

# Biofyzika zmyslového vnímania

## Receptory

## Biofyzika zraku

Ján Jakuš

<http://portal.jfmed.uniba.sk>

[www.jfmed.uniba.sk/index.php?id=3646](http://www.jfmed.uniba.sk/index.php?id=3646)

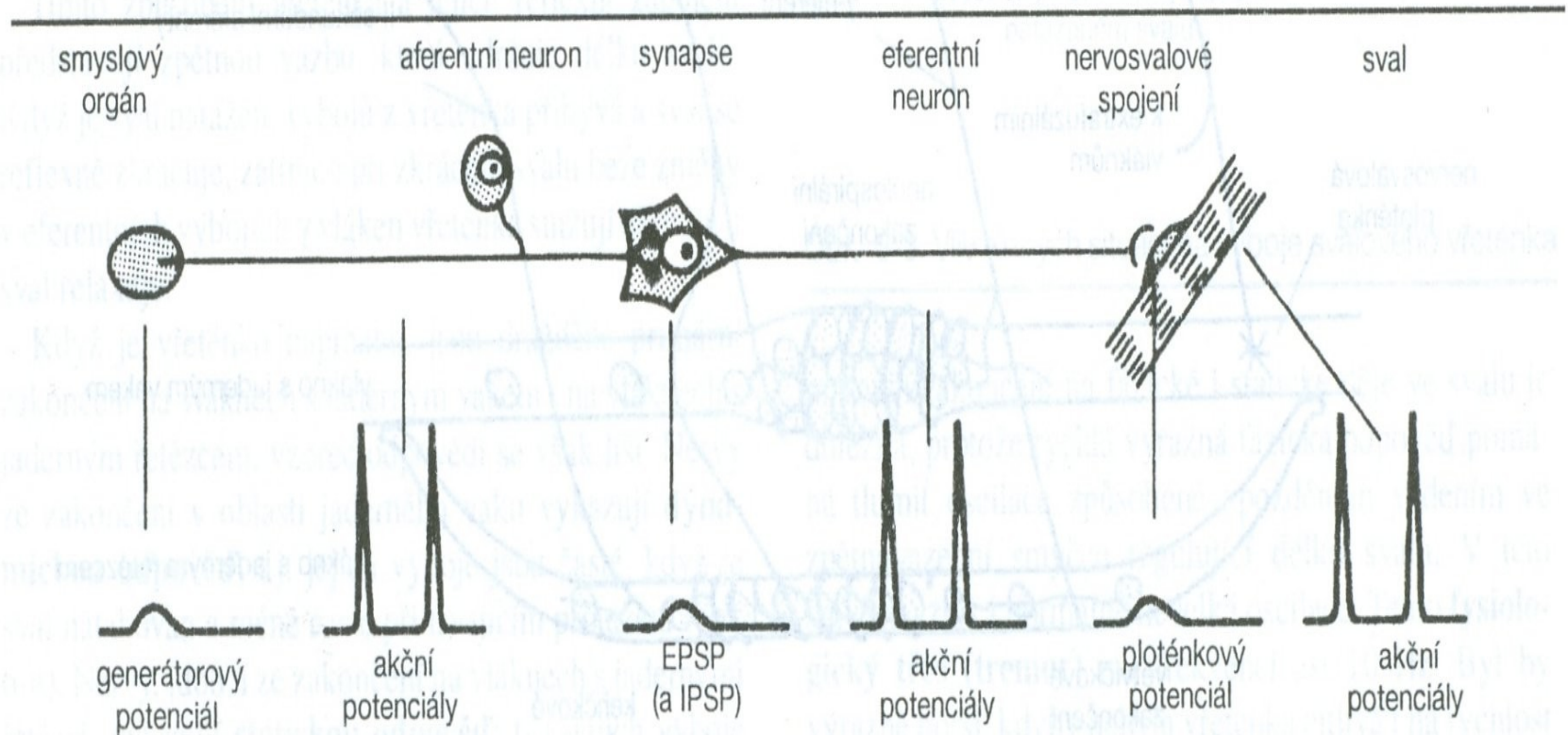
# Zmyslové vnímanie

Je schopnosť rozoznať, detegovať a spracovať vonkajšie podnety a odpovedať na ne. Informácie prichádzajú do CNS prostredníctvom **reflexného oblúka**.

**Reflexný oblúk** pozostáva z *receptora, aferentnej nervovej dráhy, centrálného nervového systému (mozog a miecha), eferentnej nervovej dráhy a efektora (sval, žľaza...)*

**Informácie z okolia** sú zachytávané zmyslovými sensormi-receptormi (Dotyku-Tlaku-Bolesti v koži, Chuti, Čuchu, Zraku, Sluchu...). Všetky informácie sú v organizme kódované v 2 formách elektrickej odpovede: ako tzv. **lokálna elektrická odpoveď (miestny potenciál)** a tzv. **Akčný potenciál (AP)**.

