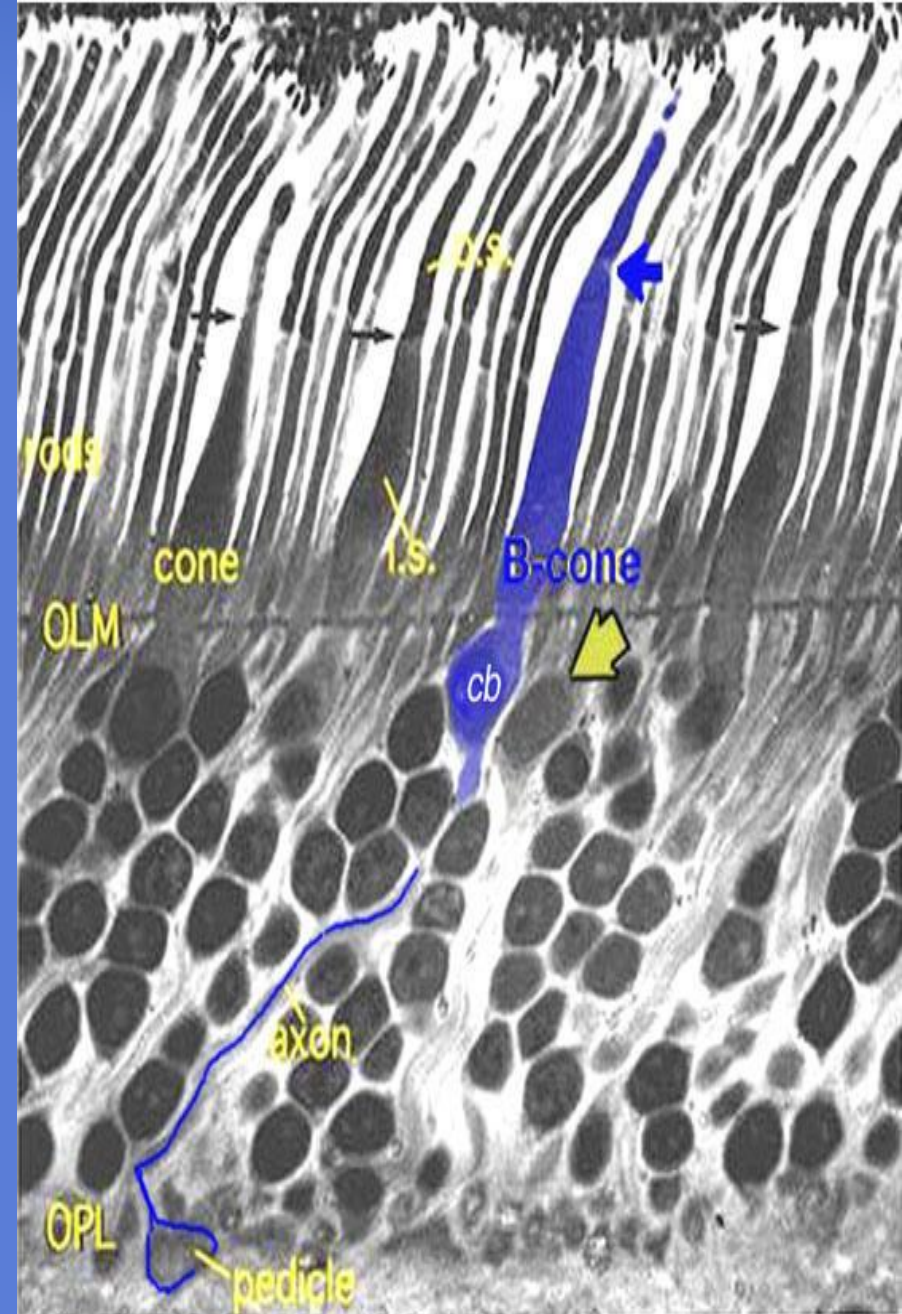


Fig. 18. Vertical section of Human retina to show the difference between L- and M-cones and an S-cone (blue cone).

Отделы сетчатки вокруг жёлтого пятна обеспечивают **периферическое, или боковое, зрение**, при котором форма предмета воспринимается менее четко. Поэтому, если центральное зрение дает возможность рассматривать мелкие детали и опознавать предметы, то периферическое зрение является очень важной функцией, расширяющей возможности свободной ориентации в пространстве. Оно определяется полем зрения, которое охватывается одновременно фиксированным глазом. Без периферического зрения человек практически слеп, он не может передвигаться без посторонней помощи.

Колбочки в фовеа образуют так называемый «карликовый» (миниатюрный) путь по принципу «один к одному», когда одна колбочка соединена с on- и off- биполярами, а on- и off- биполяры, в свою очередь, соединены с on- и off- ганглиозными клетками,

проект НКТ.

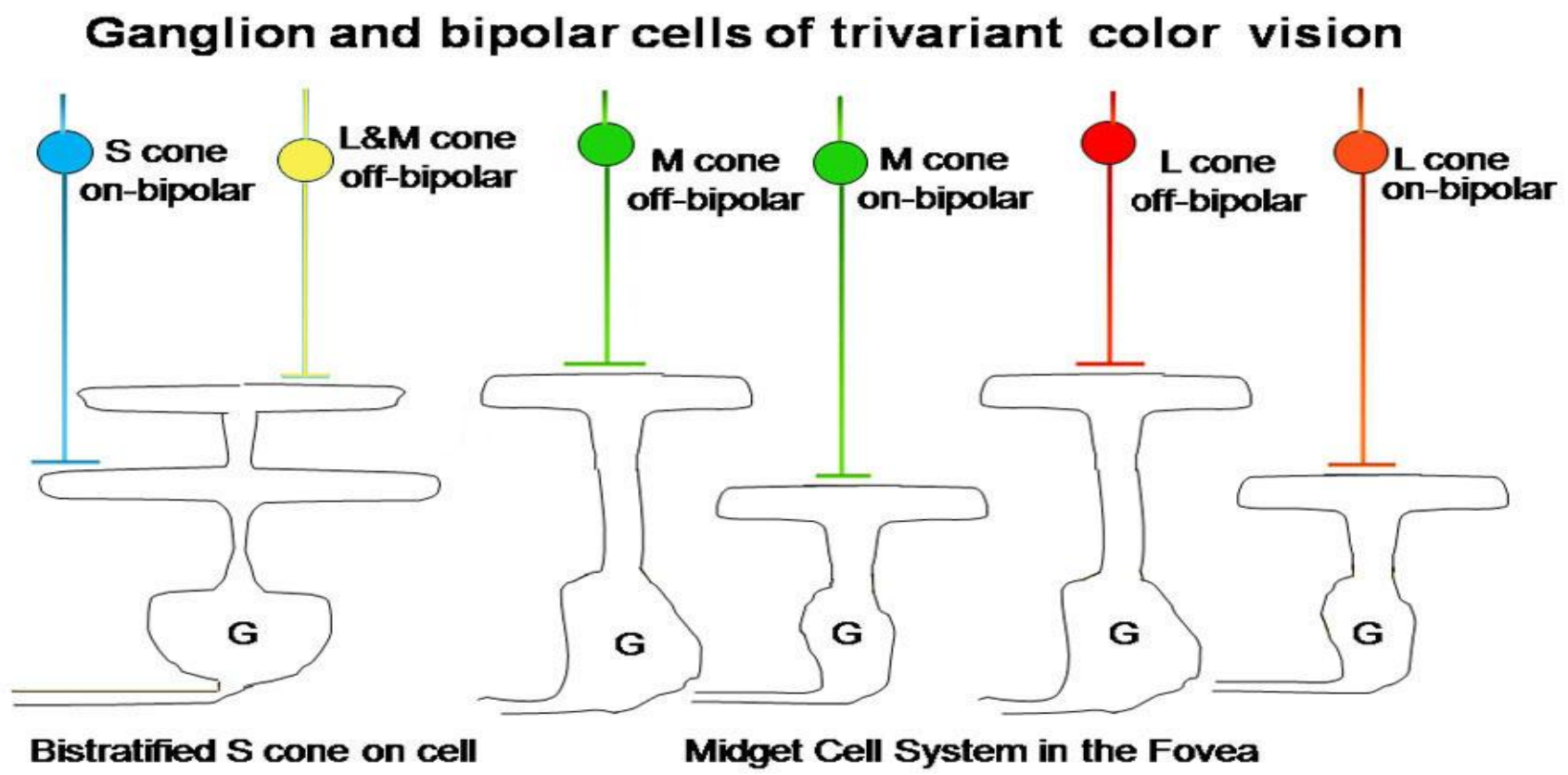
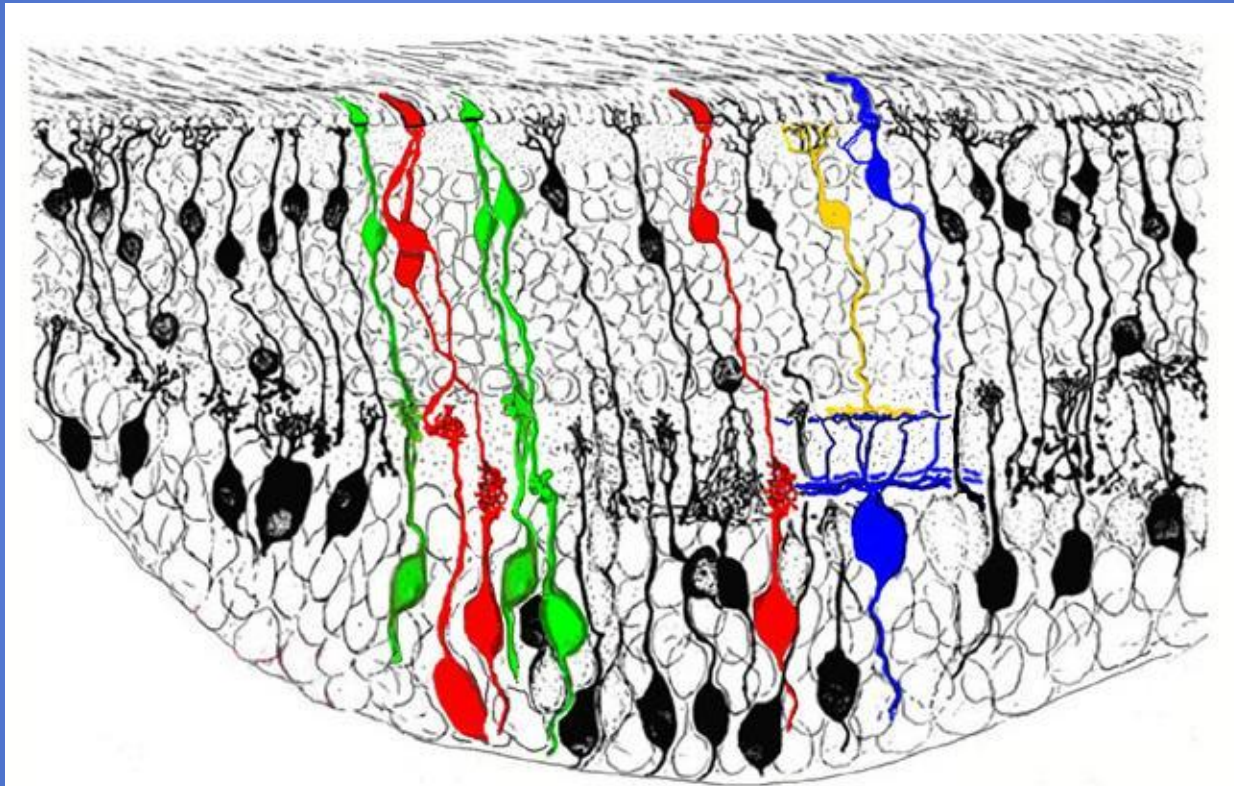


Fig. 16 shows four varieties of ganglion cells considered to mediate trivariant color vision in primates. The L cone on/ S cone off cells reported to be in the koniocellular layers of the lateral geniculate nucleus are not included here.

