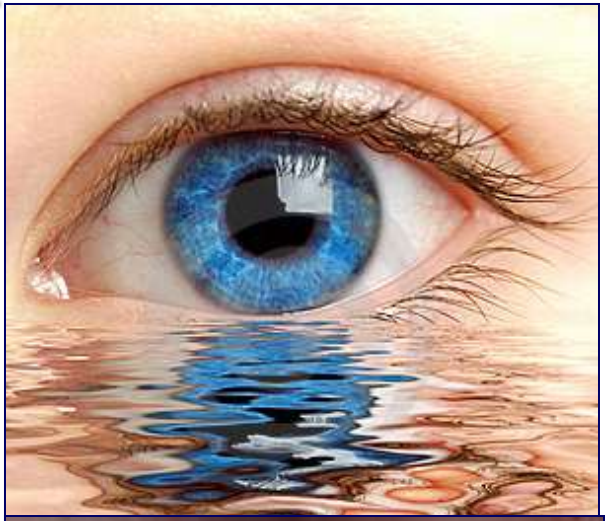
Орган на зрението

1. Око – ембрионално развитие
2. Очна ябълка:
   - ✓ обвивки – външна фиброзна, съдова и вътрешна (ретина)
   - ✓ вътрешно ядро – очни камери с воднист сок, стъкловидно тяло, леща
3. Зрително-сензорна система

Орган на зрението, *organum visus*

- **Някои забележителни факти за човешкото око:**
  - ✓ Окото у човек тежи приблизително 28 g;
  - ✓ Макар че само 1/6 от него е в контакт с външния свят, близо половината от нашия мозък участва в зрителния процес – хората са следователно най-вече зреещи същества!
  - ✓ Единствената част на тялото ни, която може да функционира на 100% във всеки момент, през деня и нощта, без почивка;
  - ✓ Най-комплексният орган, който притежаваме – съставен е от повече от 2 млн. работещи части;
  - ✓ Външните очни мускули, движещи очната ябълка са най-силните мускули в човешкото тяло за работата, която трябва да извършват. Те са 100 пъти по-силни, отколкото е необходимо!
  - ✓ Ретината съдържа над 120 млн. пръчици за "нощно виждане", и около 7 млн. конусчета, които са цветочувствителни и работят най-добре при дневна светлина;
  - ✓ Очите допринасят за 85% от общото ни познание. Всеки час те могат да пренесат 36,000 бита информация!



NB: Човешкото око:

прозорец към света и огледало на душата!

Човешкото око – прозорец към света

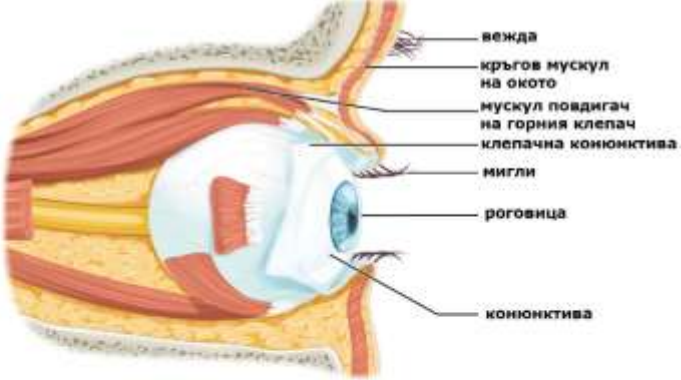
Николай Лазаров

Възприемането на света около нас е омайвало, окуражавало и вдъхновявало човечеството през вековете. Близо 85% от общото ни познание за външния свят идва чрез зрението. То е най-важното, най-комплексно и най-добре развито човешко сетиво. Чрез него, стъпка по стъпка, пред нас се е разкривала мистерията на живота. Но запитвали ли сте се някога как е устроен зрителният орган, как в действителност работи човешкото око и по какъв начин се пораждат образите, които виждаме?

Органът на зрението – окото, е най-комплексният орган, който притежаваме. То е изградено от повече от 2 милиона съставни части, които работят единно за обща кауза: визуализиране на околния свят. За тази цел то може да функционира без почивка на 100% във всеки момент от денонощието. На практика окото е периферната част на зрителния анализатор, включващ още система от възходящи пътища, по които възприетата зрителна информация мигновено се предава до мозъчната кора със скорост 36 килобита в час. Забележителен факт е, че близо половината от нашия мозък участва в зрителния процес, а от друга страна само една шеста от самото око е в директен контакт с външната среда.

Окото е сложен комплекс, изграден от централен орган – очна ябълка и спомагателни структури (очни мускули, вежди, клепачи и конюнктива, слзен апарат), които я движат, изхранват и защитават. Очната ябълка се разполага в чифтна костна кухина на лицевия череп, наречена очница (лат. *orbita*), където е обвита от голямо количество мастна тъкан за защита. При човек тя е приблизително сферична структура с диаметър 23-24 mm, тегло около 7.5 g и обем 6.5 cm³. Човешкото око достига окончателната си големина между 3- и 13-годишна възраст, която не се променя до смъртта. С други думи го е казал поетът (Дамян Дамянов) – „У човека само две неща не остаряват – очите и мечтите". Очната ябълка се състои от три обвивки – външна съединителнотъканна, средна съдова и вътрешна (ретина), разположени концентрично около вътрешно ядро от светопречупващи среди – леща, стъкловидно тяло и очни камери, изпълнени с воднист сок.

Най-външната обвивка на очната ябълка е плътна и изпълнява опорна функция. Предната ѝ част е прозрачна, еластична и се означава като роговица (лат. *cornea*). Тя заема една пета от повърхностната площ на окото, притежава елипсоидна, подобна на изпъкнало часовниково стъкло форма, диаметър 11-12 mm и дебелина в периферията около 1 mm. Централната ѝ част, т.нар. роговична шапка, е двойно по-тънка и служи за прозорец на светлината. Нейните оптични свойства осигуряват приблизително две трети (44 диоптъра) от общата рефрактивна сила на окото. Задната част на външната обвивка, наречена склера (гр. *scleros*, твърд), е значително по-плътна и има дебелина от около 0.3 mm до 1.0 mm. Тя обхваща четири пети от общата площ на окото и придава неговата форма. Към нея се прикрепват мускулите, които движат очите. Отзад тя е перфорирана за влакната на зрителния нерв и кръвоносните съдове, а отпред обхваща плътно роговицата.



Очна ябълка в очница и допълнителни структури на окото (Източник: https://www.oercommons.org)

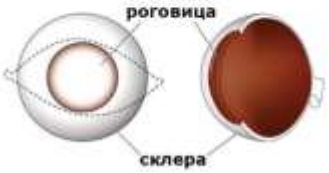


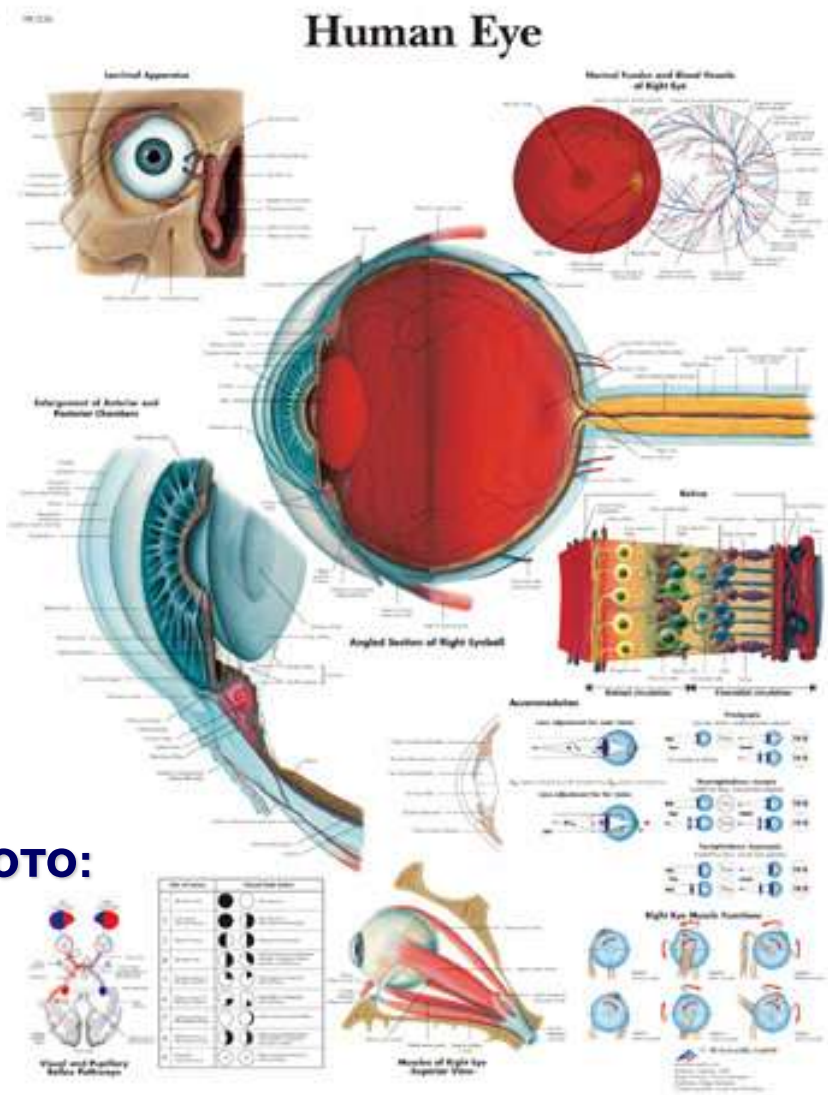
Схема на роговица и склера (Източник: https://www.shutterstock.com)

Склерата е непрозрачна, белезникава на цвят и се описва като „бялото на окото". Промяната в нейния цвят често е признак на метаболитно разстройство на организма, тъй като тя е сравнително неактивна метаболитно и има само ограничено кръвоснабдяване. Склерата се състои от плътни колагенови влакна, които са подредени в неправилни и преплетени връзки и определят силата и гъвкавостта на очната ябълка. Тя играе основно защитна роля, предпазвайки очното съдържимо от увреда.

Средната обвивка на очната ябълка е съдова и има три отдела – заден, съдовица (лат. *choroidea*), среден, ивичесто (или ресничесто) тяло и преден, дъговица (лат. *iris*). Хороидеята се разпростира върху две трети от съдовата обвивка. Тя представлява тънка, кафеникава мембрана, която, обвивайки пихтиестото централно съдържимо на окото, се оприличава на ципата на черно гроздено зърно, поради което е известна още като увея (лат. *uva*, грозде). Цветът и името ѝ се дължат на обилието на кръвоносни съдове, които допринасят за ключова ѝ роля за поддържане на вътреочната температура и трофиката на външната метаболитно активна

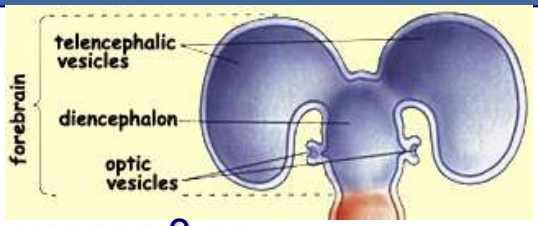
Анатомия на окото

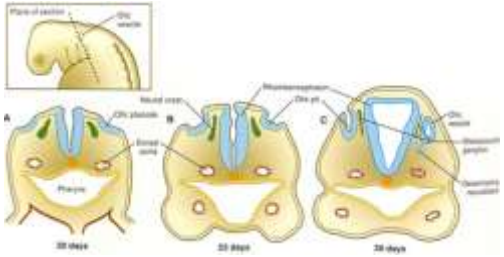
- **Око** – Lat. *oculus*, Gr. *ophthalmos:*
  - ✓ **очна ябълка:**
    - ➢ **обвивки**
      - • външна фиброзна обвивка
        - o склера
        - o роговица
      - • съдова обвивка
        - o хороидея (съдовица)
        - o ресничесто тяло
        - o ирис (дъговица)
      - • вътрешна обвивка, ретина
    - ➢ **вътрешно ядро (оптичен апарат)**
      - • очни камери&воднист сок
      - • стъкловидно тяло
      - • леща
  - ✓ **допълнителни образувания на окото:**
    - ➢ мускули на очната ябълка
    - ➢ вежди, клепачи и конюнктива
    - ➢ слъзен апарат