# Reflexný oblúk



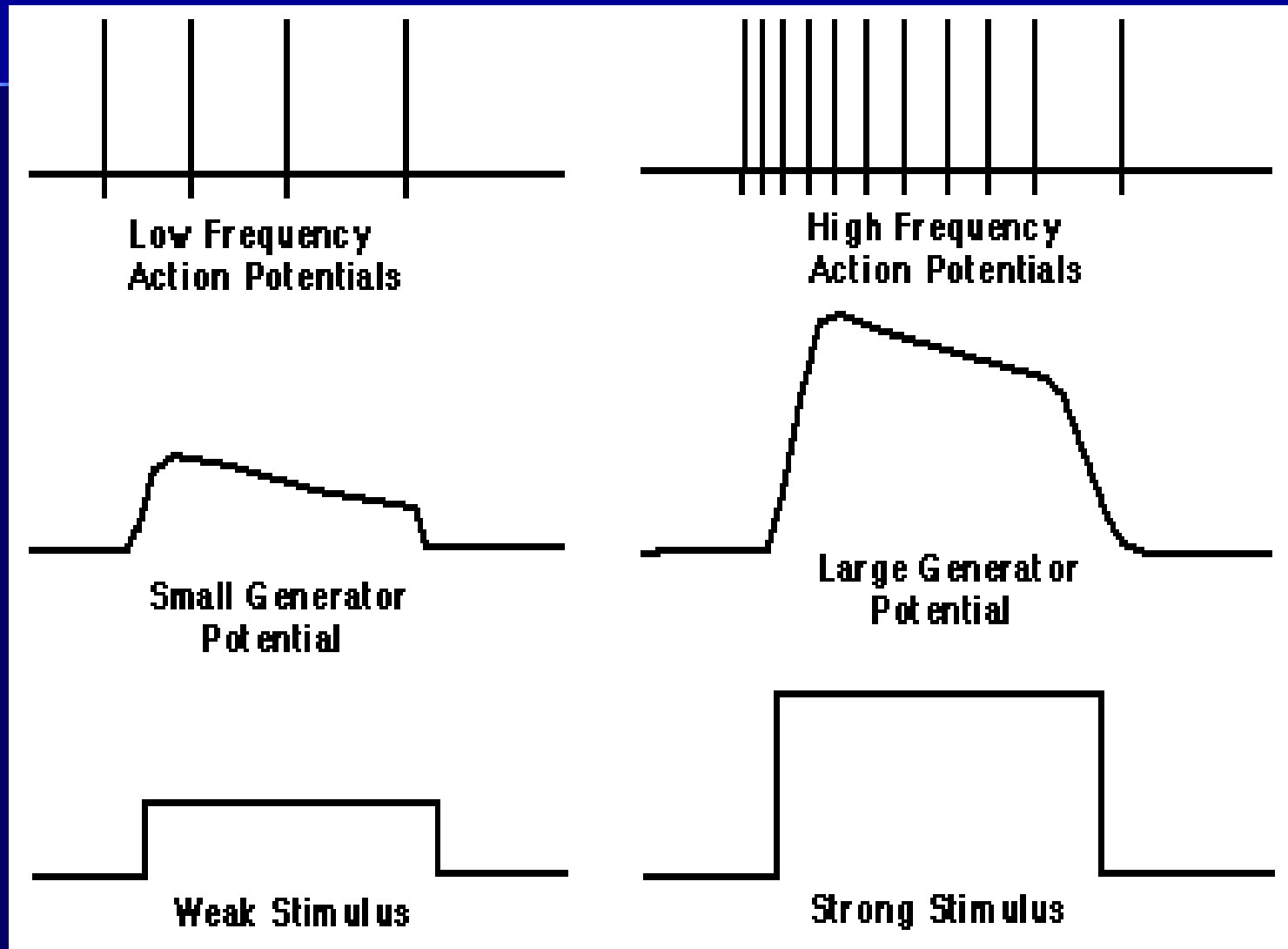
**Obr. 6-1.** Reflexní oblouk. Na receptoru a v CNS je nepropagující se odstupňovaná odpověď, která je úměrná velikosti dráždění, zatímco v částech oblouku specializovaných na přenos (aferentní a eferentní axon, svalová membrána) jsou odpověďmi akční potenciály charakteru vše nebo nic.

# Lokálna (miestna odpoveď) a Akčný potenciál (AP) - charakteristika

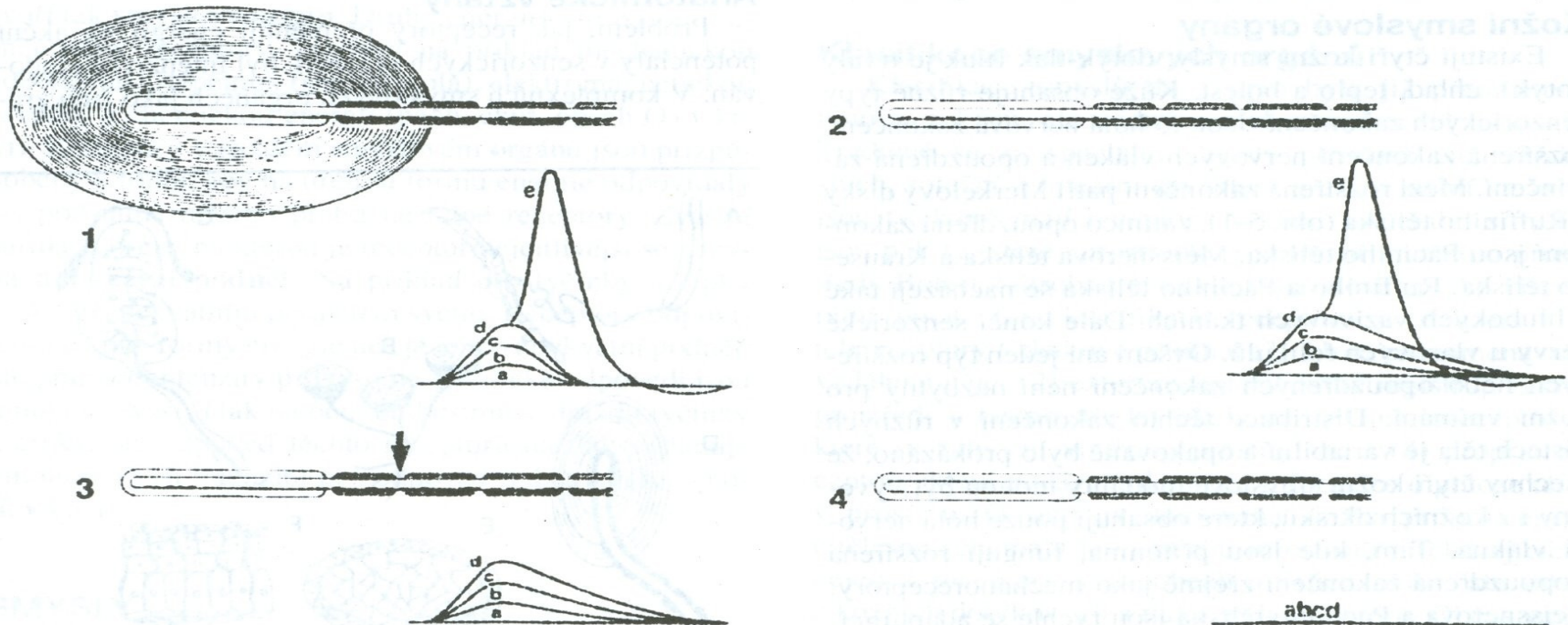
**Miestna elektrická odpoveď** - nešíri sa do okolia, vzniká na nemyelinizovanej časti buniek, viac odpovedí sa sčítava (sumuje). Keď ich veľkosť dosiahne hodnotu 10 mV vzniká na susednej myelinizovanej časti AP. Tento typ kódovania podnetov sa volá „**AMPLITÚDOVÉ**“ (príklady: receptorový, tiež generátorový potenciál, EPSP a IPSP na synapse a platničkový potenciál na nervosvalovej platničke).