# Миниатюрные пути фовеа



*Fig. 19.1. The commonest ganglion cells types of the primate fovea are the P cells or midget ganglion cells and the bistratified blue-on/yellow-off ganglion cell. Adapted and updated from Polyak, 1941.*

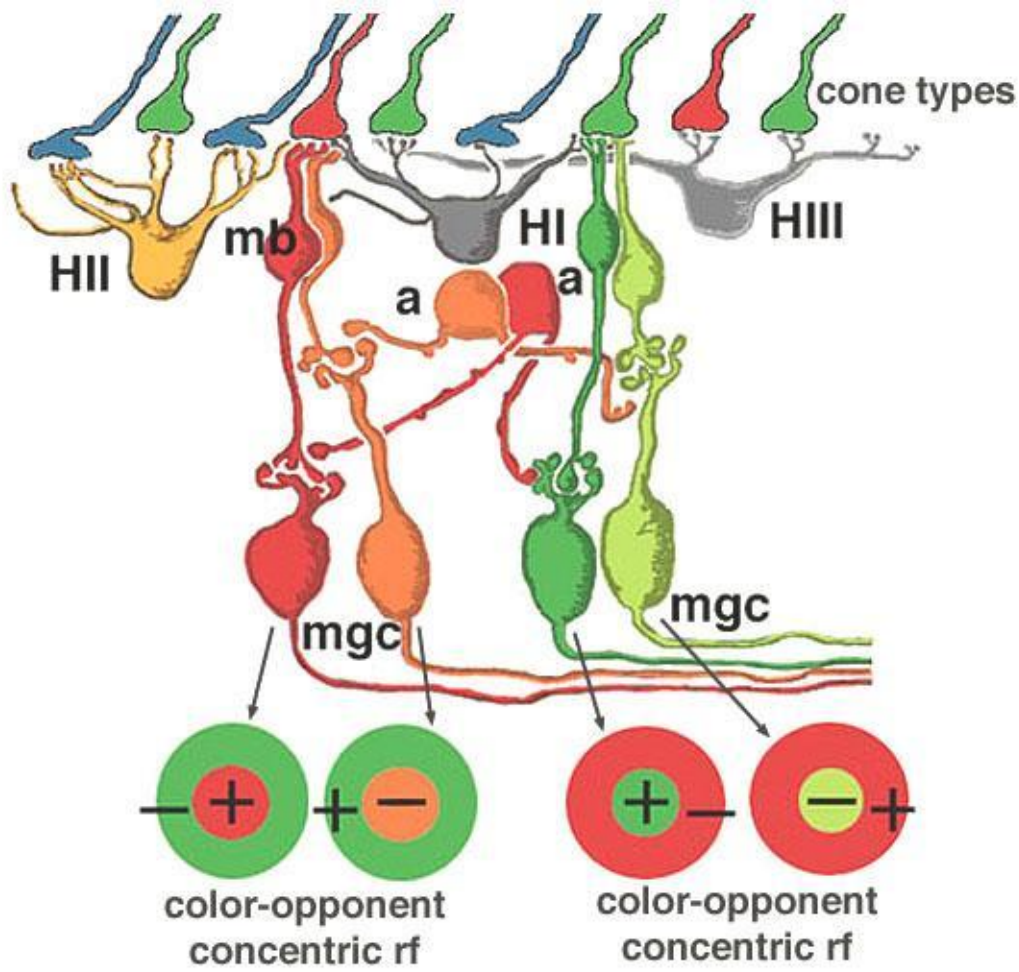


Fig. 22. Summary diagram of midget pathways of the primate retina with center and surround wiring.

- Кроме **прямых (вертикальных)** путей переработки информации о цвете есть и **горизонтальные пути** (через горизонтальные и амакриновые клетки).

# Ганглиозные клетки с оппонентной цветовой организацией бывают:

- Красный центр «on»-зеленый периферия «off»
- Красный центр «off»-зеленый периферия «on»
- Зеленый центр «on»-красный периферия «off»
- Зеленый центр «off»-красный периферия «on»
- Синий центр «on»-желтый периферия «off»
- Желтый центр «on»-синий периферия «off»

## Color opponent ganglion cells

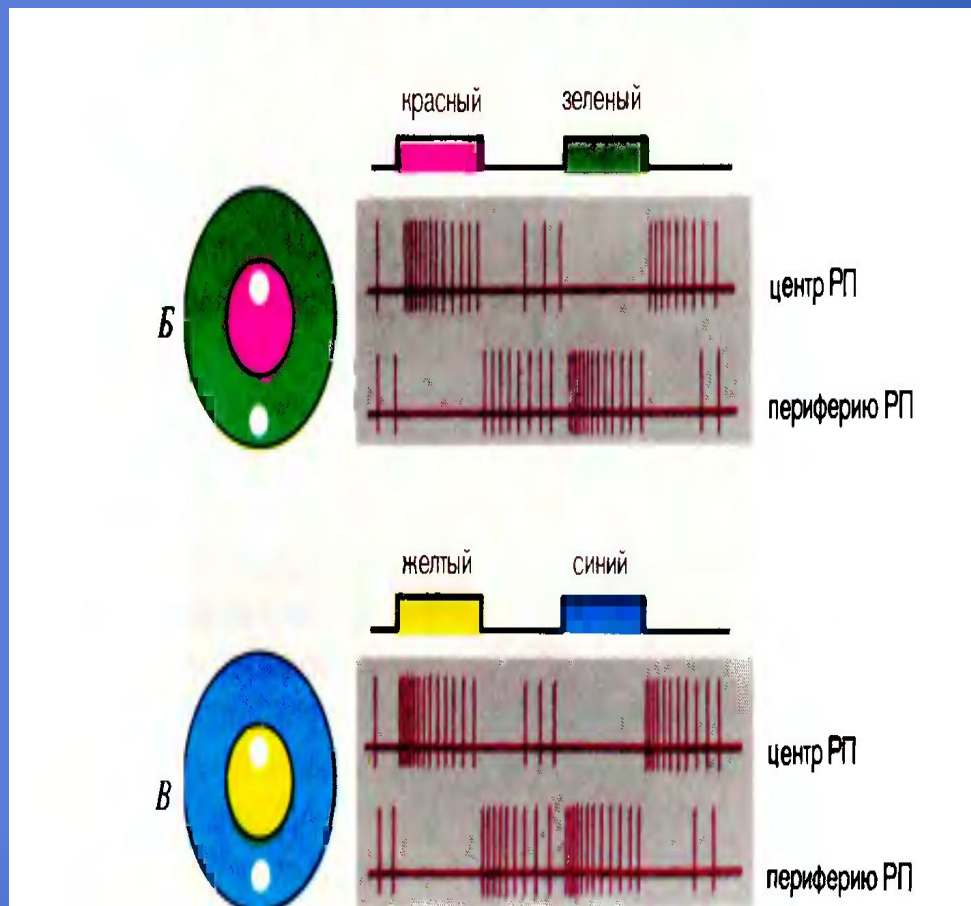
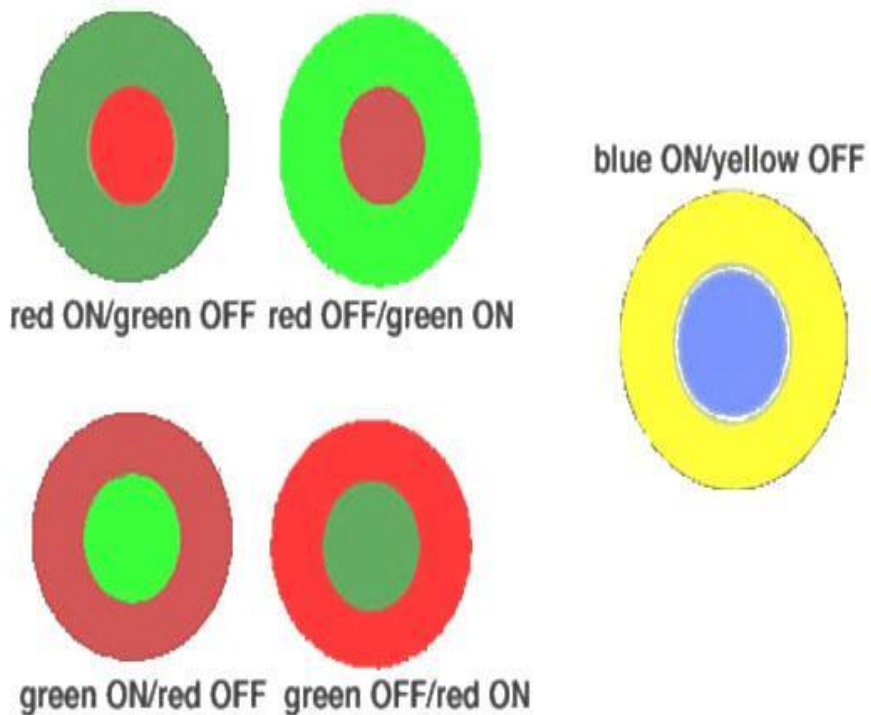


Fig. 19. Color-opponent units as recorded in monkey retina by Gouras (1968).