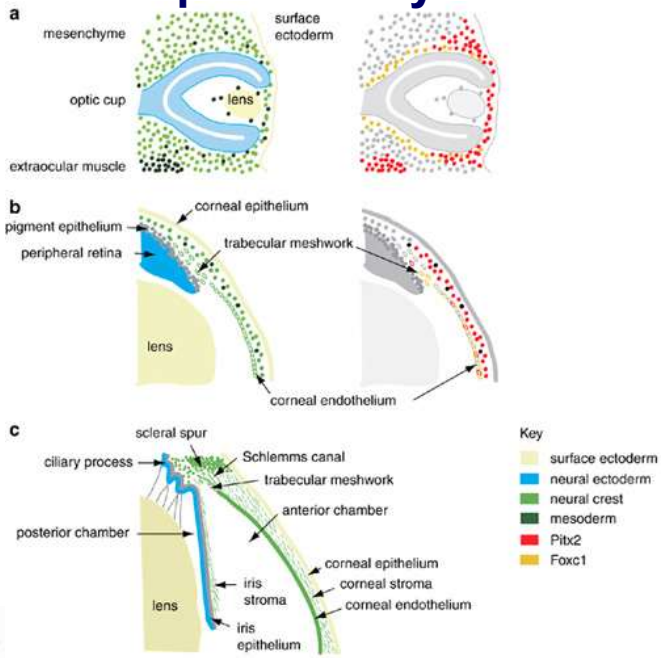
Ембрионално развитие

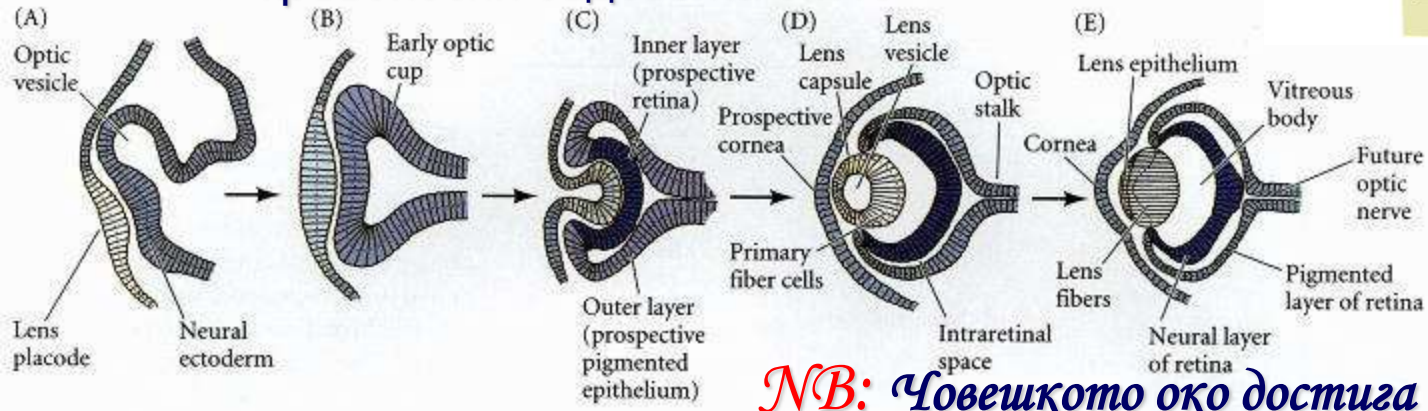
- **Очни рудименти:**
  - ✓ нервна тръба
    - ➢ очно мехурче
      - *sulcus opticus* – начало 3 г.с.
    - ➢ невроепител
      - лещова плакода
    - ➢ очна чашка
      - ретина
      - пигментен епител на ретината
  - ✓ периокуларен мезенхим
    - ➢ роговица&склера
    - ➢ ирис&ресничесто тяло
    - ➢ кръвоносни съдове на окото

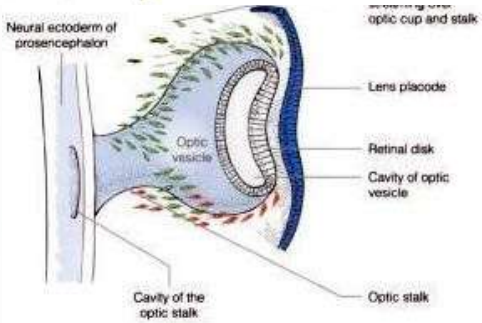




NB: **Pax6 е главен регулатор на очното развитие у човек!**







NB: ***Човешкото око достига окончателната си големина между 3- и 13-годишна възраст!***

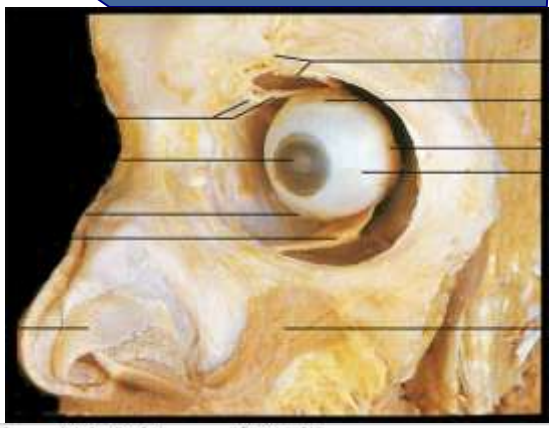
За очите и мечтите ...

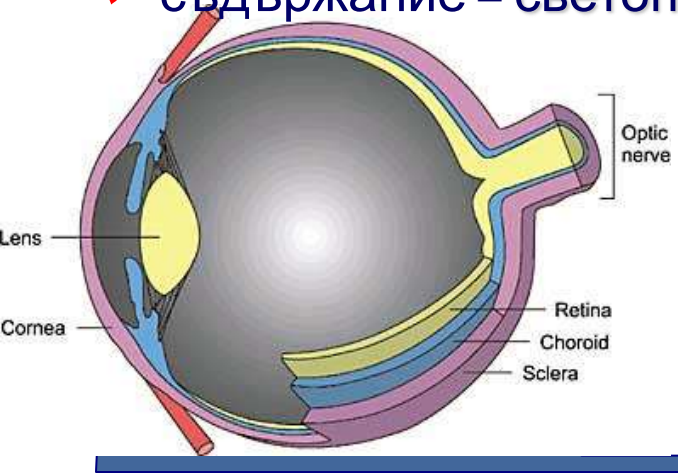
...У човека
само две неща
не остаряват:
ОЧИТЕ И МЕЧТИТЕ.

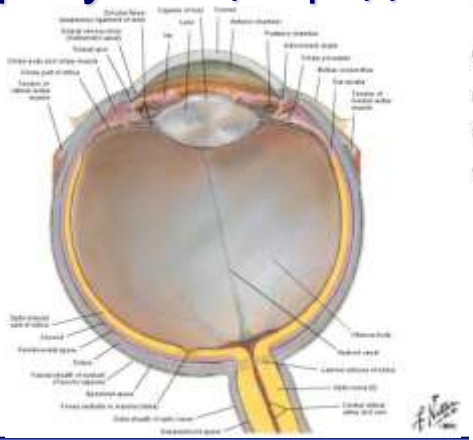
Дамян Дамянов

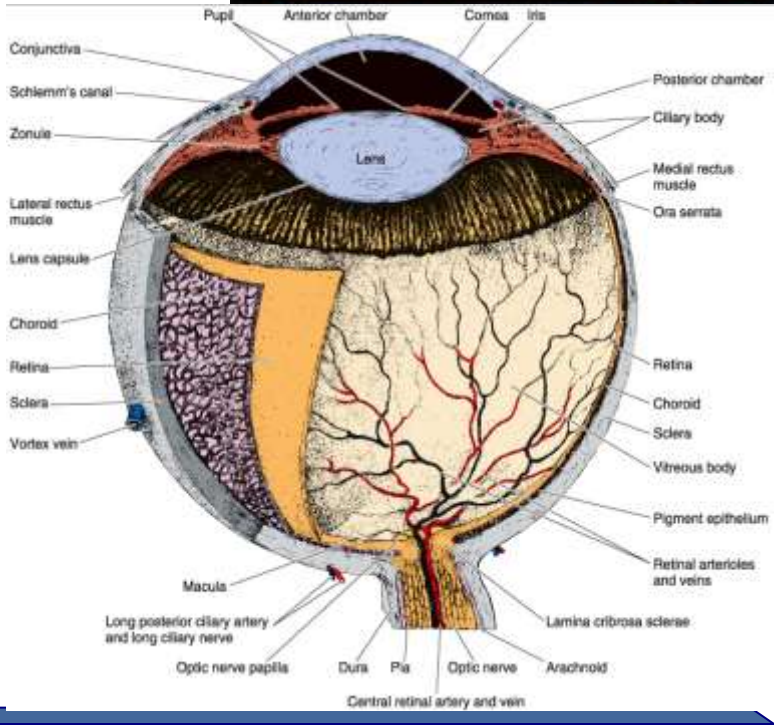
Очна ябълка, *bulbus oculi*

- **Очната ябълка – периферен зрителен орган:**
  - ✓ включена в мастното тяло на очницата
  - ✓ обвита от фиброзна обвивка (капсула на *Tenon*)
  - ✓ преден и заден полюс ⇨ външна ос, *axis bulbi externus*
  - ✓ приблизително кълбовидна форма:
    - ➢ вертикален диаметър – 23,5 mm
    - ➢ предно-заден диаметър – 24 mm, 17,5 mm при раждане
    - ➢ тегло около 7.5 g и обем 6.5 cm^3
  - ✓ три обвивки:
    - ➢ външна, съединителнотъканна
    - ➢ средна, съдова (пигментна)
    - ➢ вътрешна, ретина
  - ✓ съдържание – светопречупващи среди



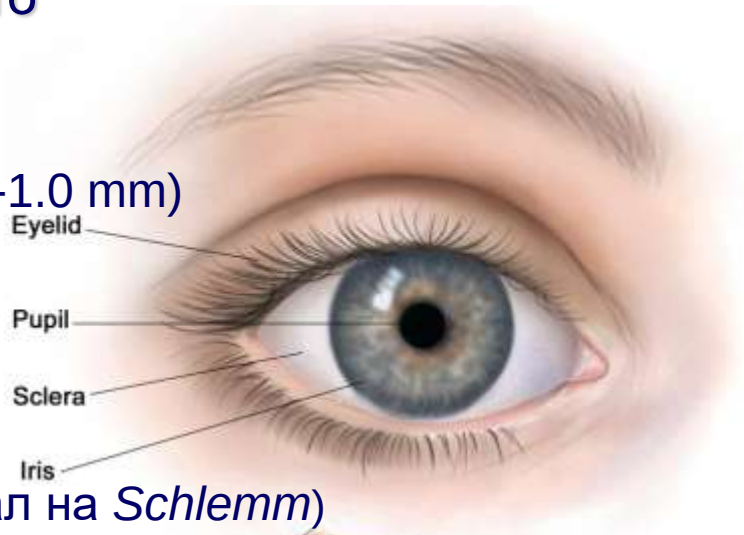


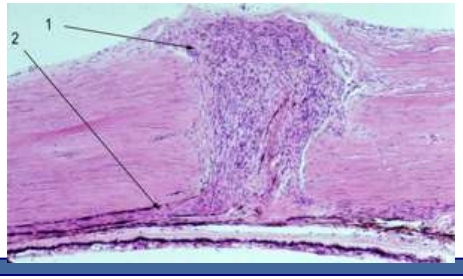


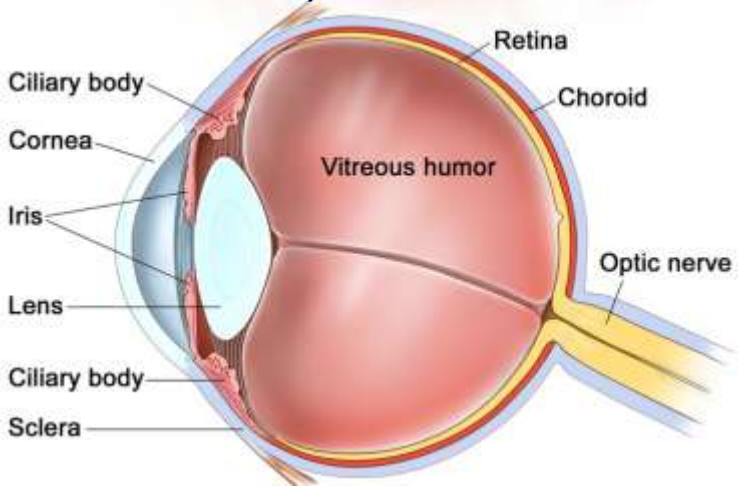


Външна фиброзна обвивка, *tunica fibrosa bulbi*

- **Склера *(tunica sclera)*** – Gr. *skleros*, твърд:
  - ✓ най-външната обвивка – “бялото на окото”
  - ✓ задните 4/5 от общата площ на фиброзната обвивка
  - ✓ плътна защитна мембрана (дебелина 0.3-1.0 mm)
    ⇨ поддържа формата на очната ябълка
  - ✓ гладка, осигурява прикрепването на външните очни мускули
  - ✓ перфорирана от много съдове и нерви
    ⇨ *lamina cribrosa, sinus venosus sclerae* (канал на *Schlemm*)
  - ✓ непрозрачна с променлива дебелина:
    - ➢ 1 mm на задния полюс
    - ➢ 0,3 mm зад мускулните сухожилия
  - ✓ фиброзна съединителна тъкан – 4 слоя:
    - ➢ *episclera*
    - ➢ *stroma*
    - ➢ *lamina fusca*
    - ➢ *endothelium*