**Akčný potenciál** je generalizovaná forma šírenia elektrickej aktivity, ktorá sa riadi zákonom **VŠETKO alebo NIČ**. Tento typ kódovania podnetov sa volá „**FREKVENČNÉ**“, t.j. čím silnejší je podnet tým je vyššia frekvencia AP, ktoré odchádzajú z receptora (príklady: šírenie AP cez aferentné a eferentné nervy a šírenie v svaloch)

# Amplitúdové a frekvenčné kódovanie podnetu ( stimulu )



# Kódovanie senzorického podnetu na Pacciniho teliesku (kožný receptor dotyku a tlaku)



**Obr. 5-2.** Důkaz, že generátorový potenciál v Paciniho tělísku vzniká v nemyelinizovaném nervovém zakončení. **1:** Záznam elektrické odpovědi na mírný tlak (a), dvojnásobnou (b), trojnásobnou (c) a čtyřnásobnou (d) intenzitu. **2:** Podobné odpovědi zůstávají zachovány i po odstranění vazivového pouzdra, jsou jen delší, protože se zmenšila adaptace. **3:** Generátorová odpověď je zachována, ale akční potenciál se neobjeví, když je první Ranvierův zářez (šipka) blokován tlakem nebo anestetikou. **4:** Všechny odpovědi vymizí, když je prořat senzoričný nerv a je ponechána dostatečná doba pro jeho degeneraci. (Upraveno podle Loewenstein WR: Biological transducers. *Sci. Amer.* [Aug] 1960, 203:98. Copyright 1960 Scientific American. Všechna práva vyhrazena.)

# Kódovanie na receptoroch

1. zahrňuje - **TRANSDUKCIU** ( premena energie podnetu na Generátorový potenciál – **GP** (dôsledok lokálnej depolarizácie dráždivej membrány receptora)
2. na úrovni susedného dostredivého nervu zahrňuje - **TRANSFORMÁCIU** (premena GP na **AP**, sumáciou Generátorových potenciálov)
3. **KONDUKCIU** (vedenie AP nervom „kontinuálne“ alebo „saltatoricky“)

# Receptory - definícia a vlastnosti

**Receptory** sú špeciálne nervové zakončenia ( v koži, v svaloch, cievach, kĺboch, kostiach, v srdci, pľúcach a iných orgánoch).

**Premieňajú** rôzne formy energie (mechanickú, chemickú, tepelnú, elektromagnetickú) na elektrickú energiu v jej 2 formách (**lokálny potenciál** → **AP**).

**Telo obsahuje asi 20 druhov** zmyslových receptorov, ktoré detegujú napr. dotyk, tlak, teplotu, natiahnutie, zvuk, svetlo, čuch, chuť, parciálny tlak plynov, koncentráciu solí, hormónov, etc. V tele chýbajú receptory pre ionizujúce žiarenie a elektromagnetické polia.



# Receptory - rozdelenie

I. Podľa miesta uloženia: **Exteroreceptory** - sú v koži :  
receptory dotyku, tlaku, tepla, chladu, bolesti

**Proprioreceptory** - v svaloch, šlachách, kĺboch – informujú o zmene dĺžky svalu a pohyboch šliach, kĺbov a kostí

**Interoreceptory** – receptory v orgánoch (srdce, pľúca, obličky) detegujú osmotický tlak plazmy, parciálny tlak plynov, bolesť...

II. Podľa typu transformovanej energie :

**Mechanoreceptory** - premieňajú mechanickú energiu na elektrický signál napr. exteroceptory, baroreceptory, receptory pľúcneho rozpätia...).

**Fotoreceptory** - receptory zraku (tyčinky a čapíky na sietnici s obsahom fotopigmentov)

**Chemoreceptory** – chuťové poháriky jazyka, čuchové receptory nosa, osmoreceptory v hypotalame...

**Nociceptory** - receptory bolesti - v koži a v orgánoch...

III. Podľa zložitosti stavby: **jednoduché** receptory ( v koži) a **zložené** receptory (oko, ucho)

# Únikový reflex



reflexarc.sw

# Zákony zmyslového vnímania:

**Weber-Fechnerov zákon:** základný psychofyzikálny zákon. Čím silnejší je podnet, tým väčší je náš zmyslový vnem.

Veľkosť vnemu  $V = \log I$ , ( $I$  - sila podnetu)  
V modifikovanej podobe :

**Stevensonov zákon:**  $F_{AP} = k \cdot I^n$  ( $F_{AP}$  - frekvencia AP z receptora,  $k$  - konštanta,  $I$  - sila podnetu,  $n=1$  pre mechanoreceptory,  $n \approx 0.5$  pre fotoreceptory,  $n \approx 1.5$  pre nociceptory)

**Zákon projekcie :** Každý ľudský zmysel má v kôre mozgu svoju plochu, ktorá je špecifická pre danú modalitu. Preto môžeme naraz pociťovať dotyk, tlak, bolesť...

# Adaptácia receptorov

**Adaptácia** je vnútorná elektrická vlastnosť receptora (daná vodivosťou jeho membrány) odpovedať výbojmi AP na stimuláciu, ktorá má konštantnú silu a trvanie.

**Receptory s rýchlou adaptáciou výbojovej aktivity** – odpaľujú AP len krátko, obvykle na začiatku stimulácie. Typické sú receptory čuchu.

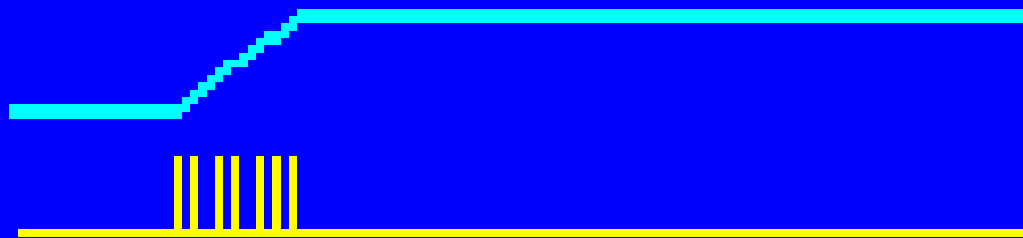
**Receptory s pomalou adaptáciou výbojovej aktivity** – odpaľujú AP spravidla počas celého trvania stimulácie, (napr. receptory chladu, tepla, krvného tlaku – baroreceptory, chemoreceptory, receptory pľúcneho rozpätia).