# Конвергенция информации

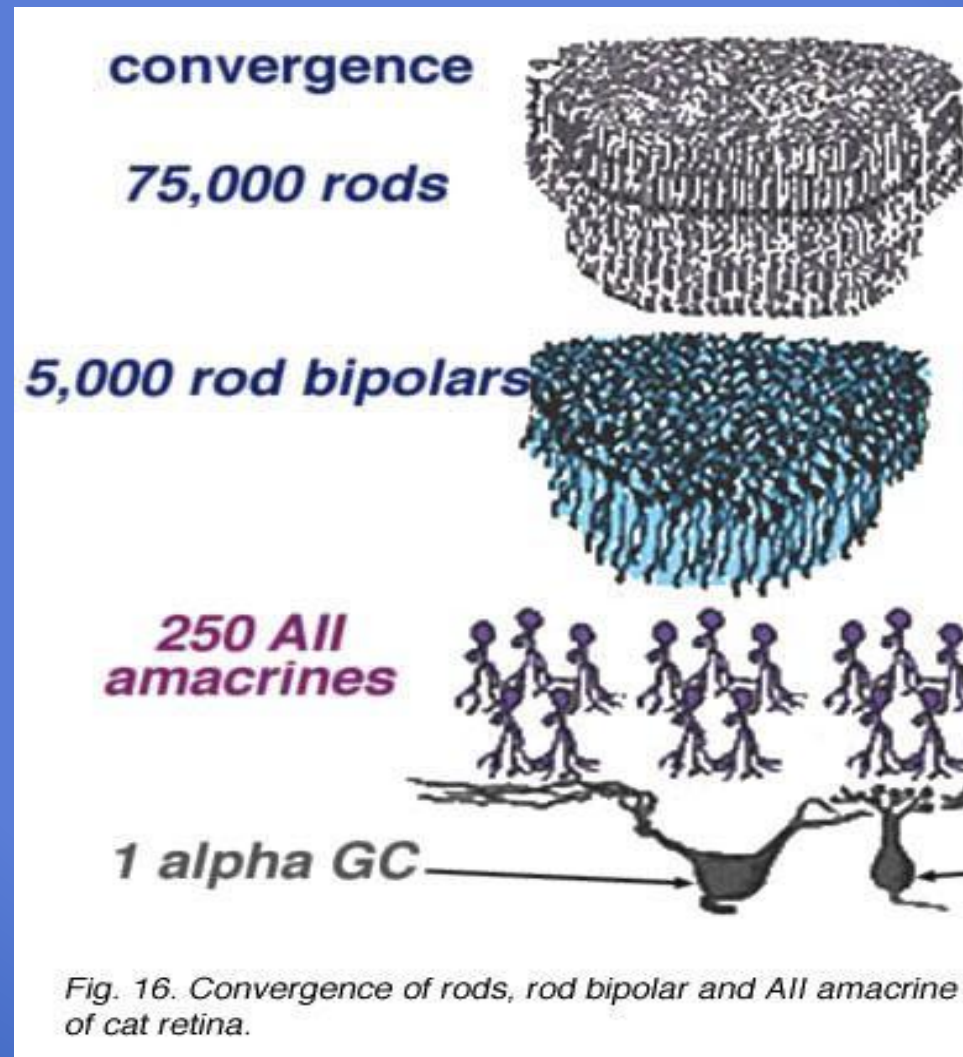
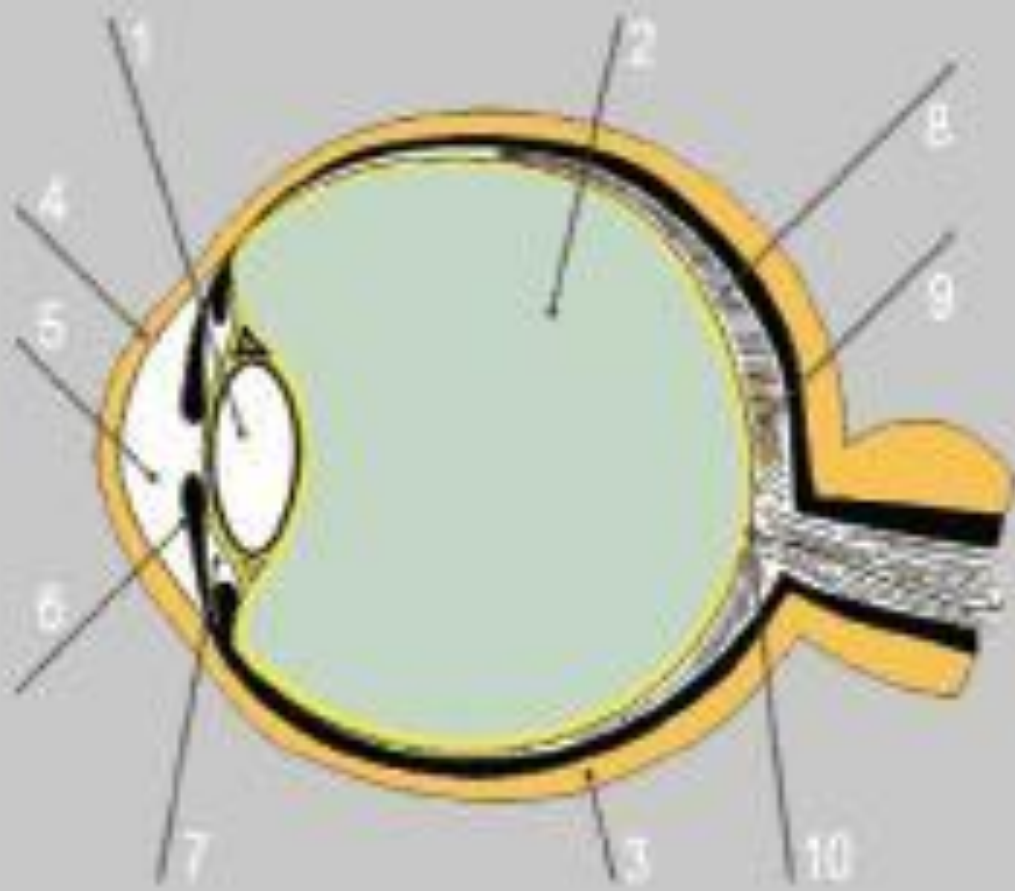


Fig. 16. Convergence of rods, rod bipolar and All amacrine cells of cat retina.

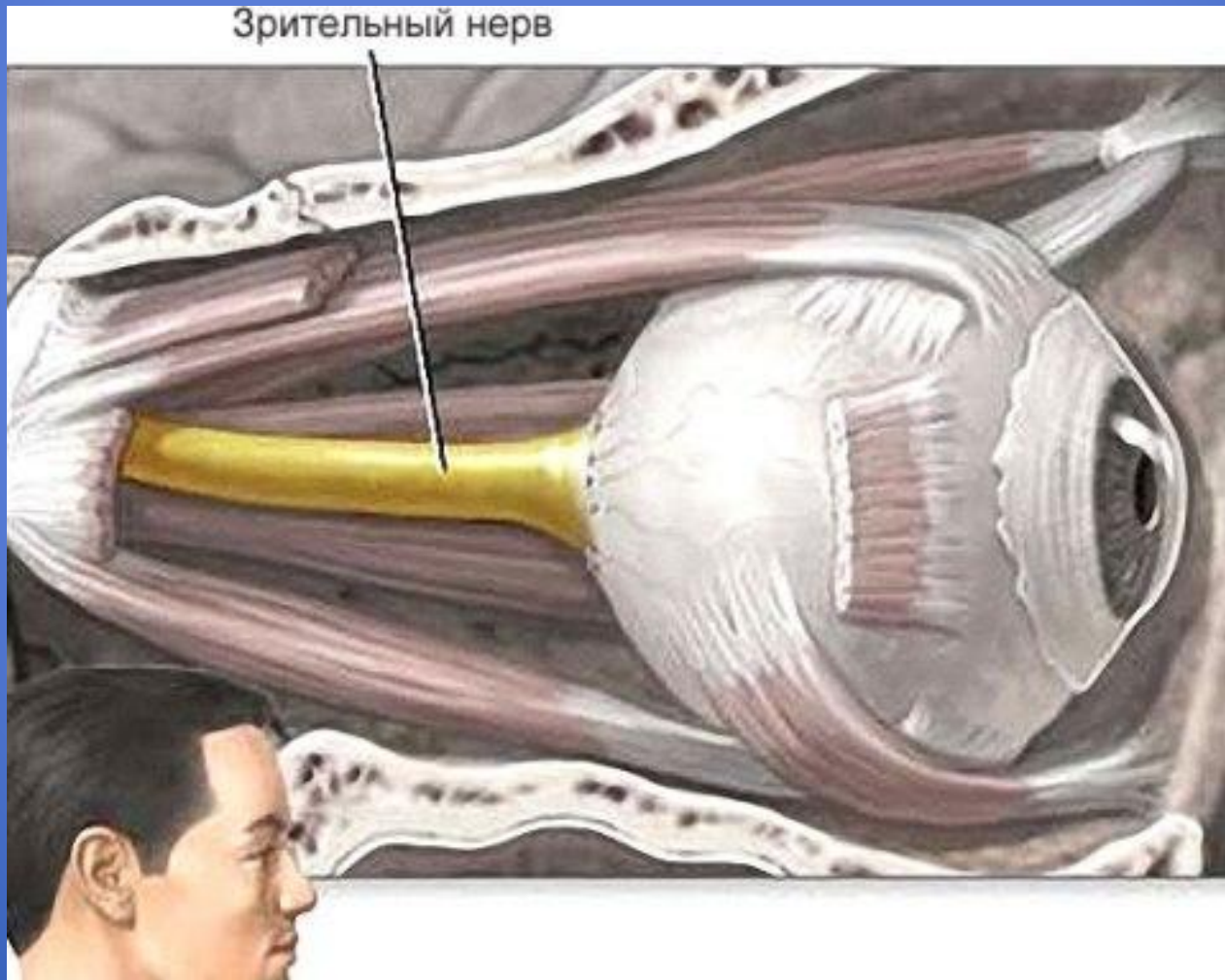
**Зрительный нерв, берущий начало от ганглиозных клеток. Участок сетчатки, из которого выходит зрительный нерв, лишён и колбочек, и палочек, и потому не способен к восприятию света. Его называют «слепым пятном».**