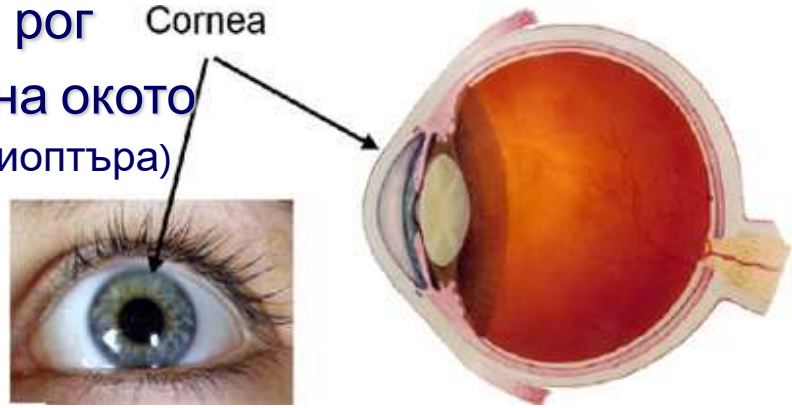






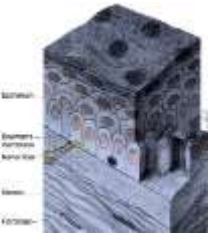
Външна фиброзна обвивка, *tunica fibrosa bulbi*

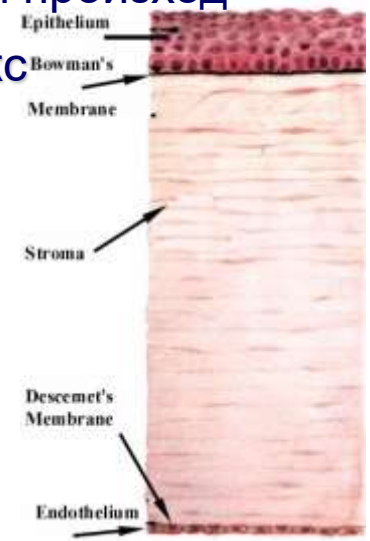
- **Роговица, *cornea*** – “kerat-“, Gr. *κέρας*, рог

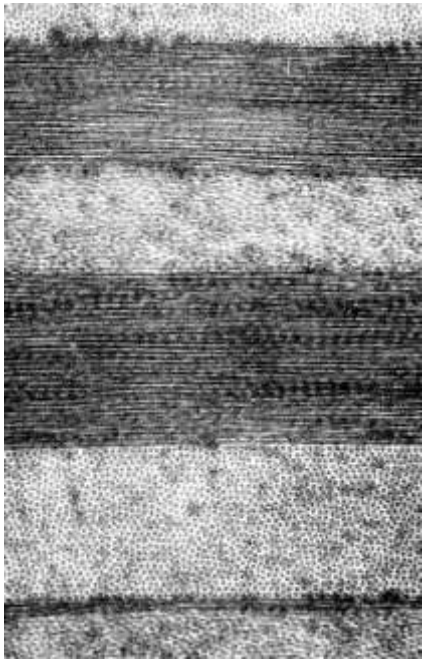


  - ✓ защитна и прозрачна фронтална част на окото
    ⇨ отразява (заедно с лещата) светлина (~43 диоптъра)
  - ✓ предната 1/5 (диаметър 11-12 mm) от общата площ на фиброзната обвивка
  - ✓ плътна с варираща дебелина:
    - ➢ ~1,2 mm около периферията
    - ➢ 0,5-0,6 mm в центъра й (роговична шапка)
  - ✓ аваскуларна структура ⇨ ектодермален произход
  - ✓ богато инервирана ⇨ корнеален рефлекс

  - ✓ хистологично – пет слоя:
    - ➢ ***epithelium*** *anterius*
    - ➢ *lamina limitans anterior* (на ***Bowman***)
    - ➢ *substantia propria* (корнеална **stroma**)
    - ➢ *lamina limitans posterior* (на ***Descemet***)
    - ➢ *epithelium posterius* (***endothelium***)



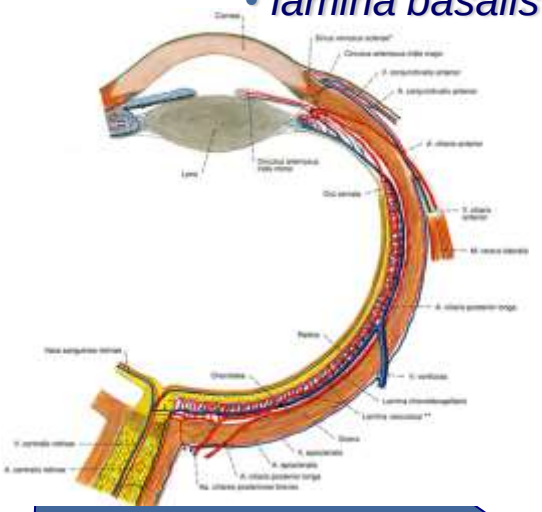


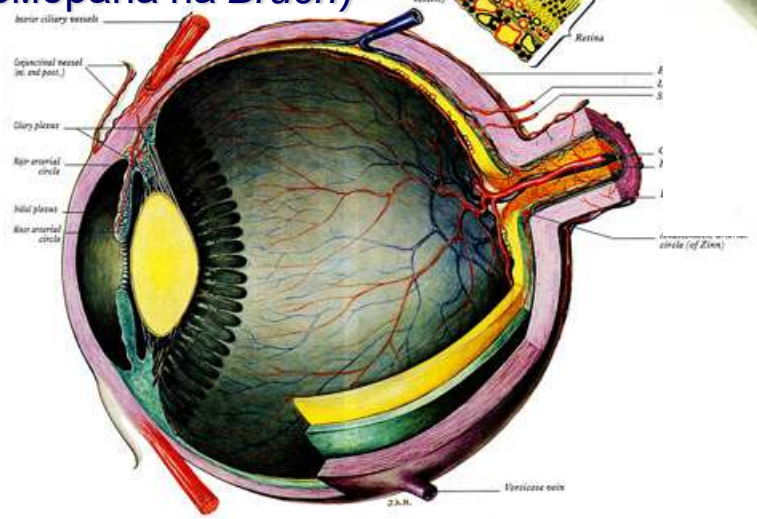


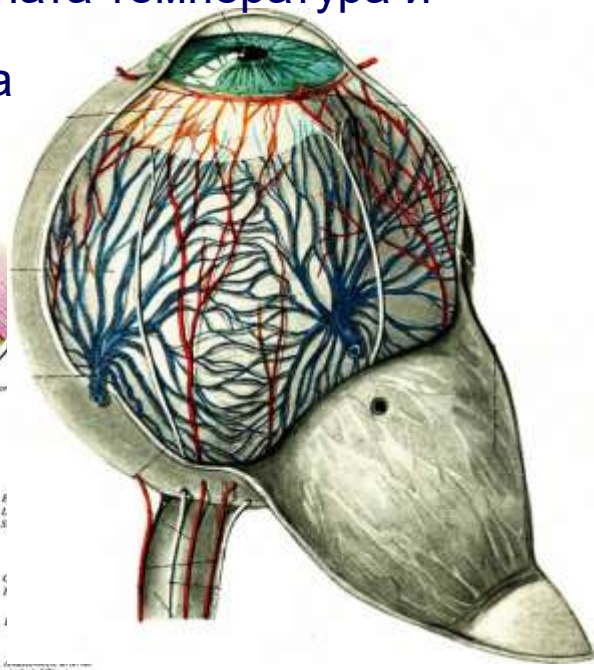
*NB: The mnemonic "**EBSDE**in", read as "**Ebstein**" can be used to remember the layers in sequence!*

Съдова обвивка, *tunica vasculosa bulbi*

- **Хороидея, *choroidea (uvea)*** – ⅔ от повърхността ѝ (~ 0,5 mm у човек):
  - ✓ тънка, силно васкуларизирана (**увеален тракт**) ***uva, Lat. грозде***
  - ✓ плътен капилярен плексус – поддържа вътреочната температура и осигурява снабдяване с кислород и изхранване на външните метаболитно активни слоеве на ретината
  - ✓ хистологичен строеж:
    - ➢ *lamina suprachoroidea* – ~ 30 µm дебела
    - ➢ *choroidea propria:*
      - *lamina vasculosa*
      - *lamina capillaris (choriocapillaris)*
      - *lamina basalis* (мембрана на *Bruch*)

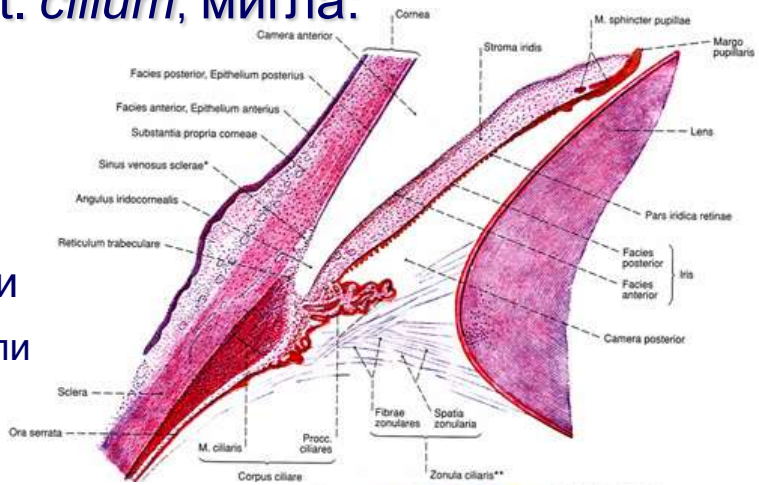


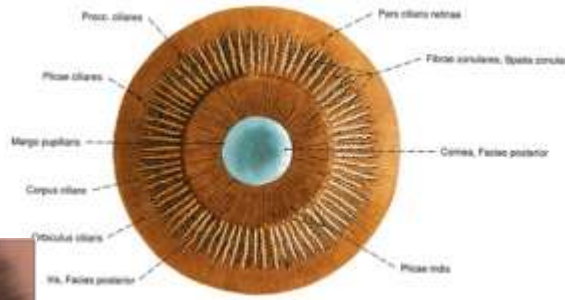


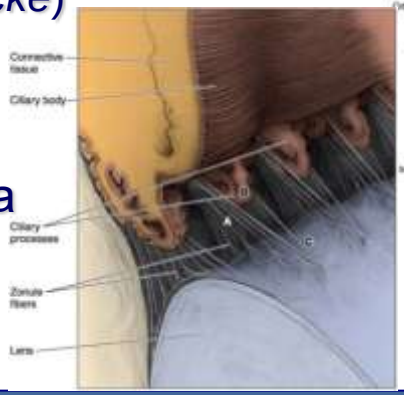


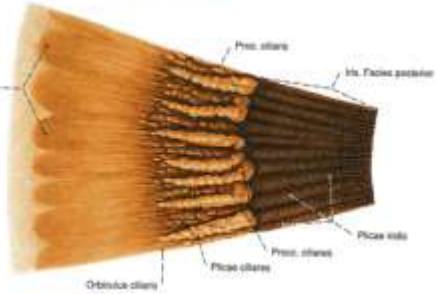
Съдова обвивка, *tunica vasculosa bulbi*