**Receptory bez adaptácie** (receptory bolesti)

**Receptory s pomalou adaptáciou a receptory bez adaptácie** sú biologicky významnejšie, keďže sú aktívne pri regulácii krvného tlaku, regulácii dýchania, pri odpovediach na bolesť a pod.

# Receptory rýchlo - a pomaly sa adaptujúce

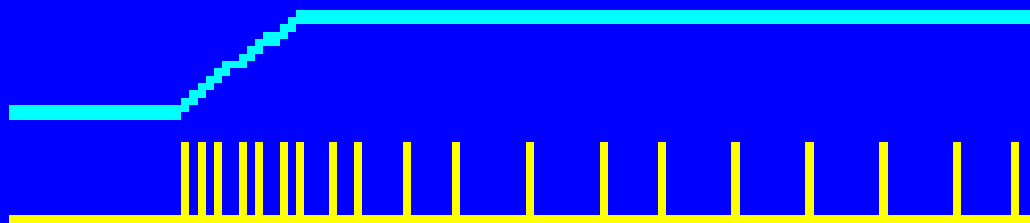
## Rapidly-Adapting



Stimulus

Neural  
Activity

## Slowly-Adapting



Stimulus

Neural  
Activity

# Biofyzika zraku

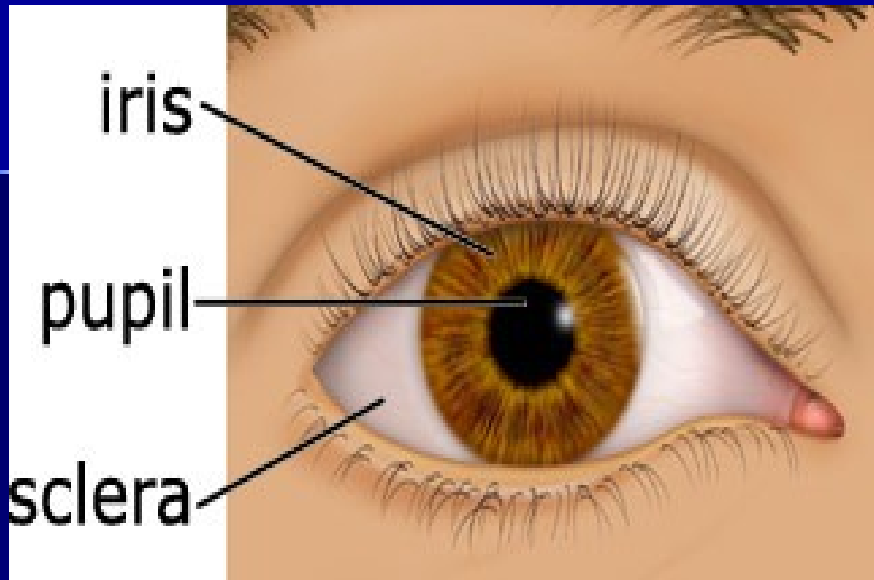
**Zrak**- je najdôležitejší ľudský zmysel, ktorý zabezpečuje príjem viac než 80% informácií z okolia.

**Adekvátny zrakový podnet** je elektromagnetické vlnenie fotónov ( pre **Viditeľné svetlo** je  $\lambda = 380 - 780$  nm). Pre **Ultrafialové svetlo**  $\lambda$  je pod 380 nm, pre **Infračervené svetlo** je  $\lambda$  viac než 780 nm.

**Rýchlosť svetla vo vákuu** je cca 300 000 km/s.  
(186 000 míl/s )

**!!! Pozor na fyzikálne charakteristiky svetla, definície jednotiek lux, lumen, kandela a pod., pozrieť v učebnici Hrazdira ,príp. Navrátil a kol.**

# Anatómia oka zvonka: dúhovka, zrenica, bielko, spojivka



Schopnosť vidieť zabezpečuje systém tzv. **Optického analyzátora**, ktorý pozostáva z 3 častí: **Očná guľa**, **Optické nervy** (a nervové dráhy), **zrakový kortex** v **záhlavovom laloku mozgu**.