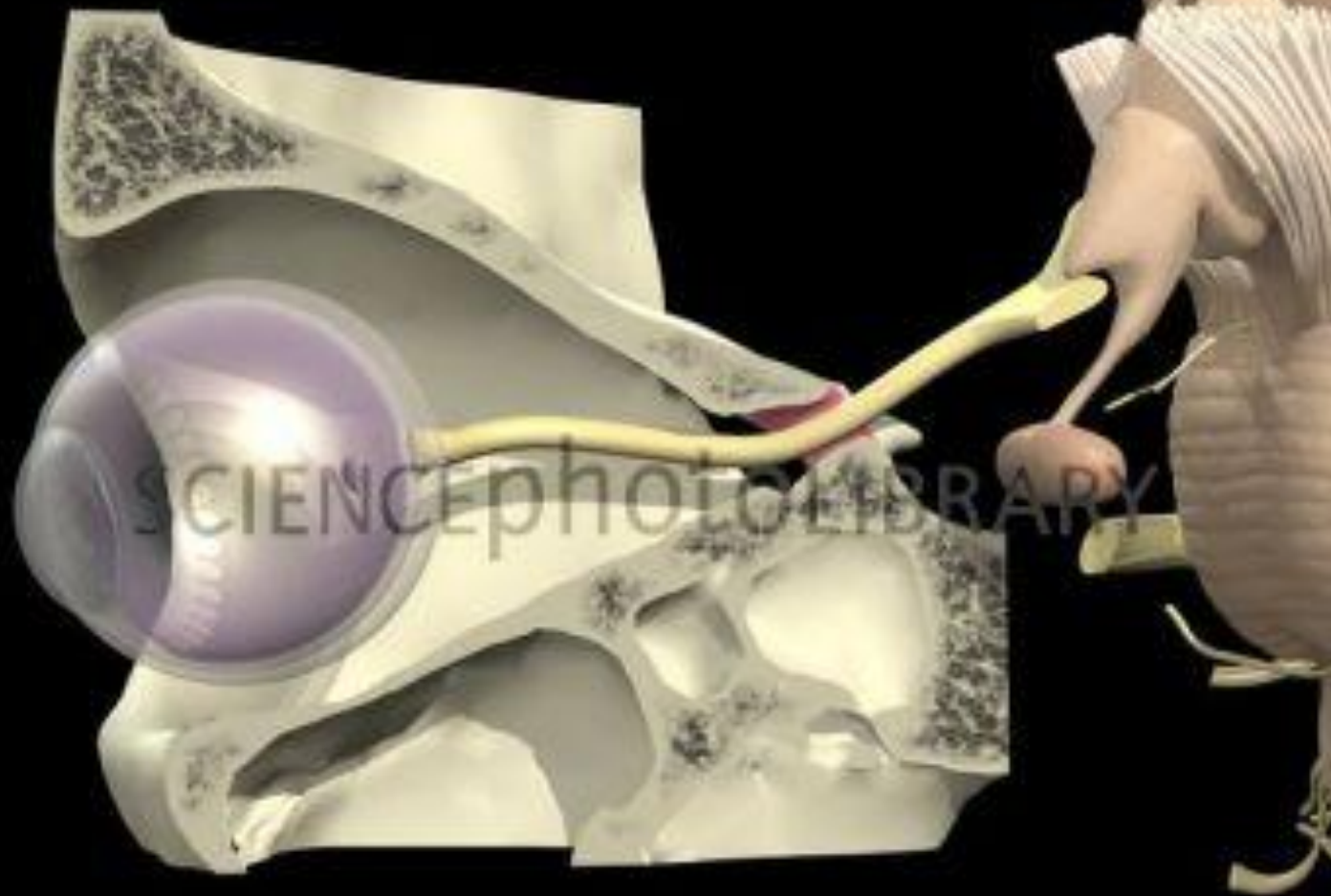


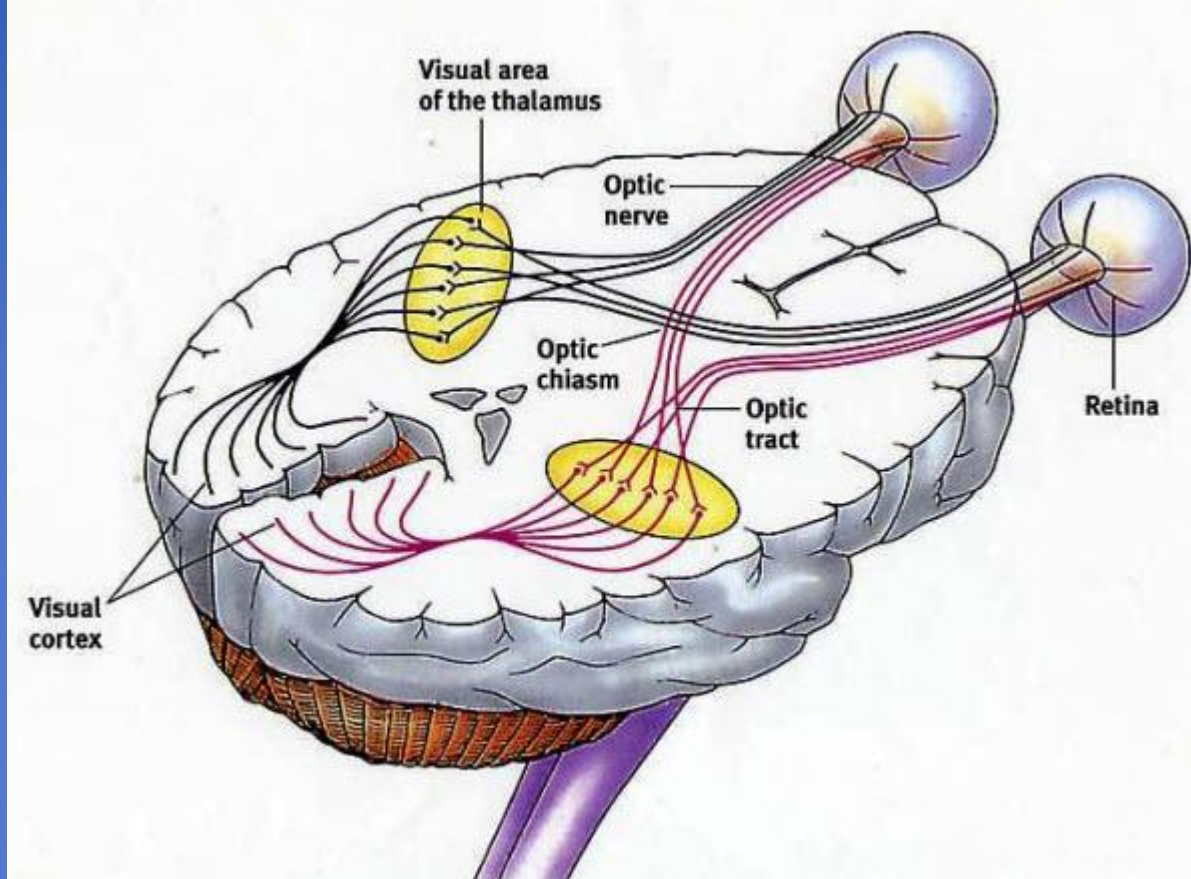
хрусталик;  
- стекловидное тело;  
- белковая оболочка;  
- роговая оболочка;  
- передняя камера;  
- радужная оболочка;  
- зрачок;  
- сетчатка глаза;  
- центральный участок глаза - желтое пятно с цветоразличающими элементами - колбочками;  
- слепое пятно - выход нервных волокон из сетчатки.



- Выходя из глазницы через решётчатую пластинку склеры и зрительный канал, волокна зрительного нерва (проводниковый от дел зрительного анализатора), направляются в ГОЛОВНОЙ МОЗГ