- **Ресничесто тяло, *corpus ciliare*** – Lat. *cilium*, мигла:
  - ✓ околовръстна лента
  - ✓ триъгълна в хоризонтален план
  - ✓ покрита с двоен слой, *epithelium ciliare*
    - ➢ повърхностна ламина – цилиндрични клетки
    - ➢ дълбок слой – кубични клетки с пигментни гранули
  - ✓ строеж:
    - ➢ *orbiculus ciliaris (pars plana)* – 3,5-4 mm
    - ➢ *corona ciliaris (pars plicata)*
      - 70-80 *processus ciliares* ⇨ *humor aquosus*
      - *plicae ciliares*
    - ➢ *musculus ciliaris* ⇨ *fibrae zonulares* (на *Zinn*) ⇨ леща
      - *fibrae meridionales* (мускул на *Brücke*)
      - *fibrae radiales (obliquae)*
      - *fibrae circulares* (мускул на *Müller*)
  - ✓ функции:
    - ➢ секретира воднист сок ⇨ глаукома
    - ➢ разхлабване на *fibrae zonulares* ⇨ акомодация на окото



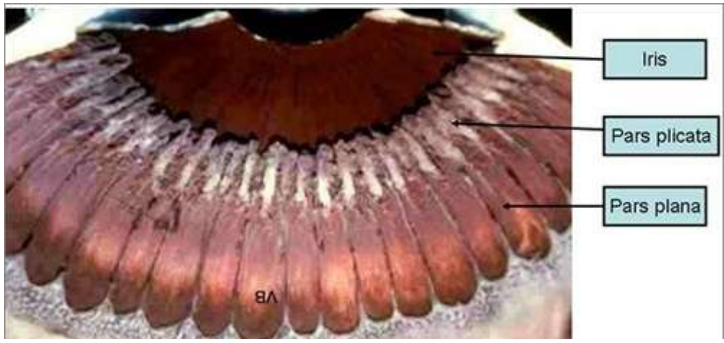


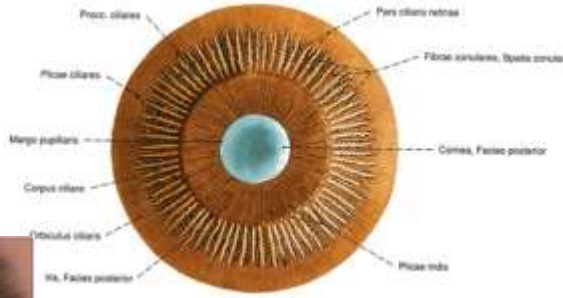


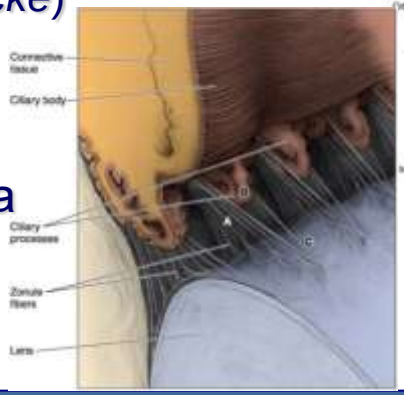


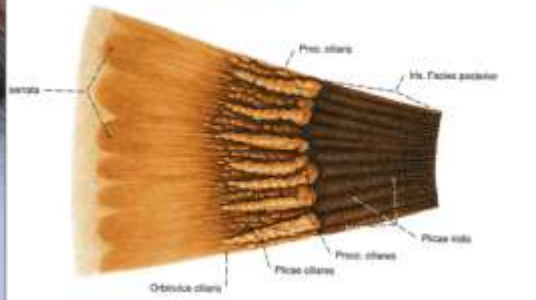
Съдова обвивка, *tunica vasculosa bulbi*

- **Ресничесто тяло, *corpus ciliare*** – Lat. *cilium*, мигла:
  - ✓ околовръстна лента
  - ✓ триъгълна в хоризонтален план
  - ✓ покрита с двоен слой, *epithelium ciliare*
    - ➢ повърхностна ламина – цилиндрични клетки
    - ➢ дълбок слой – кубични клетки с пигментни гранули
  - ✓ строеж:
    - ➢ *orbiculus ciliaris (pars plana)* – 3,5-4 mm
    - ➢ *corona ciliaris (pars plicata)*
      - 70-80 *processus ciliares* ⇨ *humor aquosus*
      - *plicae ciliares*
    - ➢ *musculus ciliaris* ⇨ *fibrae zonulares* (на *Zinn*) ⇨ леща
      - *fibrae meridionales* (мускул на *Brücke*)
      - *fibrae radiales (obliquae)*
      - *fibrae circulares* (мускул на *Müller*)
  - ✓ функции:
    - ➢ секретира воднист сок ⇨ глаукома
    - ➢ разхлабване на *fibrae zonulares* ⇨ акомодация на окото



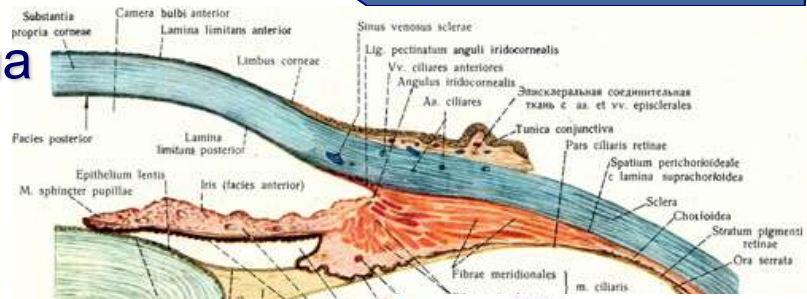


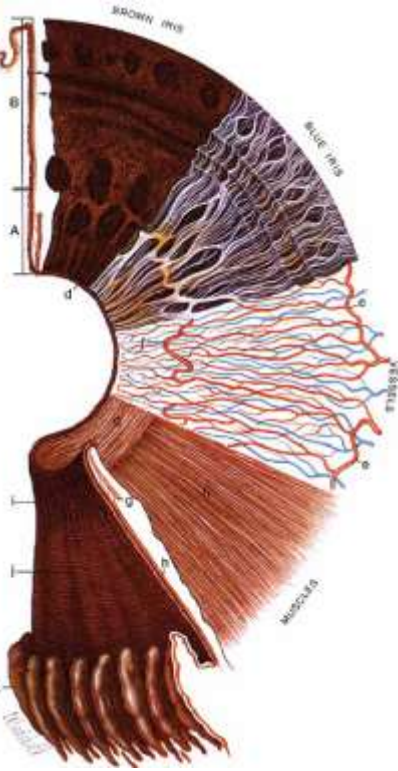




Съдова обвивка, *tunica vasculosa bulbi*

- **Дъговица, ирис, *iris:***
  - ✓ непрозрачна, пигментирана диафрагма
  - ✓ две основни части:
    - ➢ *zona pupillaris* ⇨ *pupilla*, зеница
      - • *m. sphincter pupillae*
      - • *m. dilatator pupillae*
    - ➢ *zona ciliaris* ⇨ *corpus ciliare*
  - ✓ *angulus iridocornealis* ⇨ *spatia Fontanae*
  - ✓ хистологичен строеж:
    - ➢ *epithelium anterius iridis* – отпред
    - ➢ *stroma iridis* – пигментна фиброваскуларна тъкан
    - ➢ *epithelium pigmentosum* – отзад
  - ✓ функции:
    - ➢ контрол на зеничния рефлекс
    - ➢ определя количеството светлина до ретината
    - ➢ отговорна за "цвета на очите„
    - ➢ притежава 256 уникални характеристики – биометрична идентификация

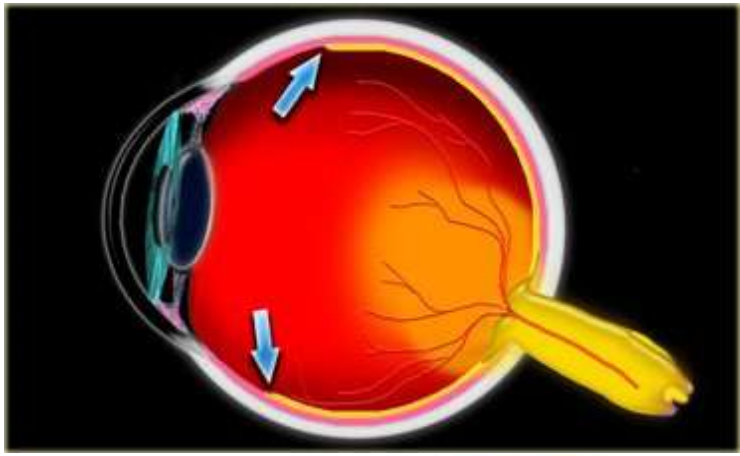


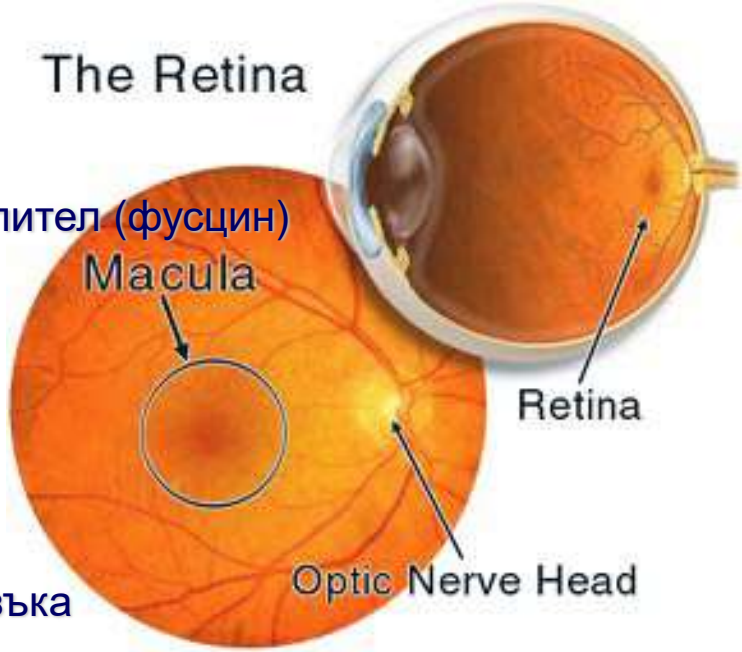


NB: Iris (гр. Ἶρις, небесна дъга)

Вътрешна обвивка, *tunica interna bulbi*

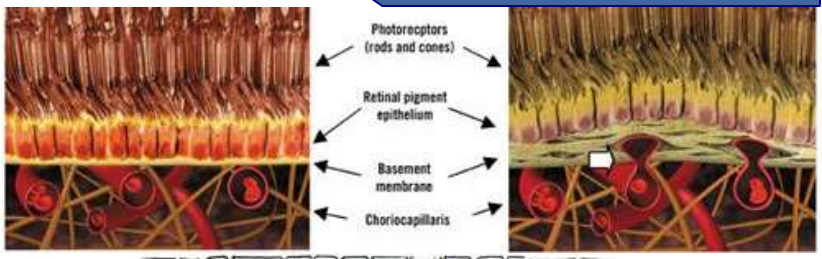
- **Ретина, *retina* –** Lat. *rete*, мрежа:
  - ✓ ~ 72% от вътрешната повърхност
  - ✓ тънка структура с дебелина от 0.04 до 0.4 mm
  - ✓ невронален, светочувствителен слой
  - ✓ две основни части – *ora serrata:*
    - ➢ предна “сляпа” част, *pars ceca retinae*
      - *pars ciliaris*
      - *pars iridialis*
    - ➢ задна оптична част, *pars optica retinae*
      - *macula lutea* ⇨ *fovea centralis*
      - *discus n. optici* – “сляпо петно”
  - ✓ строеж – два основни слоя:
    - ➢ външен *stratum pigmentosum* ⇨ пигментен епител (фусцин)
    - ➢ вътрешен *stratum nervosum*
  - ✓ функции
    - ➢ функционира като фотофилм:
      - получава образа, възприет от очите
      - преобразува светлинния сигнал в нервен импулс (“фототрансдукция")
      - предава образа чрез зрителния нерв до мозъка