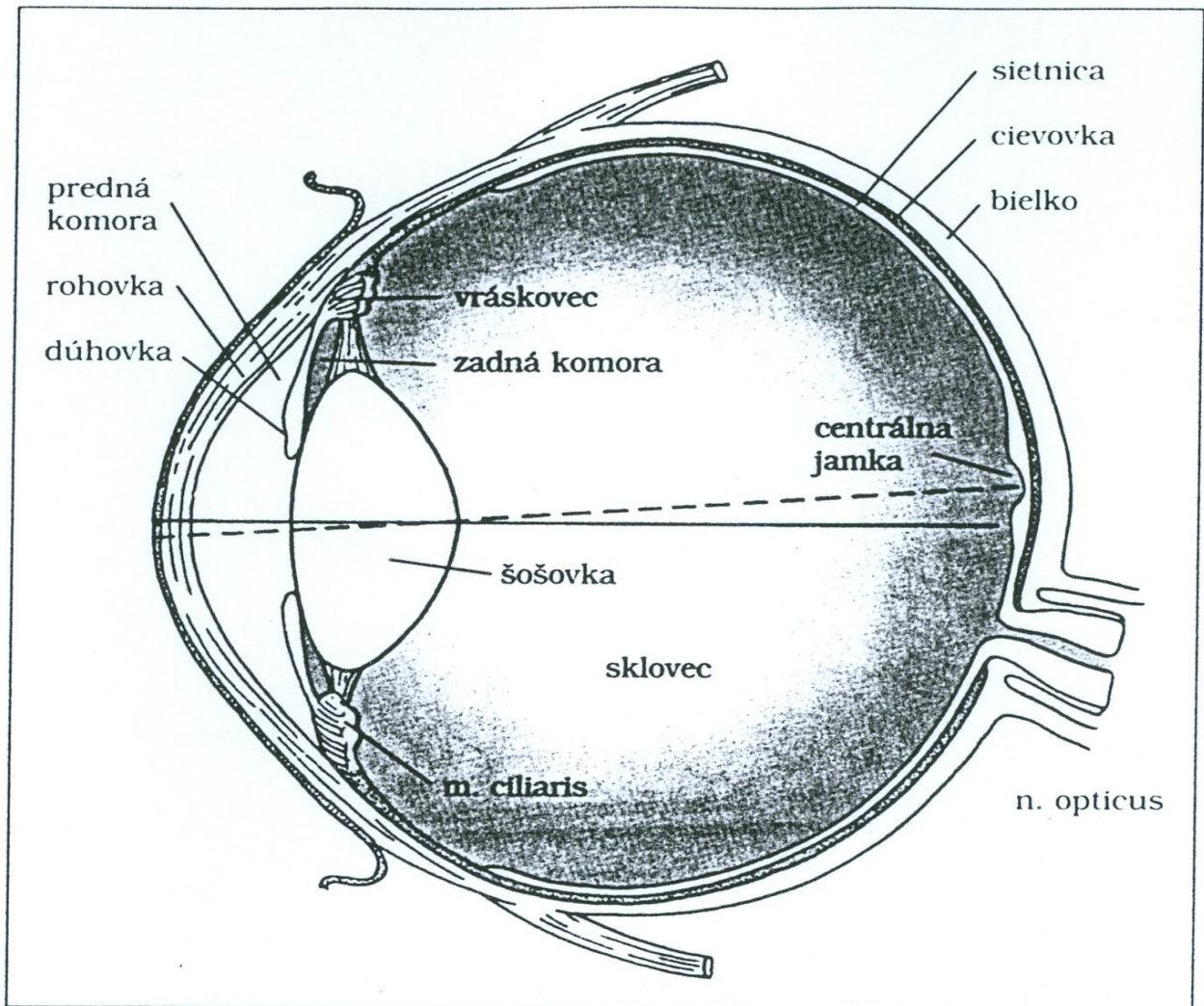
# Časti oka



natomy.sw



# STAVBA OKA- schéma

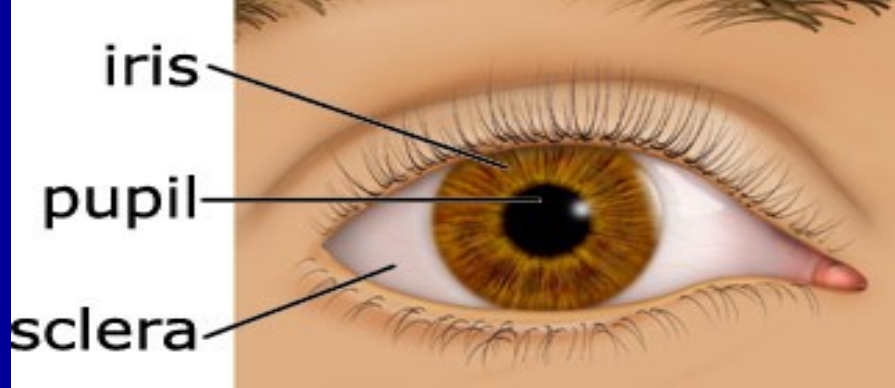


Obr. 16. 17 Anatomické štruktúry oka

**Očná guľa** ( okrúhly tvar s  $d = 2.5$  cm). *Pozostáva z 3 častí (zvonka dovnútra):*

**1. bielko (skléra), 2. cievovka (chorioidea), 3. sietnica (retina),**  
*a z 2 druhov tekutín:*

vodnatý komorový mok - **humor aquens**, vyplňuje prednú a zadnú očnú komoru a sklovcová tekutina-**vitreus humor**, vyplňuje zadný segment oka za šošovkou