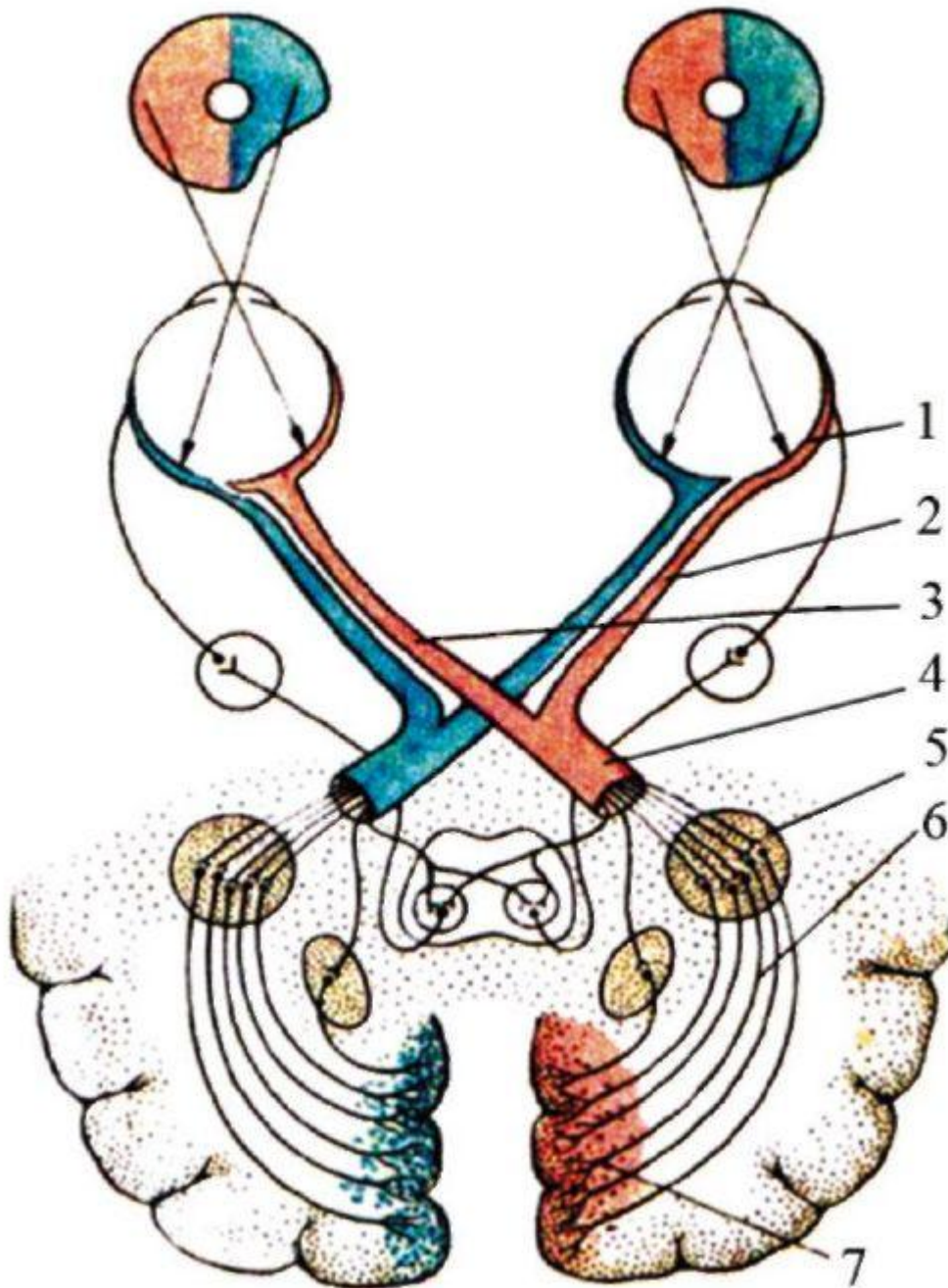






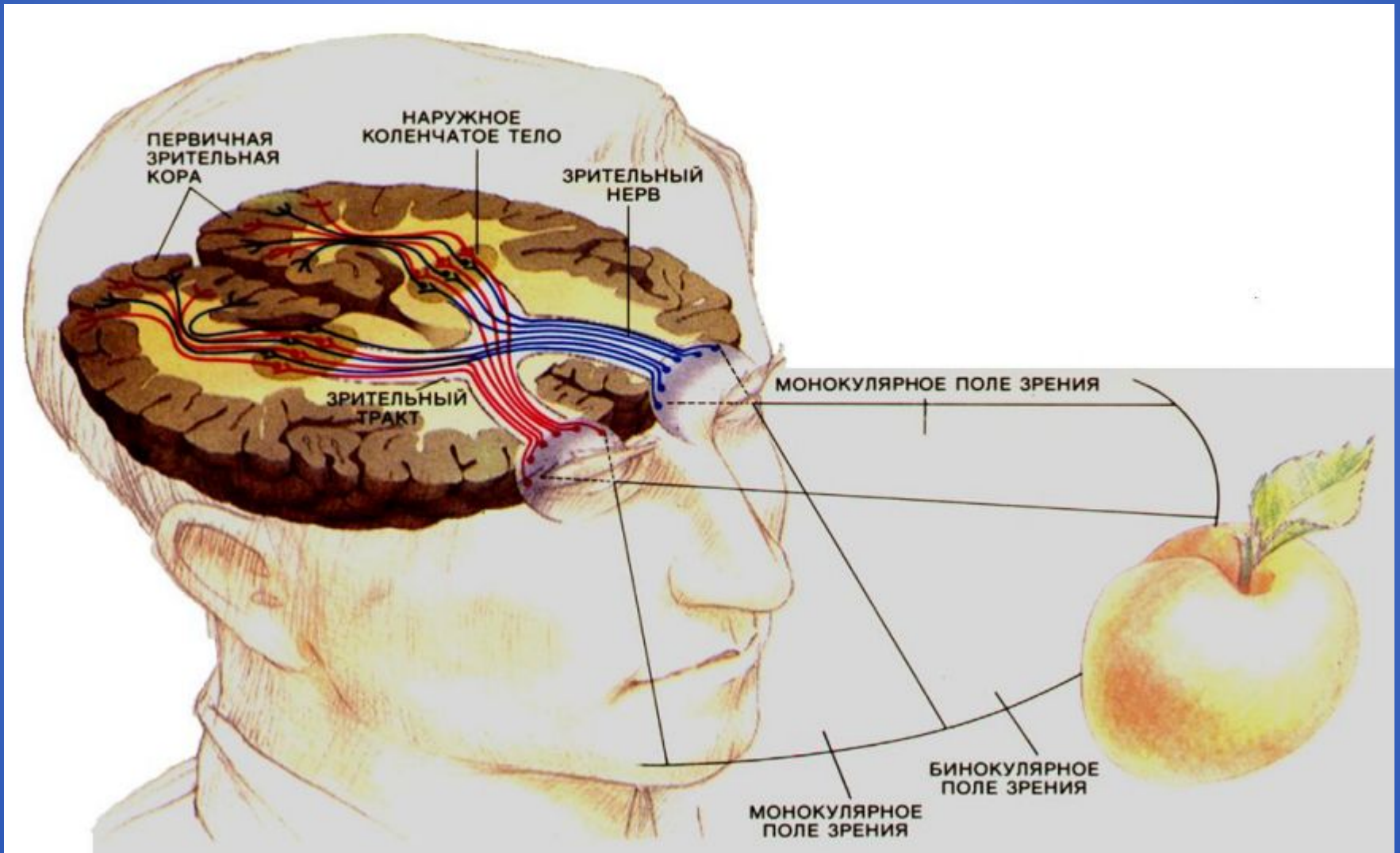
Пройдя в полость черепа, зрительные нервы правого и левого глаза образуют на основании мозга, в области турецкого седла, частичный перекрест (хиазму), при этом перекрещиваются только волокна, идущие от внутренних («носовых») половин сетчатки, а волокна от наружных («височных») половин сетчатки не перекрещиваются. После перекреста образуются зрительные тракты.

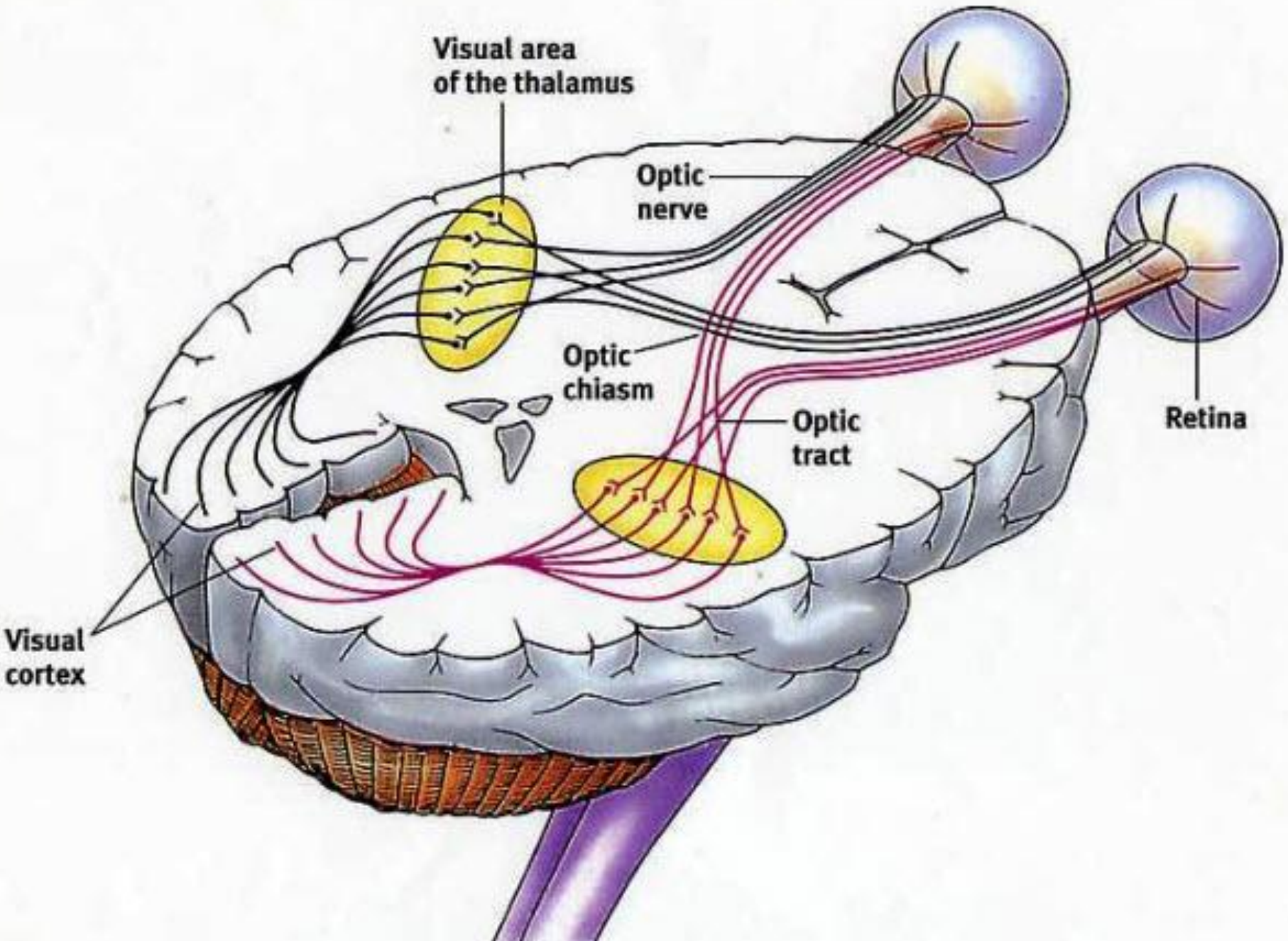




В составе зрительных трактов нервные волокна достигают подкорковых зрительных центров в латеральных коленчатых телах, верхних холмах четверохолмия, таламусе и гипоталамусе). Здесь заканчивается периферическая часть зрительного анализатора.

- 1 - сетчатка,
- 2 - неперекрещенные волокна зрительного нерва,
- 3 - перекрещенные волокна зрительного нерва,
- 4 - зрительный тракт,
- 5 - наружное коленчатое тело,
- 6 - зрительная лучистость,
- 7 - шпорная борозда





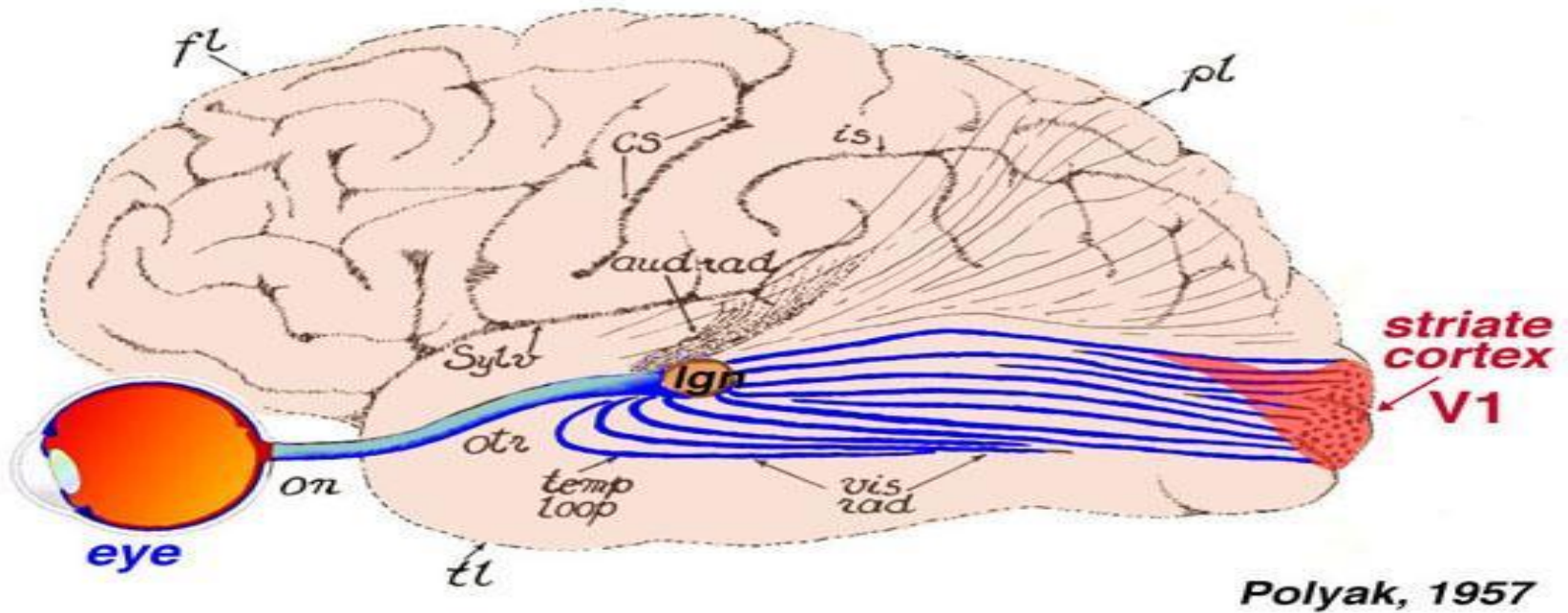
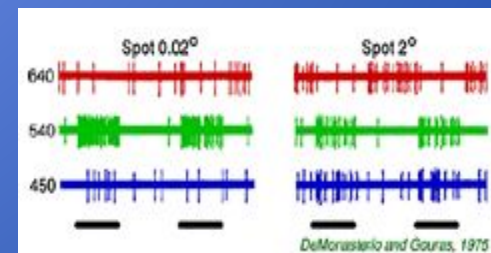