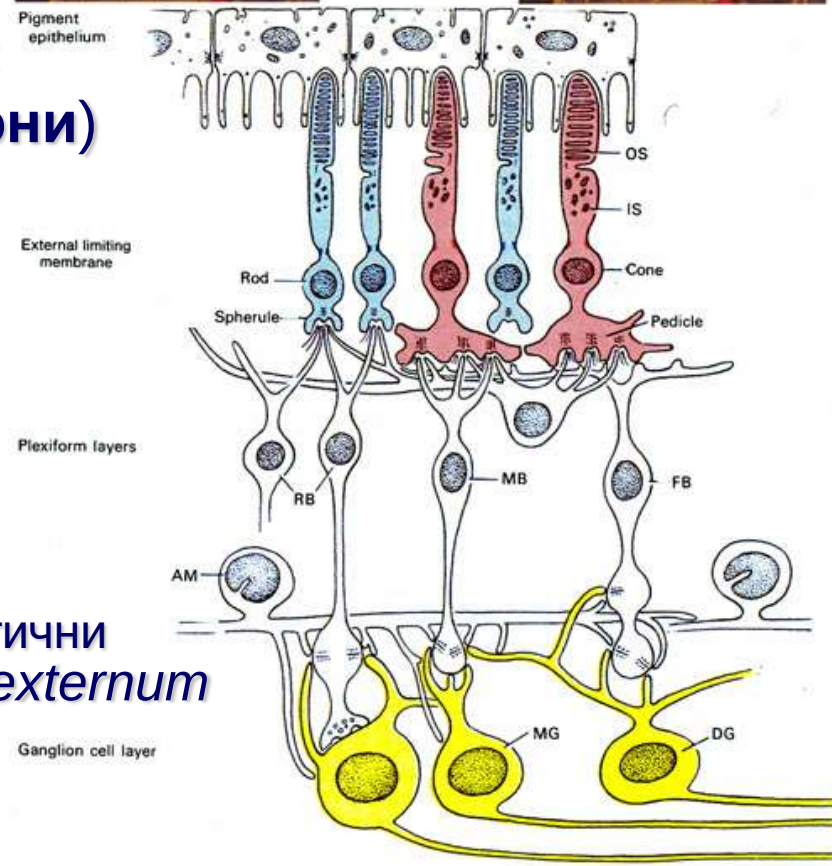




Строеж на ретината

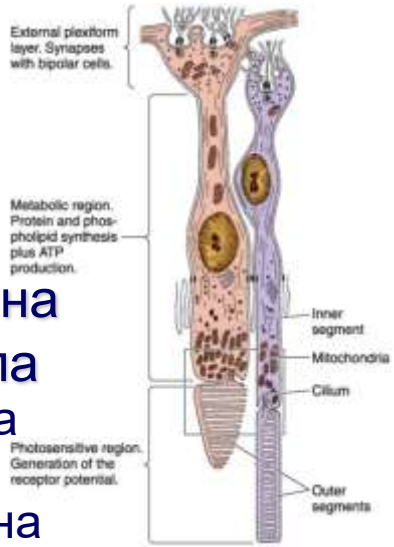
- **три слоя ретинални неврони**
- **два слоя синапси**
- ***stratum pigmentosum***
  - ✓ 4-6 млн. хексагонални клетки – фусцин
- **stratum nervosum** – 5 клет. типа:
  - ✓ невроепителни (**фоторецепторни**) – в *stratum neuroepitheliale*
    - ➢ **пръчици**
    - ➢ **конусчета**
  - ✓ **биполарни клетки** – в *stratum ganglionicum retinae*
  - ✓ **ганглийни клетки** – в *stratum ganglionare nervi optici*
  - ✓ **хоризонтални клетки** – ГАМКергични интерневрони – в *stratum plexiforme externum*
  - ✓ **амакринни клетки** – в *stratum plexiforme internum*

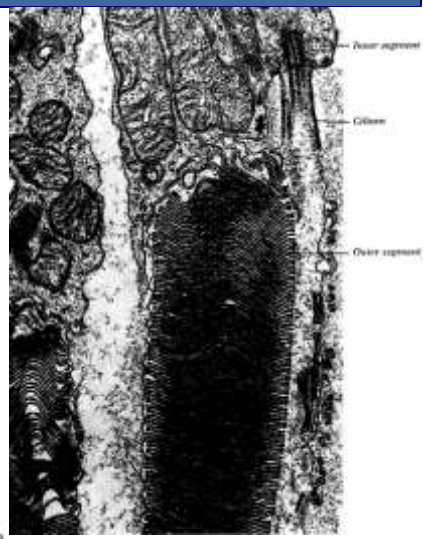


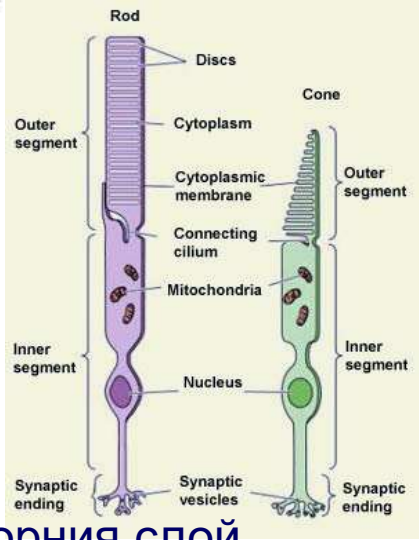


Фоторецепторни клетки

- **неврони осъществяващи фототрансдукция**
- класически фоторецептори – два основни класа:
  - ✓ **пръчици** – 75 до 150 млн.
    - ➢ адаптирани за слаба светлина “нощно виждане“
    - ➢ съдържат родопсин
  - ✓ **конусчета** – ~ 7 млн.
    - ➢ функционират при ярка “дневна” светлина
    - ➢ улавят цветове (йодопсин) – три типа
      - отговорни за късовълнова (синя) светлина
      - средновълнова (зелена) светлина
      - дълговълнова (жълто-червена) светлина
  - ✓ фоточувствителни ганглийни клетки – 1-2% от всички (1,3 млн.) ганглийни клетки у човек
- еднакъв строеж:
  - ✓ клетъчно тяло с ядро във външния зърнест слой;
  - ✓ външен сегмент (дискове), свързващ отдел (*cilium*), вътрешен сегмент (ядро и митохондрии) във фоторецепторния слой

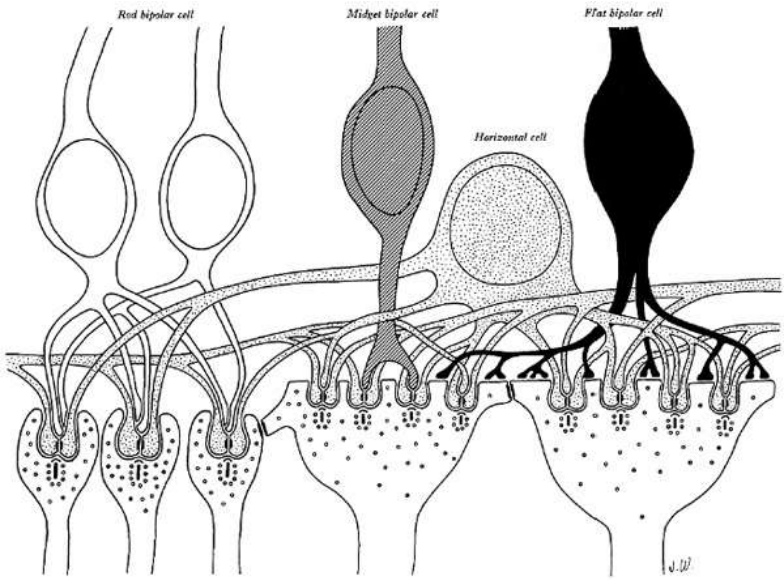


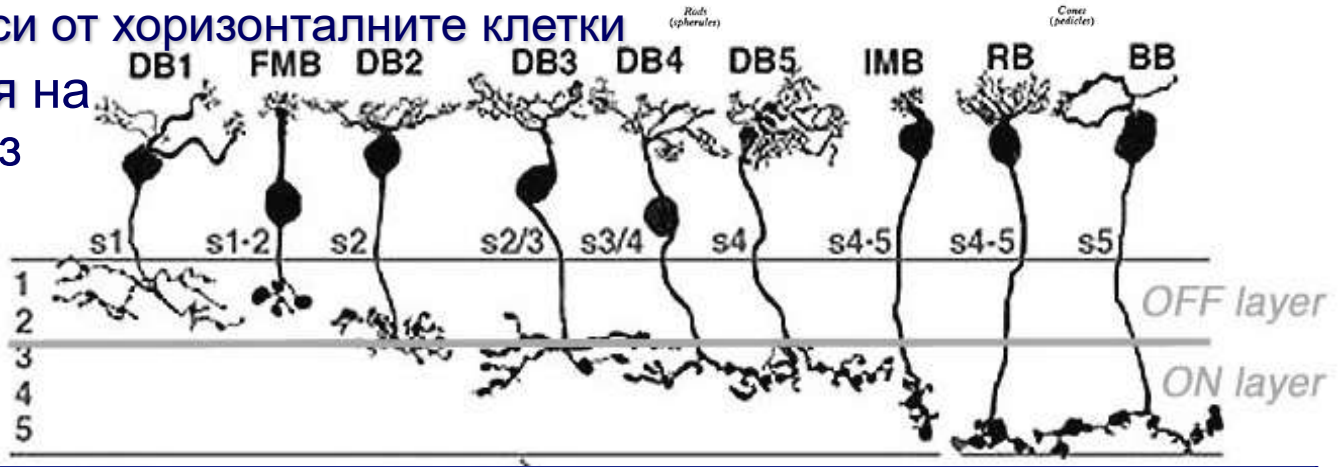




Биполарни клетки

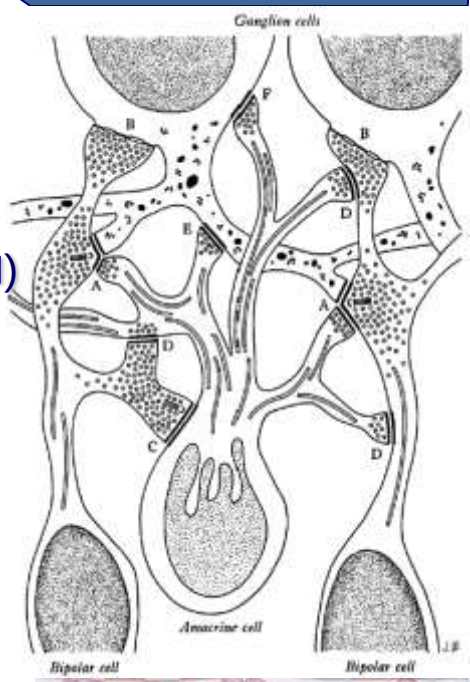
- провеждат светлинния сигнал от фоторецепторните клетки до ганглийните клетки – интерневрони
- три типа биполарни неврони:
  - ✓ пръчковидни биполарни клетки
  - ✓ дребни (конични) биполарни клетки
  - ✓ плоски биполарни клетки
- обща клетъчна структура:
  - ✓ централно клетъчно тяло във вътрешния зърнест слой
  - ✓ периферен израстък
    - ➢ синапсира с пръчица или конусче
  - ✓ централен израстък
    - ➢ приема синапси от хоризонталните клетки
- директна инервация на фоторецептора чрез метаботропен (ON) или йонотропен (OFF) рецептор