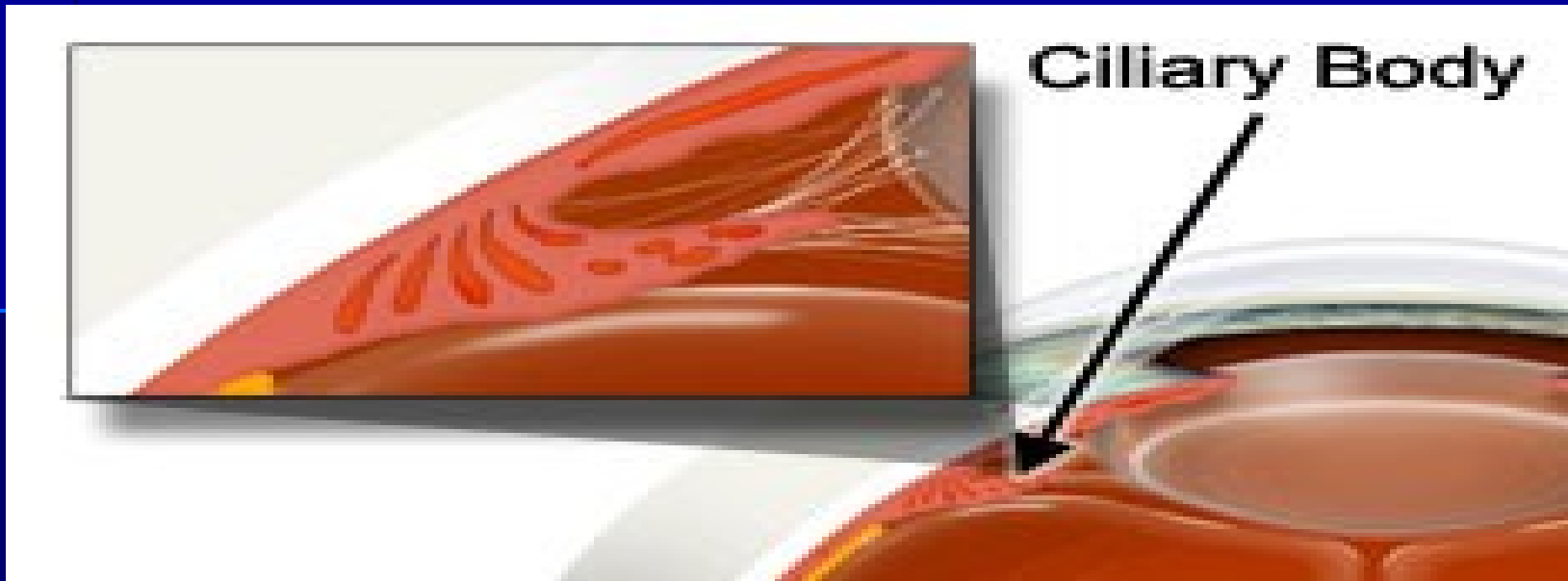


**Bielko-Skléra:** tenká väzivová vrstva, ktorá vpredu prechádza v priehľadnú Rohovku ( **CORNEA** ). Má najvyššiu schopnosť ohýbať svetelné lúče - **optickú lomivosť**( **refrakcia**). Obsahuje receptory bolesti, neobsahuje cievy. Za rohovkou je **Predná komora** a za dúhovkou je **zadná očná komora** ,ktoré sú vyplnené komorovým mokom (**humor aquens**). Tento vytvára **vnútroočný tlak**, s hodnotou cca 2 66 kPa

# Cievovka

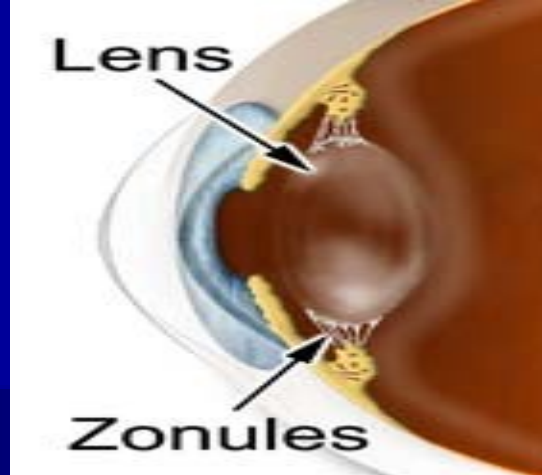


Cievovka- **chorioidea** je medzi sklérrou a retinou. Obsahuje početné cievy s funkciou vyživovacou. Vpredu prechádza cievovka do **Vráskovcového telesa** (corpus ciliare- tvorba humor aquens)

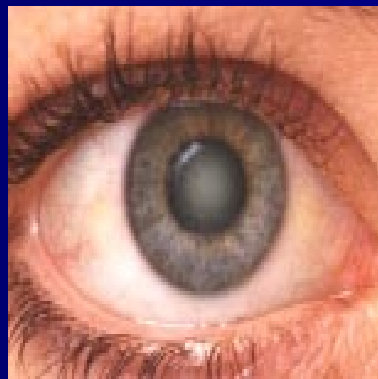


Vráskovcové teleso - **Corpus ciliare** obsahuje akomodačný SVAL - **m. ciliaris**, a podporové **LIGAMENTÁ (Zonuli)**, ktoré fixujú **ŠOŠOVKU - LENS**. Obe štruktúry su významné pre **AKOMODÁCIU oka** t.j. schopnosť oka zaostrit' na blízke predmety.

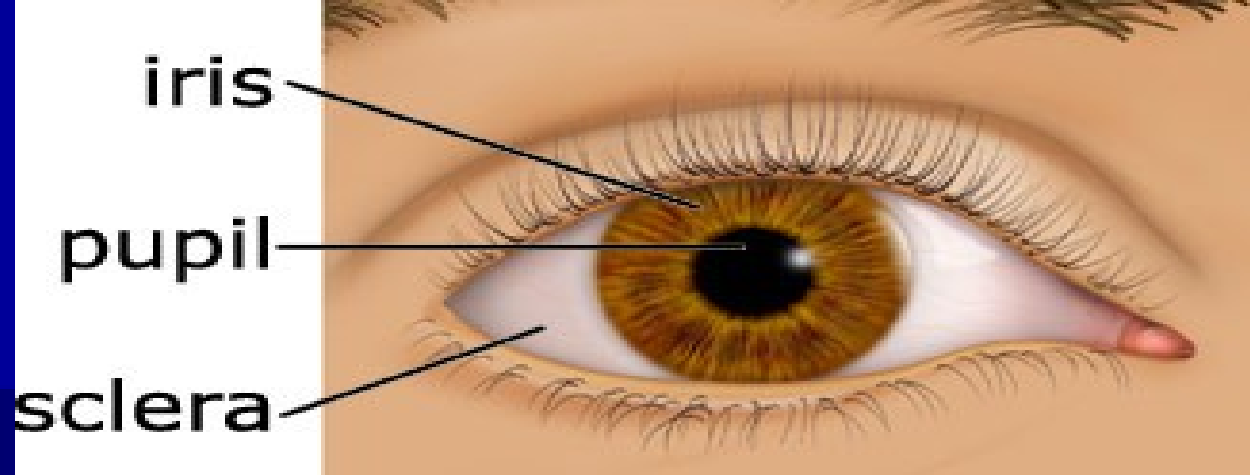
# Šošovka



**ŠOŠOVKA – LENS** je priehľadná a uložená za dúhovkou - **IRIS** . Má úlohu ohýbať svetelné lúče do jedného miesta na sietnici . U ochorení oka spôsobených teplom, UV žiarením, poleptaním, vzniká **ZÁKAL Šošovky - Katarakta**



# Dúhovka



Dúhovka - **IRIS** obsahuje dva svaly- zvieráč a dilatátor, reagujúce na osvit: silné svetlo vedie ku zmenšovaniu **zrenice**- pupily ( mióza), slabé svetlo ku jej rozširovaniu (mydriáza). Tento tzv. **pupilárny reflex** sa využíva v anesteziológii a v neurológii na zisťovanie hĺbky anestézie a stavu bdelosti. Dúhovka obsahuje aj **cievy** a **pigment**, ktorý podmieňuje farbu očí. Veľa pigmentu = tmavohnedé oči, málo pigmentu = modré oči