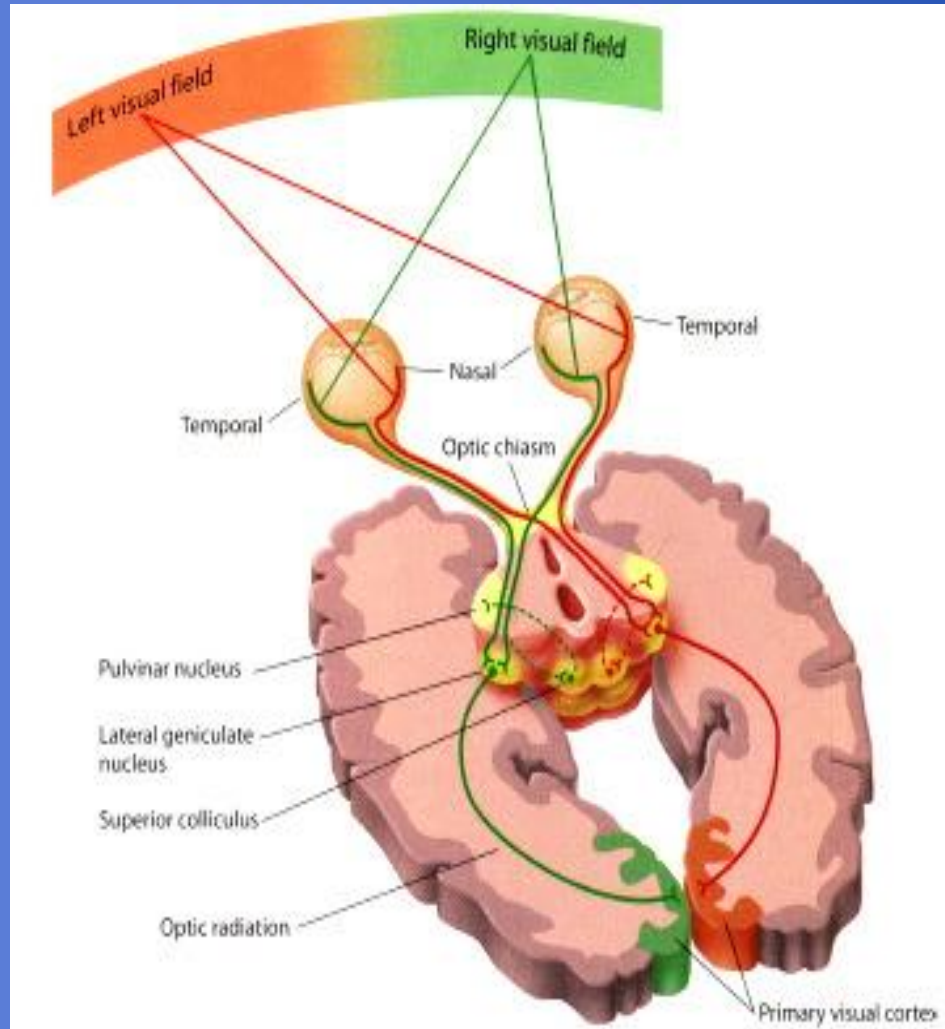
Figure 8. Visual input to the brain goes from eye to LGN and then to primary visual cortex, or area V1, which is located in the posterior of the occipital lobe. Adapted from Polyak (1957).

- В ЛКТ макак описаны оппонентные нейроны (де Валуа, 1958; В. В. Lee, А. Valberg, 1987): красно-зеленые и сине-желтые.

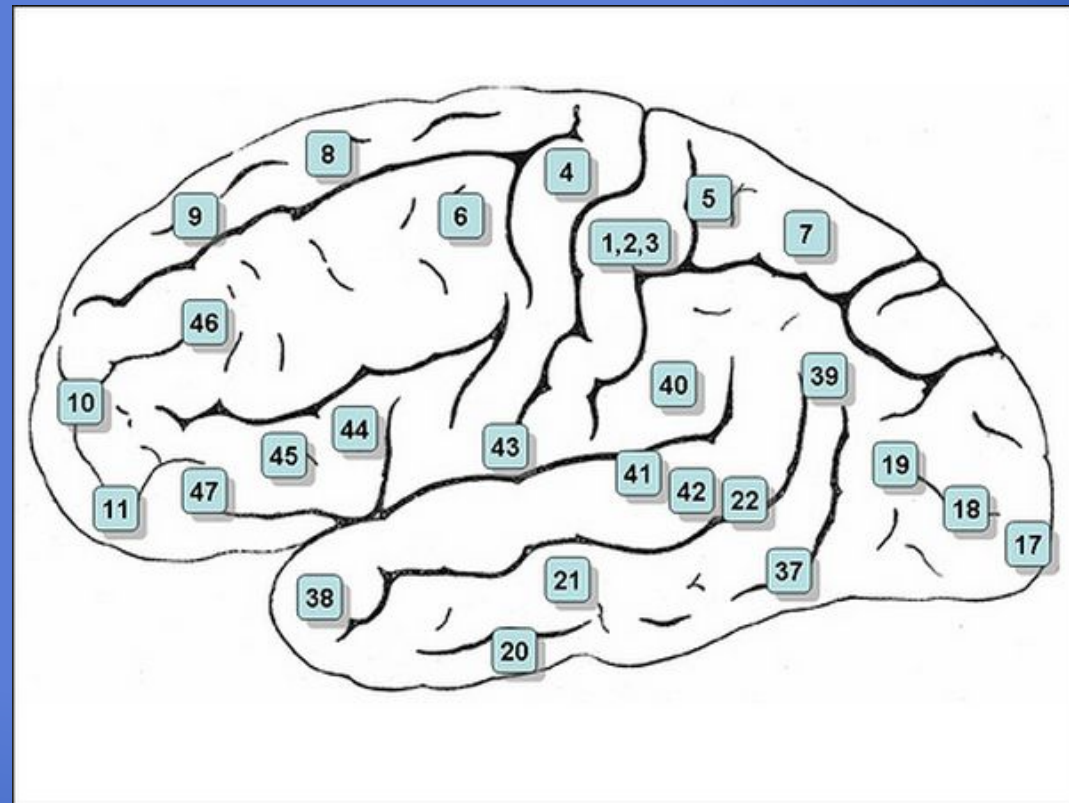


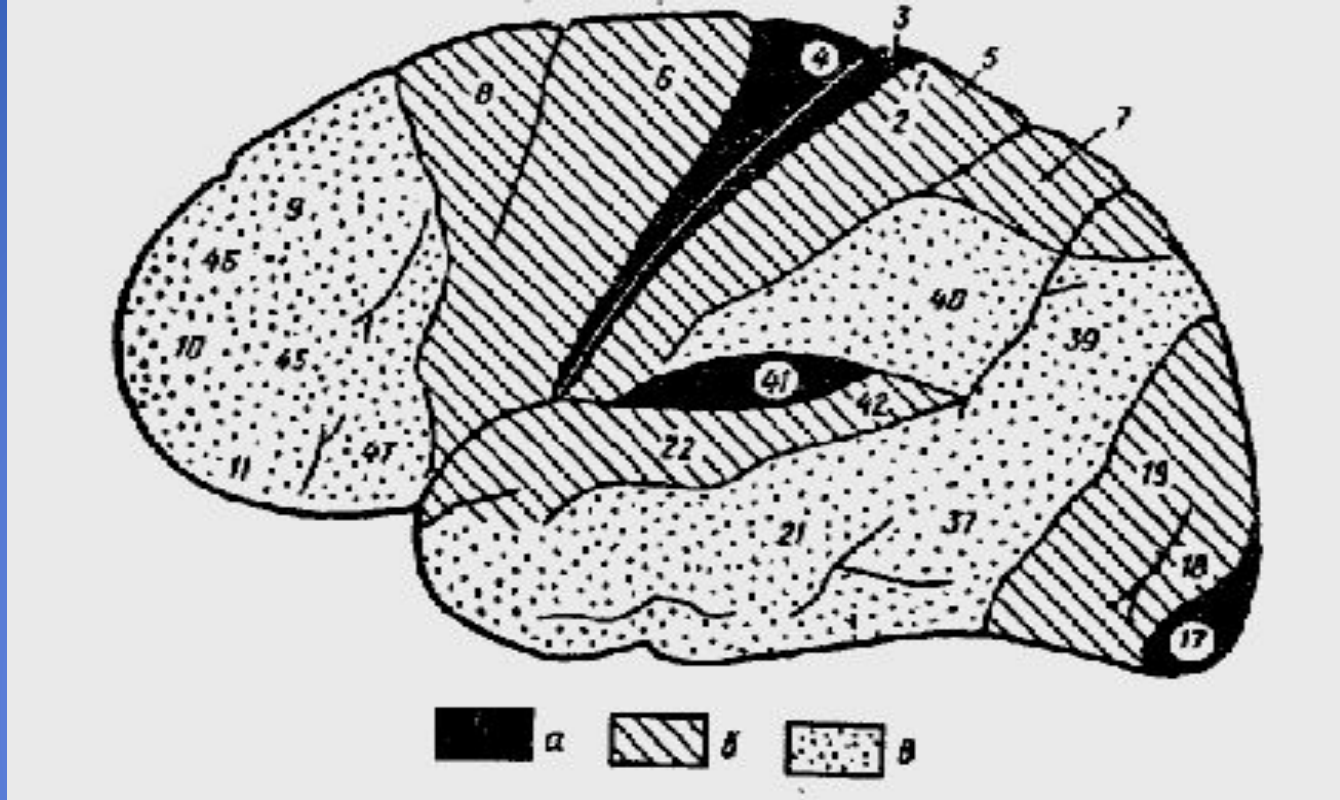


Аксоны выходят из ЛКТ в виде веерообразной группы волокон, называемых зрительной лучистостью. Эти волокна образуют синапсы с определенным кластером нейронов затылочной доли коры головного мозга. Благодаря отчетливо видной при анатомировании белой полосе этот участок нередко называют стриарной корой (другое название – первичная зрительная кора, слой VI)