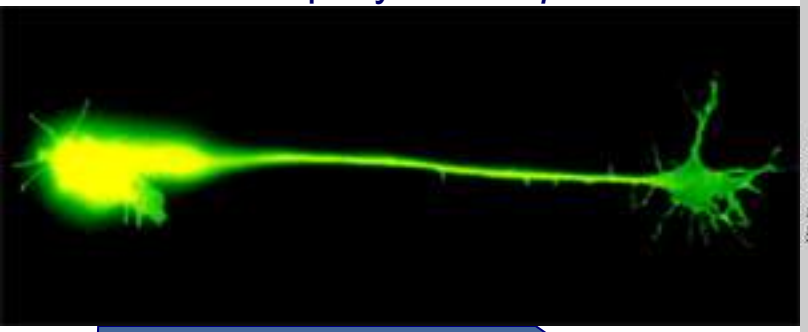


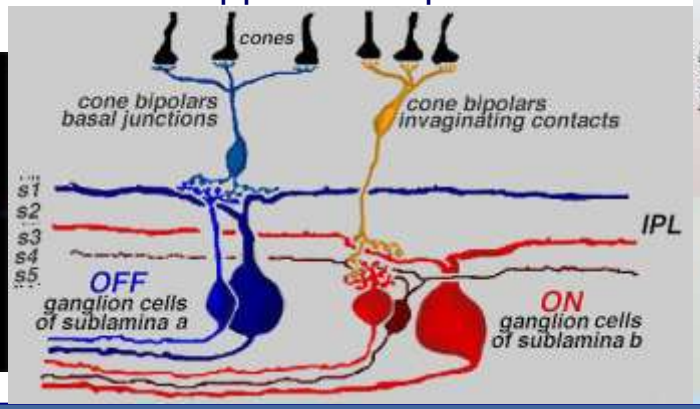


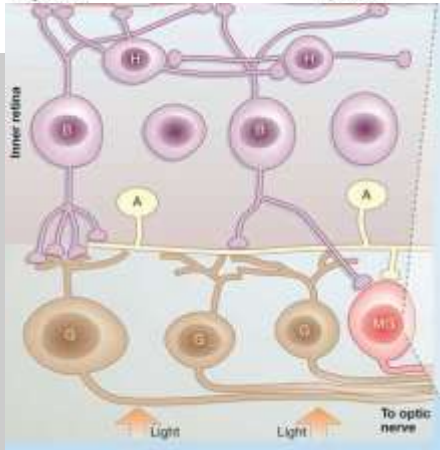
Ганглийни клетки

- получават зрителната информация от фоторецепторите чрез биполарни или амакринни клетки
- предават информацията от ретината до области в мозъка
- ~ 1,2-1,5 млн. ретинални ганглийни клетки в човешка ретина
- пет основни вида ганглийни неврони:
  - ✓ дребни ганглийни клетки (моносинаптични; А-клетки)
  - ✓ “parasol” (магноцелуларни; В-клетки)
  - ✓ полисинаптични (пръчковидни и плоски) клетки
  - ✓ фотосензитивни ганглийни клетки
- строеж:
  - ✓ централно клетъчно тяло в ганглийния клетъчен слой
  - ✓ периферен израстък
    - ➢ контактува синаптично с биполарни или амакринни клетки
  - ✓ централен израстък – дълъг аксон достигащ мозъка
    - ➢ образуват *n. opticus*



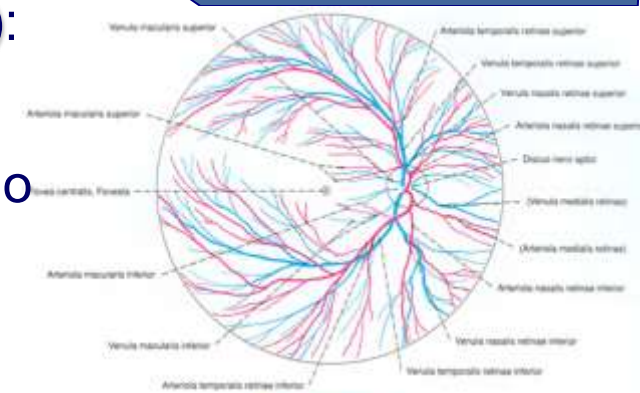


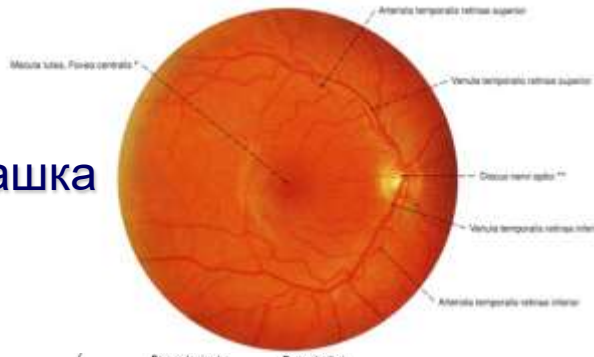


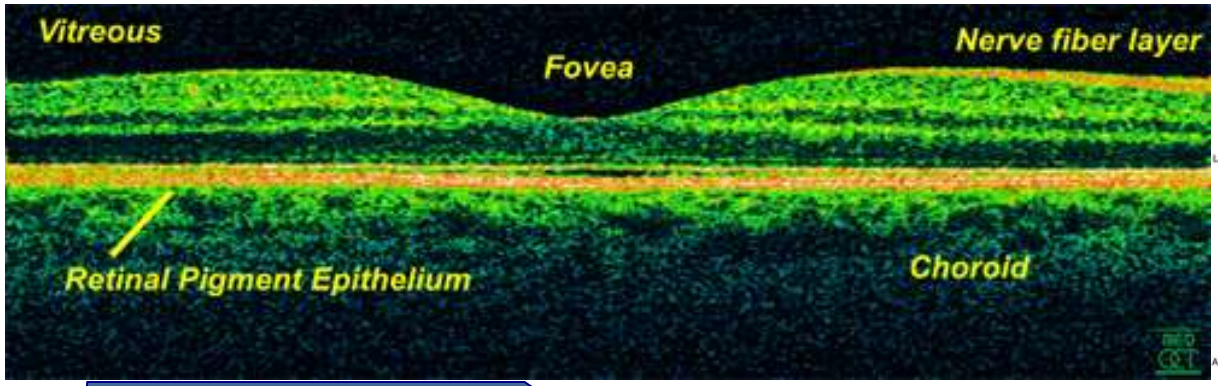


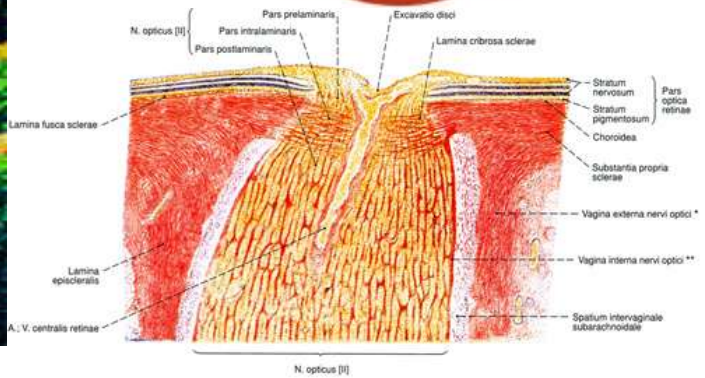
Жълто петно

- *macula lutea* (Lat. *macula*, петно + *lutea*, жълт):
  - ✓ овално, силно пигментирано жълто петно с диаметър около 5 mm
  - ✓ в центъра *fovea centralis* ⇨ съдържа най-голямо струпване на конусчета в окото ⇨ осигурява "най-острото зрение"
- *discus n. optici (papilla optica):*
  - ✓ при изхода на аксоните на ганглийните клетки за да образуват зрителния нерв
  - ✓ 3-4 mm от назалната страна на *fovea*'та
  - ✓ вертикален овал с централно хлътване, очна чашка
  - ✓ не съдържа фоточувствителни клетки – "сляпо петно"



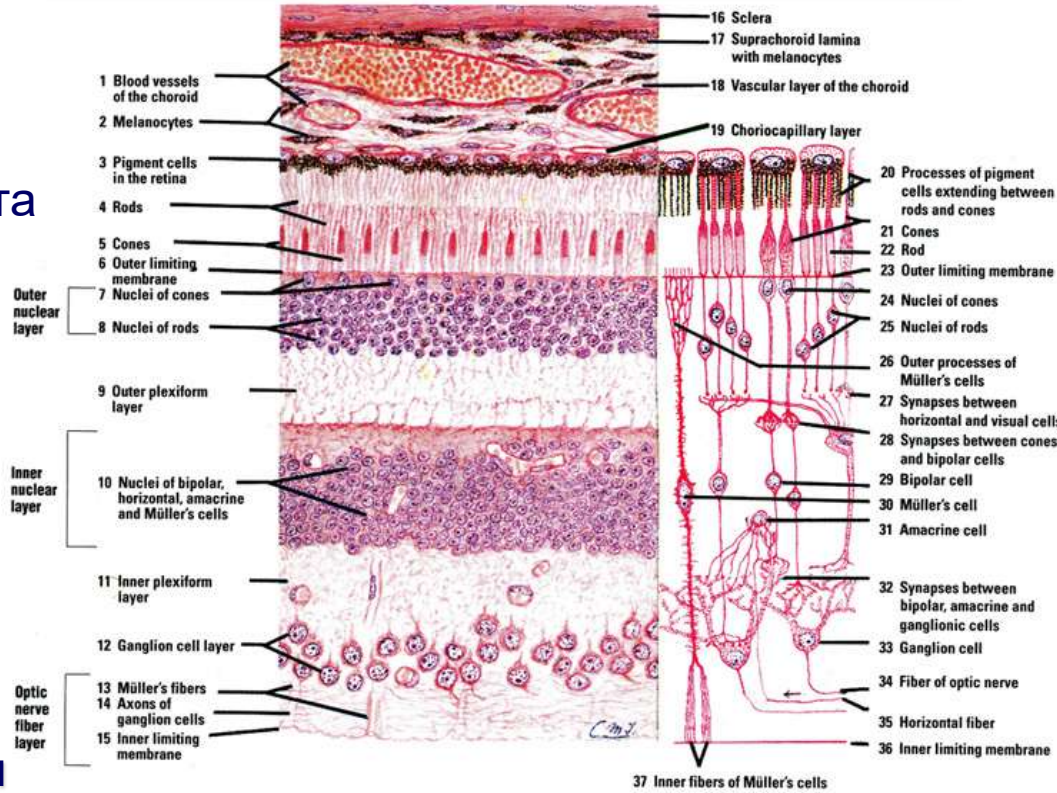






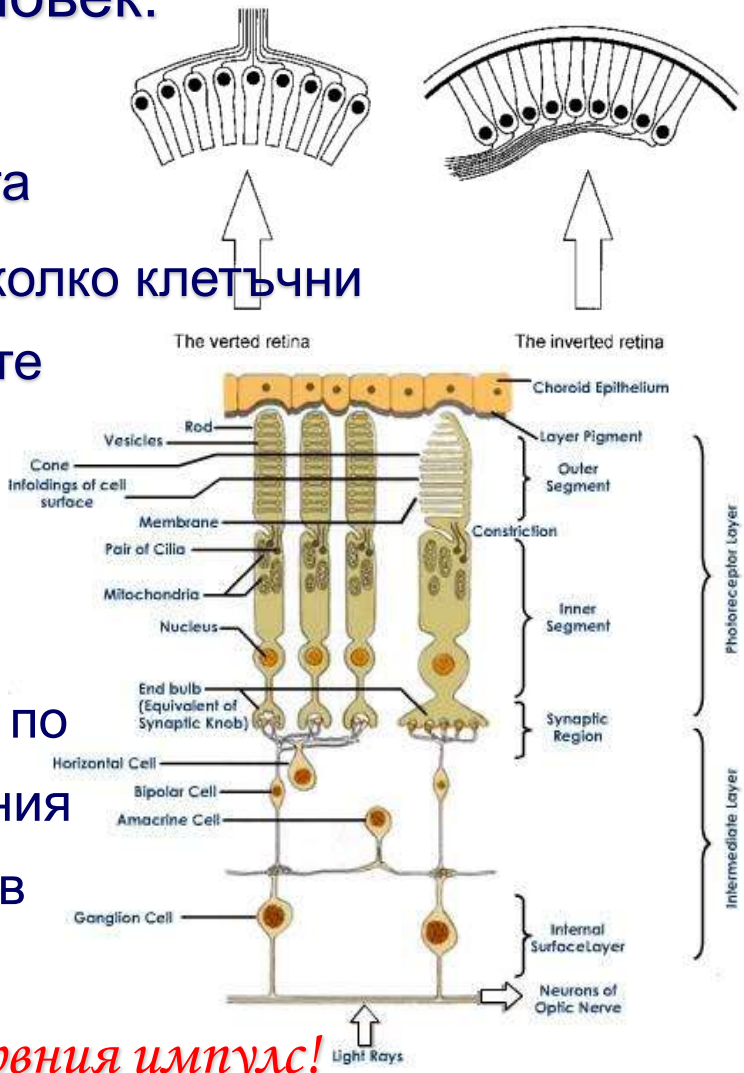
Микроскопски строеж на ретината

- **retina** – ≤0,5 mm дебела
- **десет слоя:**
  - ✓ *stratum pigmentosum retinae*
  - ✓ *stratum bacillorum et conorum* – периферни израстъци на клетките
  - ✓ *stratum limitans externum* – *glyocyti radiales* (на *Müller*)
  - ✓ *stratum nucleare externum* – кл. ядра на пръчици и конусчета
  - ✓ *stratum plexiforme externum* фиброзен слой на *Henle (macula)*
  - ✓ *stratum nucleare internum* – биполарни, хоризонтални и амакринни клетки
  - ✓ *stratum plexiforme internum*
  - ✓ *stratum ganglionicum*
  - ✓ *stratum neurofibrarum*
  - ✓ *stratum limitans internum* – центр. израстъци на Мюлерови клетки и астроцити