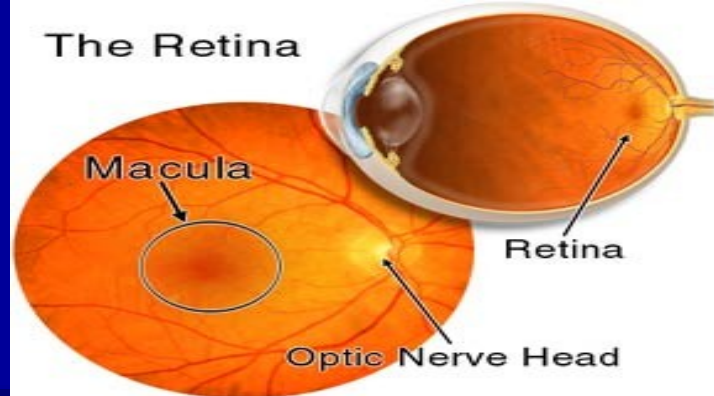
# Sklovec



**Sklovec** - Corpus vitreum - je uložený za šošovkou v zadnom segmente oka. Je tvorený priehľadnou huspeninovou sklovcovou tekutinou - **humor vitreus**, ktorá má viskózne-elastické vlastnosti a podmieňuje okrúhly tvar a elasticitu očnej gule.



# Sietnica

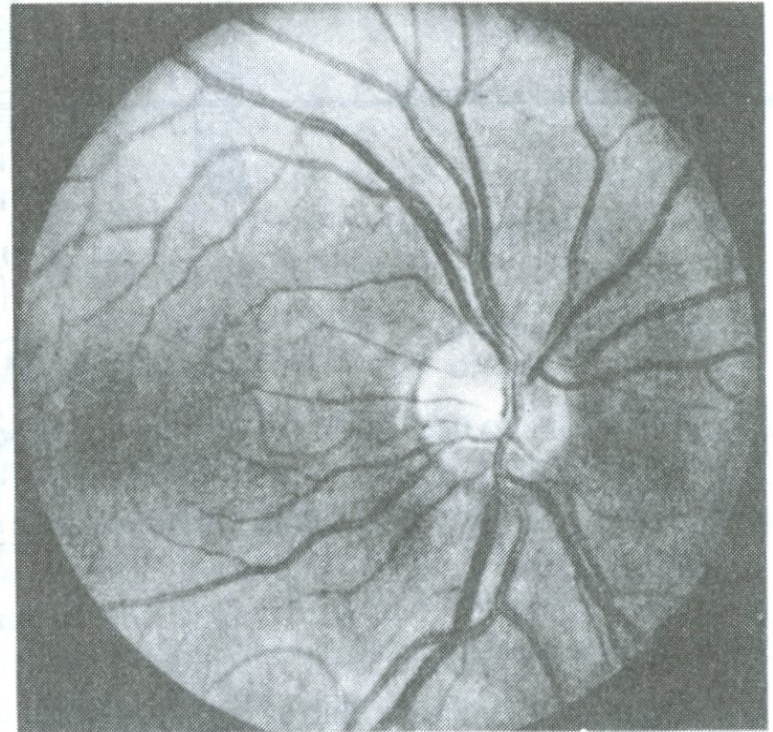
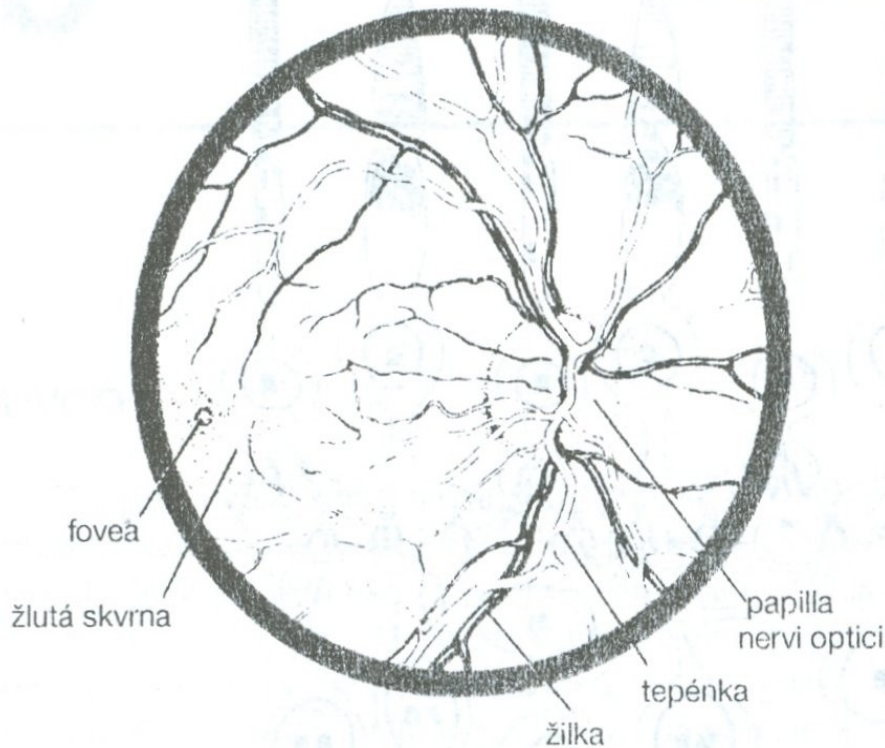


**SIETNICA - RETINA** obsahuje 2 druhy fotoreceptotorov: **TYČINKY** (120 miliónov/1 oko) a **ČAPÍKY** (6 mil. / 1 oko), a po dve vrstvy **BIPO-LARNÝCH** a **GANGLIONARNÝCH** buniek.

**Tyčinky** sú citlivejšie na svetlo než Čapíky.

Tyčinky sú zodpovedné za nočné a čiernobiele videnie (**Skotopické**). Čapíky za videnie farebné a videnie počas dňa (**Fotopické**). **Žltá škrvna - Macula lutea** je miesto najostrejšieho videnia s obsahom len čapíkov. **Slepá škrvna** - Optický disk- tu vychádza z očnej gule optický nerv a vstupujú a vystupujú cievy. Nie sú tu žiadne receptory

# Očné pozadie (zist'ované oftalmoskopicky)



**Obr. 8-3.** Oftalmoskopický pohľad na normálnu ľudskú sítňicu. Na schématu vľavo sú vyznačené orientačné body na fotografii vpravo. (Se svolením reprodukováno z knihy Vaghan D, Asbury T a Tabbara KF: *General Ophthalmology*. 12th ed. Appleton&Lange, 1989.)