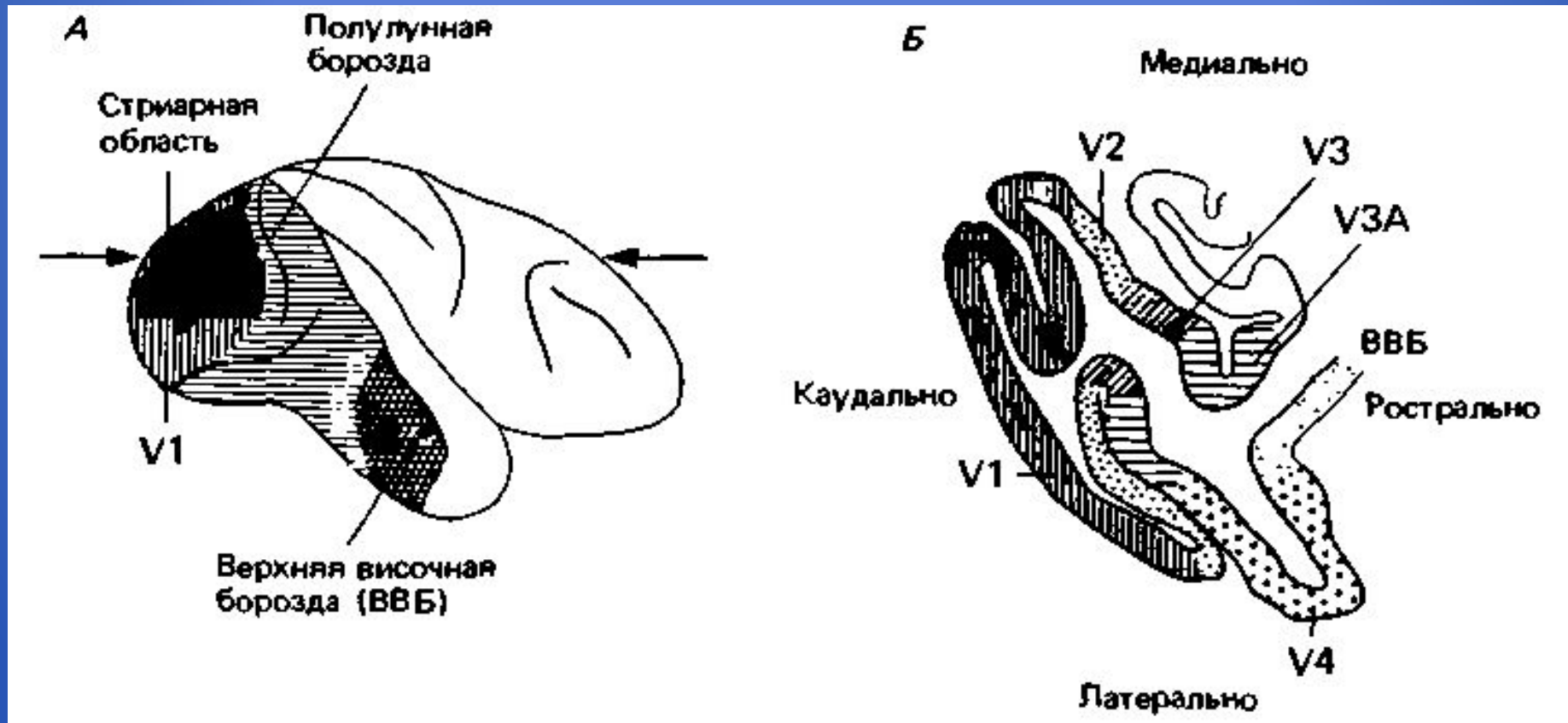
Центральная часть зрительного анализатора начинается от аксонов подкорковых зрительных центров, где происходит переключение зрительного раздражения на проводящие пути головного мозга, в составе которых они достигают его коры в затылочной доле. Кортиковые зрительные центры объединяют 17, 18 и 19 поля (по Бродману) коры больших полушарий

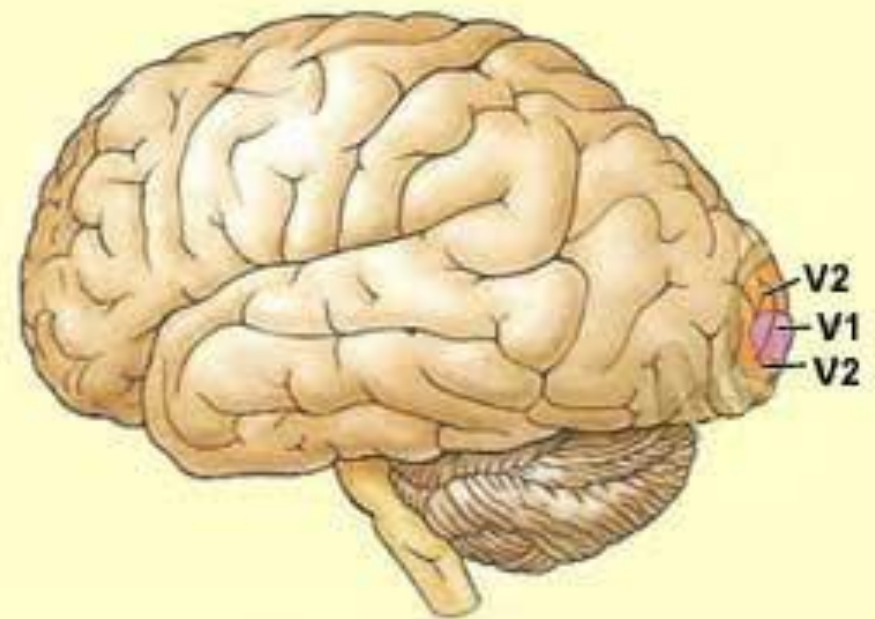
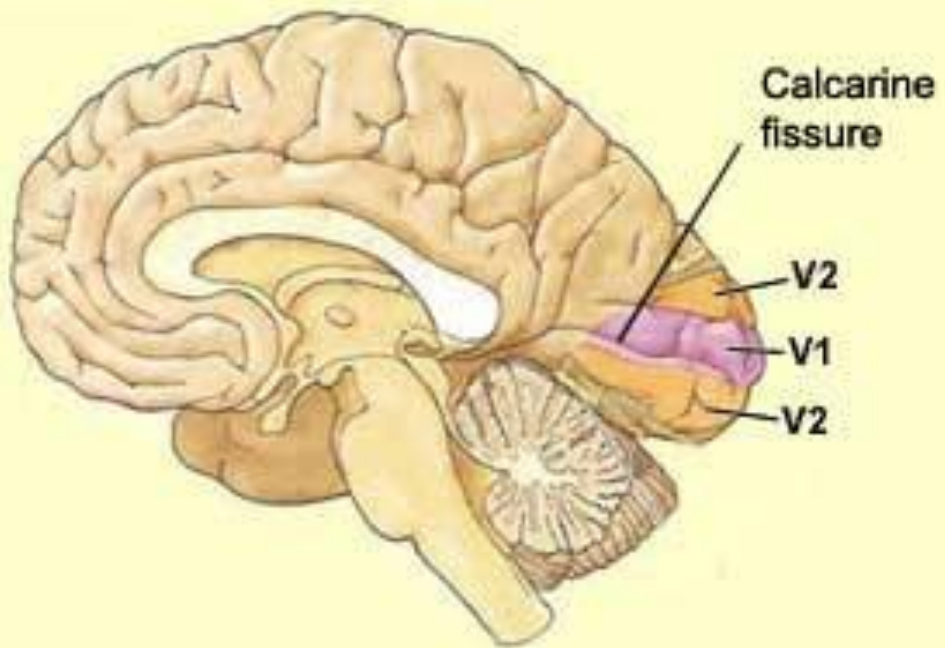




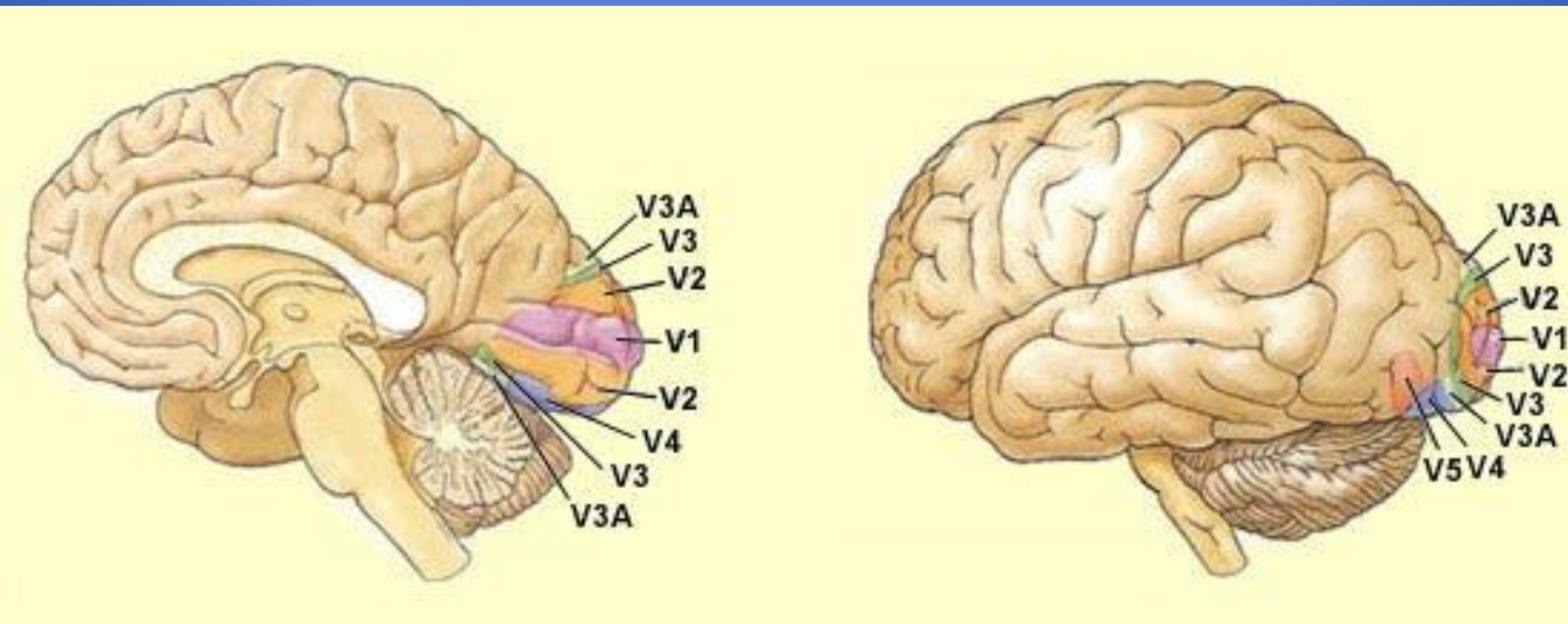
Из слоя VI нейронные сигналы поступают в другие слои коры, отличающиеся от слоя VI как анатомически, так и функционально. Все вместе эти слои образуют экстрастриарную кору (или вторичную кору, зрительную ассоциативную кору, поле Бродмана 18). Каждый из кортикальных слоев, участвующих в образовании экстрастриарной коры, обрабатывает такую специфическую информацию об особенностях нейронных сигналов, посылаемых слоем VI, как информация о форме, цвете и движении.