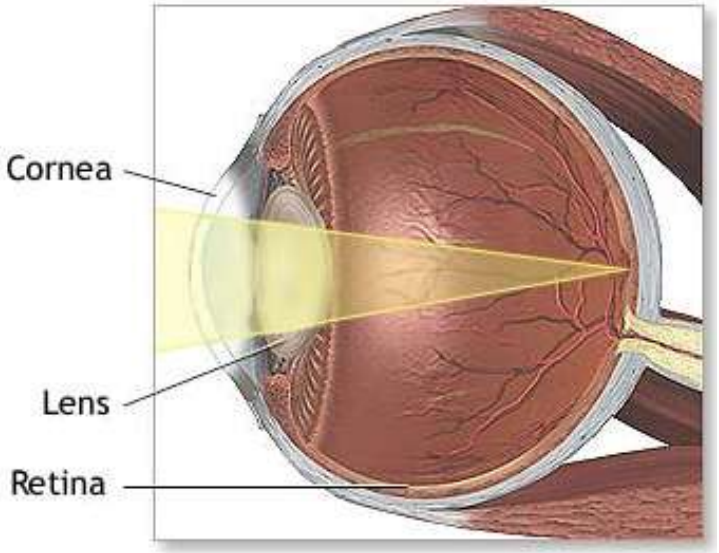
Инвертен тип ретина

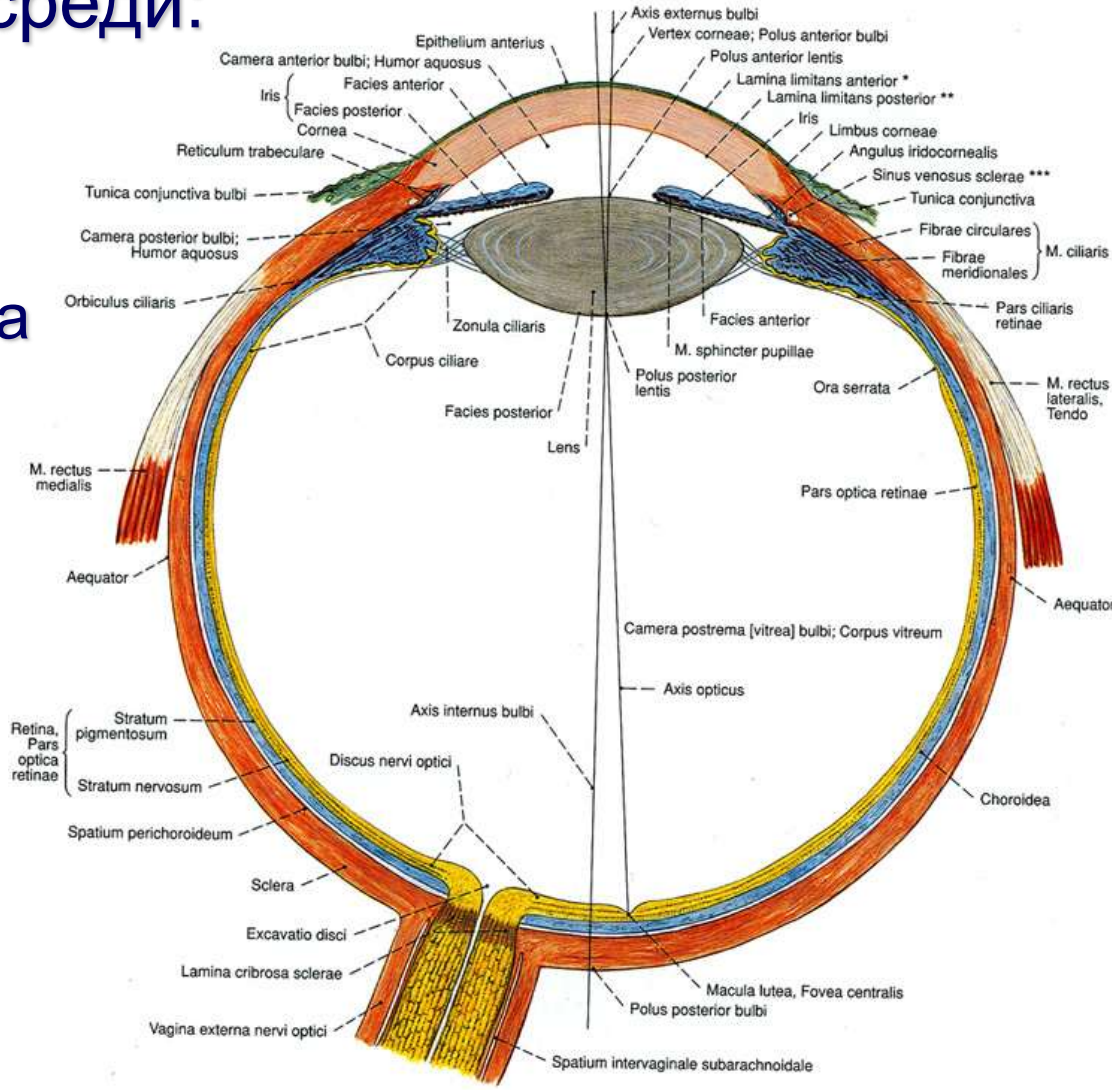
- ‘инвертна’ подредба на ретината у човек:
  - ✓ фоточувствителните клетки са разположени в задната част на ретината
  - ✓ светлината трябва да премине през няколко клетъчни слоя за да достигне до фоторецепторите
  - ✓ външният образ се фокусира върху ретината където фотостимулът се преобразува в нервен сигнал
  - ✓ нервните импулси преминават обратно по невроналната верига от фоторецепторния през ганглийния слой до зрителния нерв
  - ✓ *NB: противоположна посока на светлинния стимул и нервния импулс!*



Вътрешно ядро на окото

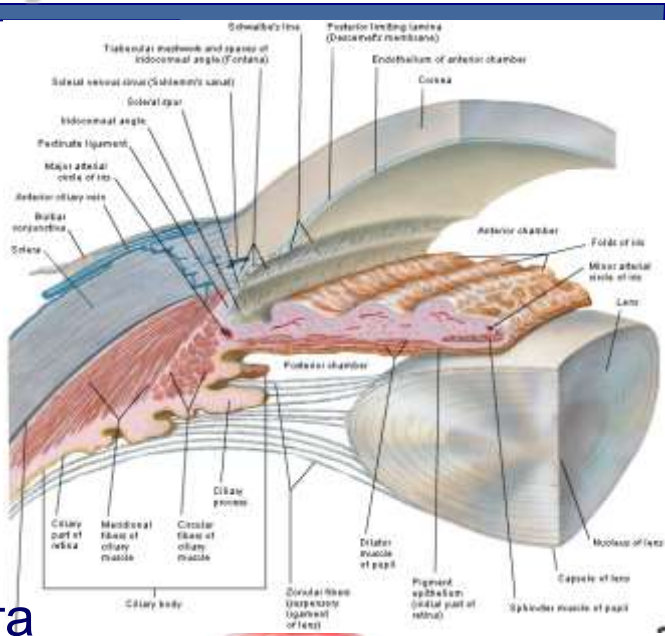
- Светопречупващи среди:
  - ✓ очни камери – предна и задна
    - ➢ воднист сок
  - ✓ стъкловидна камера
    - ➢ стъкловидно тяло
  - ✓ леща

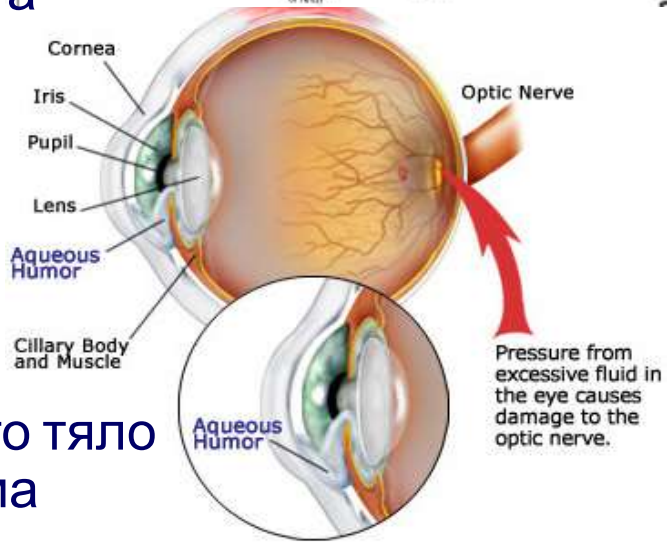




Очни камери

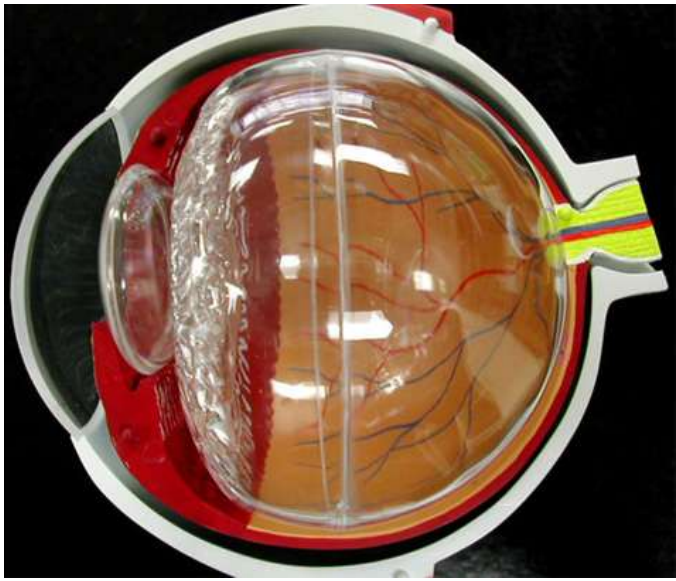
- очни камери:
  - ✓ предна, *camera anterior bulbi* – между роговица и ирис
  - ✓ задна, *camera posterior bulbi* – между ирис, леща и ресничесто тяло
- воднист сок, *humor aquosus:*
  - ✓ осигурява изхранването на лещата и корнеалния ендотел
  - ✓ поддържа конвексната форма на роговицата
  - ✓ отделя крайните продукти от метаболизма
- състав:
  - ✓ вода – 99%, глюкоза, аминокиселини
  - ✓ йони: HCO^{3-}; Cl^{-}; Na^{+}; K^{+}; Ca^{2+}; PO_4^{3-}
  - ✓ протеини: албумин, β-глобулини
- производство и отток:
  - ✓ изработва се в задната камера от ресничестото тяло
  - ✓ дренира се в канала на *Schlemm* ⇨ глаукома