Различные слои экстрастриарной коры имеют свои номера, отражающие их расположение относительно первичной зрительной коры (слоя VI). Так, ближайший к слою VI слой называется слоем V2, затем следуют слои V3, V4 и V5 (последний также называется слоем MT – средний височный – на стыке теменной и височной долей).



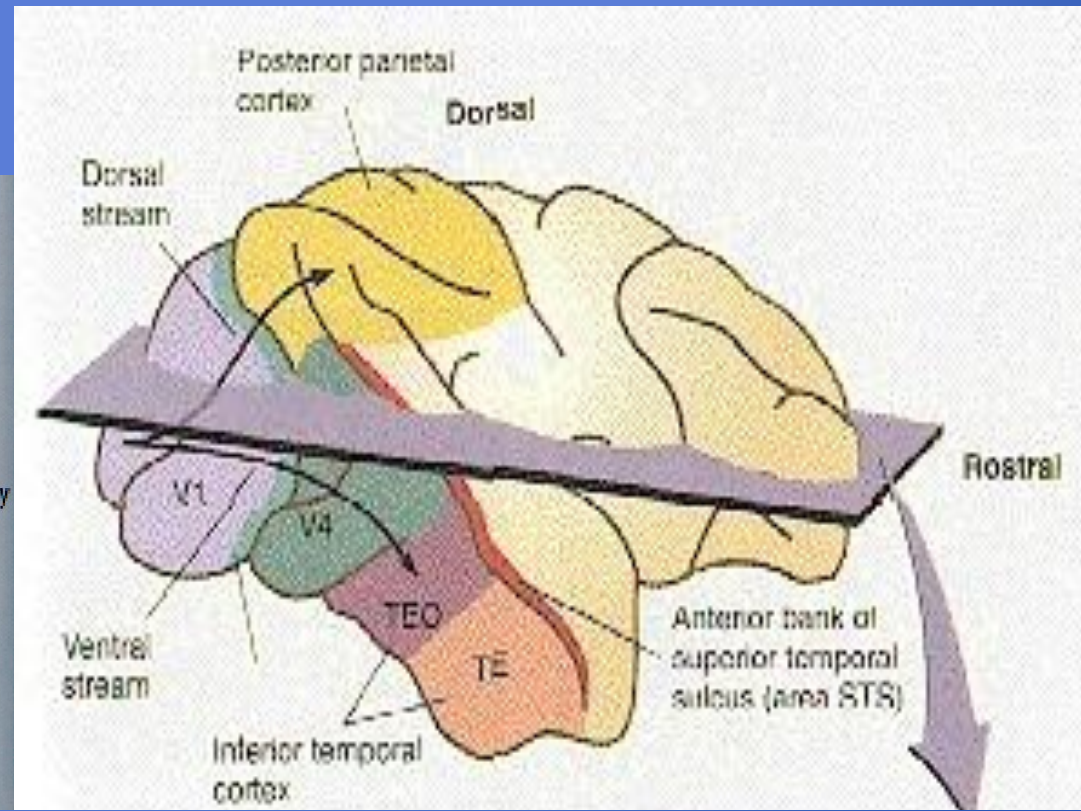
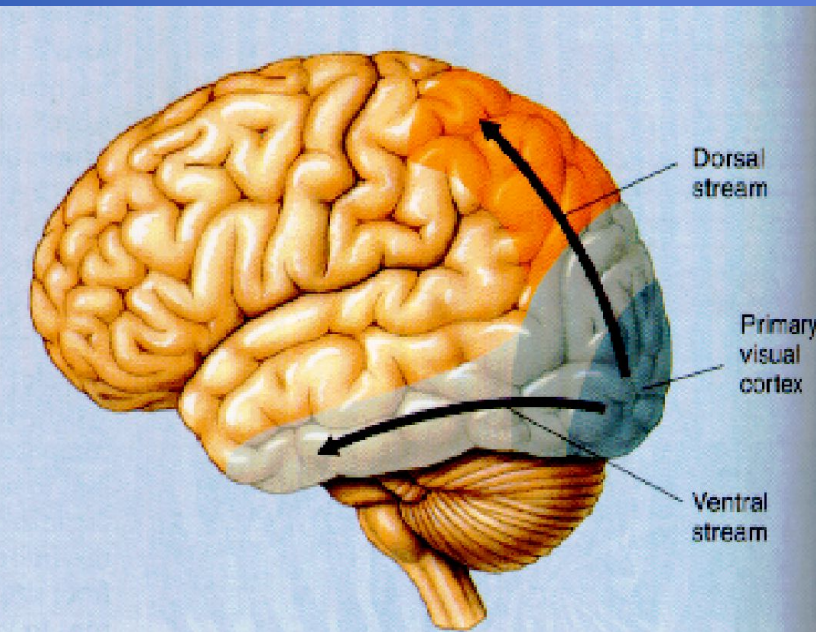


Что касается функций, то слои V2 и V3 обрабатывают информацию о форме и положении в пространстве, слой V4, судя по всему, специализируется на восприятии информации о цвете, а слой V5 – на анализе визуальной информации о движении. Например, человек с поврежденным слоем V4 экстрастриарной коры может полностью утратить цветовое зрение (Pearlman, 1979; Sacks, 1995), а человек с поврежденным слоем MT (слоем V5) экстрастриарно коры может потерять возможность воспринимать непрерывные движения (Zihl, 1983).



Существуют два относительно независимых друг от друга и параллельных пути, по которым сигналы из слоя VI поступают в отдельные участки экстрастриарной коры, а также височной и теменной долей (Mishkin, 1983).

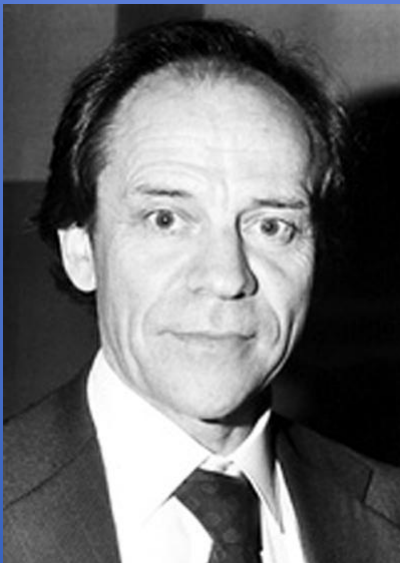
- Канал, или путь, названный дорзальным путем (теменным) – имеет важное значение для пространственной локализации, связывает первичную зрительную кору (слой VI) со слоями V2, V3 и V5 (MT) – с теменной долей.
- Второй путь называется вентральным путем (височным) – играет важную роль в идентификации объекта, связывает слои VI – через слои V2 и V4 – со слоем IT.



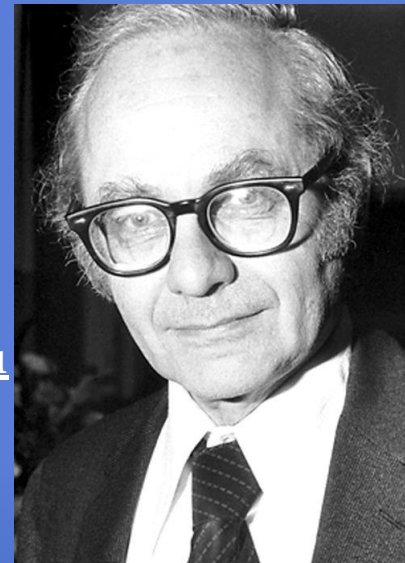
- S. Zeki (1983) обнаружил в коре обезьяны два типа цветowych детекторов, специфичных к предметным цветам и анализирующих только спектральный состав излучения. По данным R. Vautin и B. Dow (1985), в стриарной коре мозга обезьян описаны нейроны, избирательно возбуждающиеся в узком диапазоне длин волн с максимумами реакций в областях 450, 506, 577 и 656 нм, которые соответствуют положению в спектре «основных цветов» у человека и обезьяны – «синего» (450 нм), «зеленого» (506 нм), «желтого» (577 нм) и «красного» (656 нм).



- Д. Хьюбел и Т. Визел (1966, 1984), изучавшие функцию первичной зрительной коры, одновременно открыли «двойные оппонентные клетки». Их рецептивные поля подразделяются на центр и периферию. Центр возбуждается светом одного спектрального участка и затормаживается светом другого (оппонентного). Периферия реагирует на ту же пару оппонентных цветов, но прямо противоположным образом: цвет, возбуждающий центр, тормозит периферию, и наоборот.



Дэвид Хьюбел



Визел Торстен Нильс

Таким образом, центральным звеном коркового конца зрительного анализатора, органом высшего анализа и синтеза зрительных раздражений, формирующим зрительный образ, является 17-е поле Бродмана, 18 и 19 поля являются ассоциативными. При повреждении 17-го поля коры может наступить физиологическая слепота, а при поражении 18 и 19-го полей нарушается пространственная ориентация.