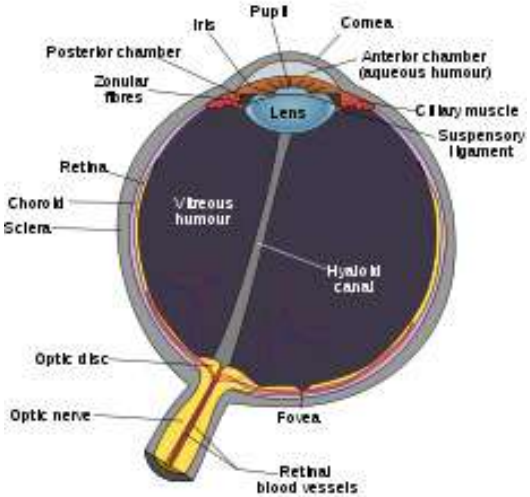




Стъкловидно тяло, *corpus vitreum*

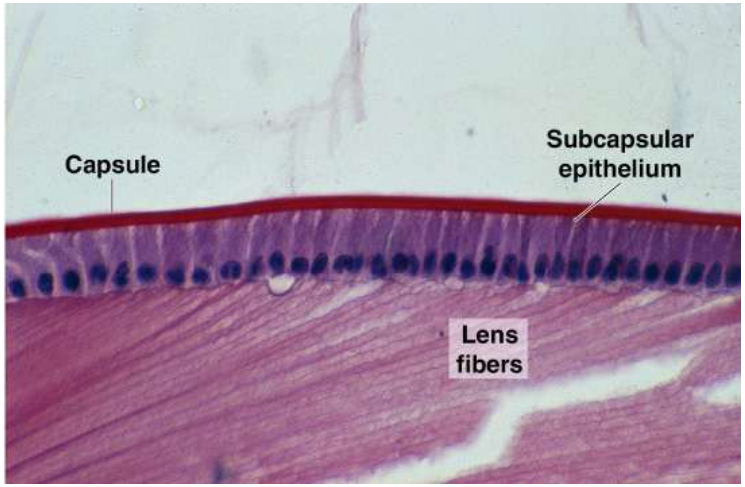
- стъкловидна камера ~4/5 от очната ябълка
  - ✓ съдържимото е инертно
- стъкловидно тяло:
  - ✓ прозрачна, безцветна, желатинозна маса
  - ✓ произвежда се от ретинални клетки
- строеж:
  - ✓ стъкловидна мембрана периферно
  - ✓ *canalis hyaloideus* (на *Cloquet*) централно
  - ✓ единични клетки – фагоцити и хиалоцити
  - ✓ не съдържа кръвоносни съдове
- състав:
  - ✓ вода – 99%
  - ✓ соли
  - ✓ малко гликопротеини и хиалуронова к-на
  - ✓ витрозин (тип колаген)
- функции:
  - ✓ пречупваща среда
  - ✓ задържа ретината на място

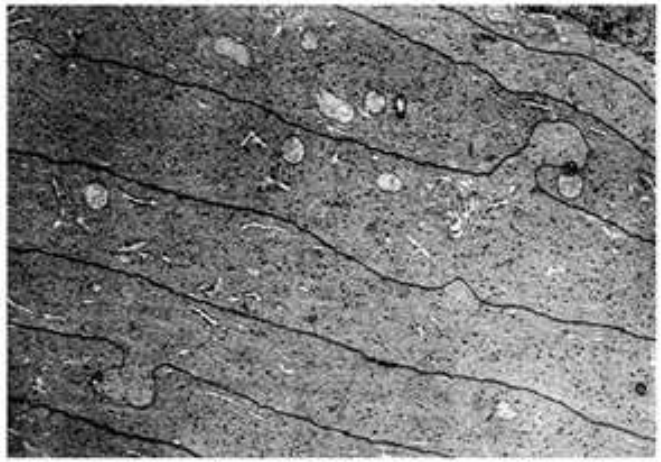


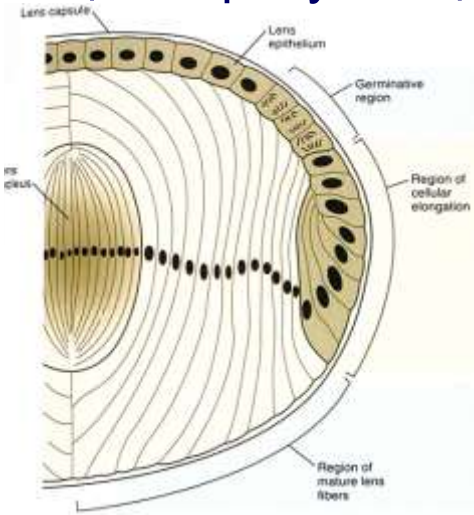


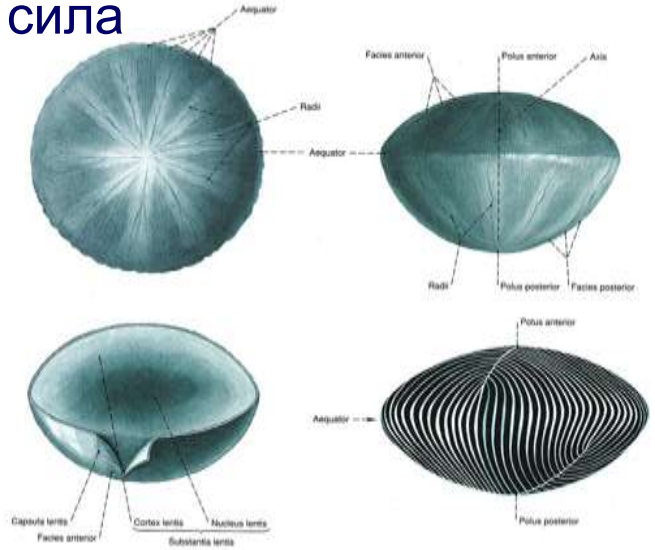
Леща, *lens*

- леща – *lens*, Gr. *phacos:*
  - ✓ прозрачно, двойноизпъкнало тяло
- строеж:
  - ✓ преден и заден полюс
  - ✓ екватор и капсула, *capsula lentis*
  - ✓ меко, пихтиесто корово вещество, *cortex*
  - ✓ плътна централна част, *nucleus lentis*
  - ✓ не съдържа истинска еластична тъкан
  - ✓ *fibrae lentis* (клетки) – повърхностни и дълбоки
- функция:
  - ✓ пречупва светлината за да се фокусира върху ретината
  - ✓ 15-18 диоптъра (⅓) от общата пречупваща сила



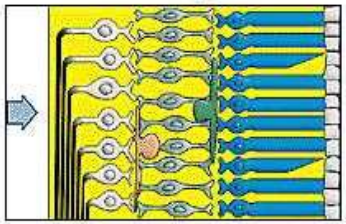


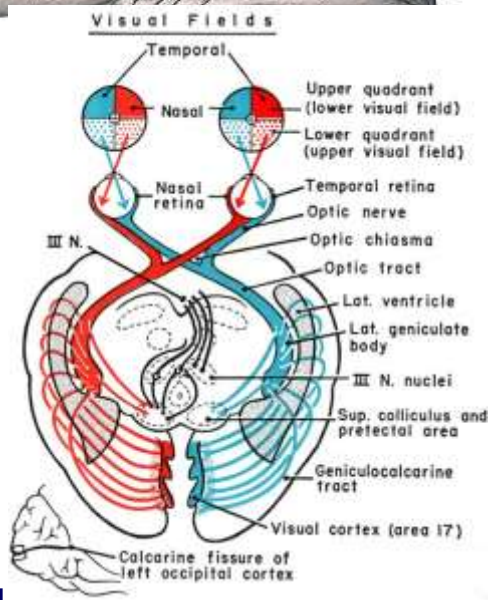


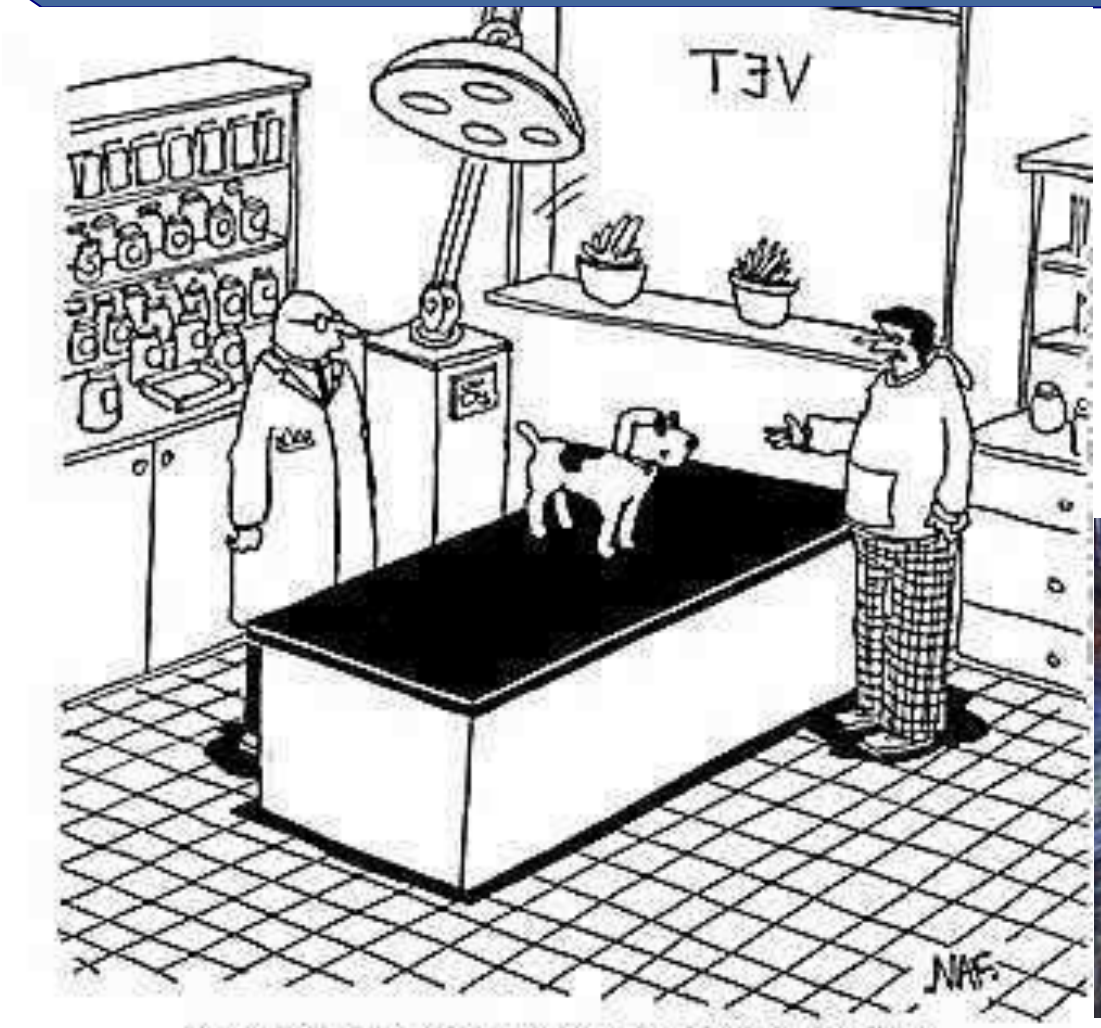


Зрително-сензорна система

- ретина:
  - ✓ I неврон: фоторецепторни клетки – пръчици&конусчета
  - ✓ II неврон: биполарни клетки
  - ✓ III неврон: ретинални ганглийни клетки
- *nervus opticus* – 1 млн. аксони на ганглийните клетки
- *tractus opticus:*
  - ➢ *colliculus superior*
  - ➢ *area pretectalis*
  - ➢ *tegmentum mesencephalici*
  - ➢ *nucleus suprachiasmaticus* на хипоталамуса
- *corpus geniculatum laterale* – IV неврон
  - ➢ *tractus geniculocalcarinus* ⇨ *radiatio optica* (на *Gratiolet*)
- стриатална кора (поле 17), първична зрителна кора (V-I):
  - ✓ 3% от общата мозъчна повърхност
  - ✓ 10% от кортикалните неврони – многобройни ГАМКергични интерневрони







"When I asked you to remove his balls I didn't mean his eye balls!"

Благодаря…