**Pri prechode lúčov okom** tieto prechádzajú cez rohovku, prednú a zadnú komoru oka, šošovku, zadný segment oka a smerom ku retine cez vrstvy **ganglionárnych a bipolárnych buniek** a až nakoniec sa dostávajú k **tyčinkám a k čapíkom**.

**Fotopigmenty** uložené v tyčinkách a v čapíkoch podliehajú vplyvom svetla **chemickému rozpadu** pri ktorom sa uvoľňujú **elektróny**. Tieto elektróny sú zodpovedné za vznik **GP (vo vnútri Ganglionárnych buniek)** a **AP (na axónoch opúšťajúcich Ganglionárne bunky)**. Teda GP a AP nevznikajú v tyčinkách a v čapíkoch (tieto sú **hyperpolarizované**)

# Rozpad fotopigmentov

**Tyčinky** obsahujú fotopigment *rodopsin* ( *11 cis - retinal-opsín*), purpurovej farby. Svetlo ho rozkladá na *Opsín* ( *all-trans- retinal opsín*) + *1 elektrón*, a pigment bledne . V noci alebo pri zavretých očiach, sa 11 cis forma pigmentu obnovuje za katalytického účinku Vitamínu A. **VITAMÍN A** je potrebný pre resyntézu rodopsínu. Ak Vit. A chýba v potrave vzniká Šerosleposť' - **HEMERALOPIA**

**Tri druhy Čapíkov** obsahujú fotopigmenty:  
**Erytrolab**( červená farba), **Chlorolab** (zelená)  
**Cyanolab**,(modrá)

# Farebné videnie

( **HELMHOLTZOVA-YAUNGOVA TEÓRIA** ).

**L'udia percipujú 3 základné farby (zelenú, červenú, modrú )** viac ako 800 farebných odtieňov. Je to preto, lebo sietnica obsahuje 3 druhy čapíkov s 3 druhmi fotoreceptorov. Normálne farebné videnie nazývame **TRICHROMÁZIA a ľudí TRICHROMATI.**

Ak chýba jeden z 3 čapíkov, hovoríme o **DICHROMÁZII a Dichromatoch.** Týchto delíme na: **deuteroanopov** (úplná strata citlivosti na zelenú farbu), **protanopov** (strata červenej) , **tritanopov** (strata modrej a žltej), **alebo anomálov** (čiastočná strata citlivosti). Ak chýbajú všetky čapíky hovoríme **MONOCHROMÁZII.**

**Farbosleposť je dedičné ochorenie** - matky ho prenášajú na svojich synov, dcéry sú zdravé. Najčastejšie - až v 8% sa v populácii stretáme s **deuteranopiou.**

**Akomodácia** – je proces zaostrenia oka na blízke predmety. Akomodácia umožňuje zaostriť pohľad zo **Vzdialeného bodu** (nad 6 m od oka) do **Blízkeho bodu** (do vzdialenosti niekoľkých cm), tak aby sme videli predmet ostro. Počas akomodácie, **st'ah m. ciliaris vedie k relaxácii ligament , ktoré držia šošovku. Šošovka sa tak vlastnou elasticitou akoby " pohne do strán", zhrubne a nadobudne okrúhly tvar.** Čím bližšie je predmet pri oku, tým väčšia musí byť akomodácia. Tzv. **refrakčná sila oka** (lomivosť) sa meria v jednotkách : **DIOPTRIA**

$$D = 1 / f \text{ (m)}$$

**Refrakčná sila** celého oka je cca 59 D, z toho na rohovku pripadá 43 D, na šošovku asi 16 D !

# AKOMODÁCIA 1



# AKOMODÁCIA 2





**Refrakčné chyby oka:** Ametropie sférické (MYOPIA, HYPERMETROPIA, PRESBYOPIA).

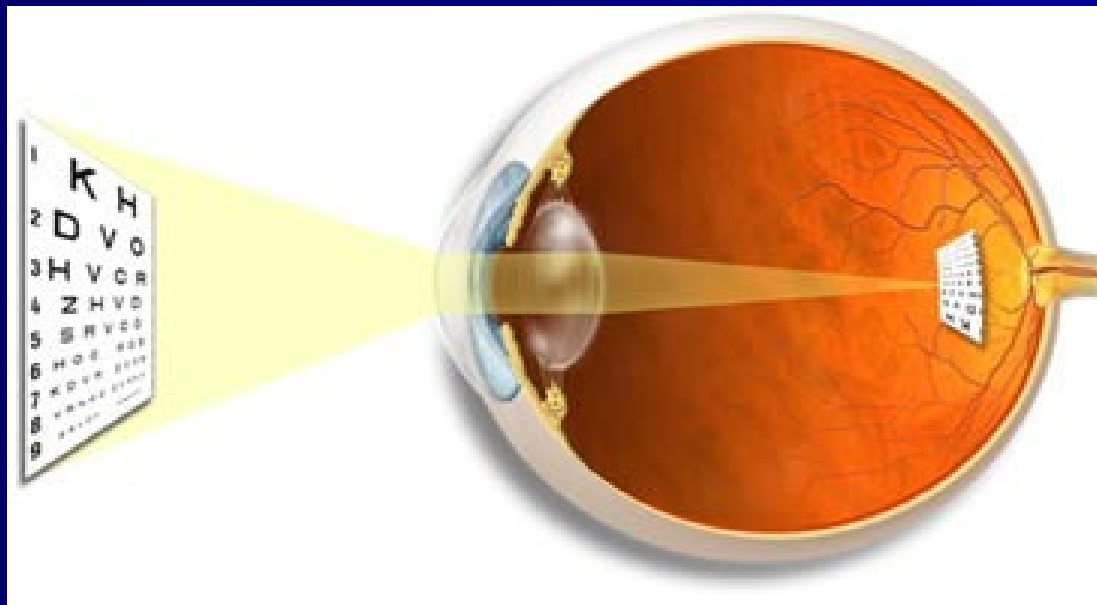
Ametropie asférické (ASTIGMATIZMUS)

**Korekcia** : okuliarmi, kontaktnými šošovkami, laserovou operáciou.

**Normálne oko je EMETROPICKÉ** – s priemerom

$d = 2,5 \text{ cm}$ ). Svetelné lúče sú ohýbané rohovkou a šošovkou a fokusované do žltej škrvny na sietnici.

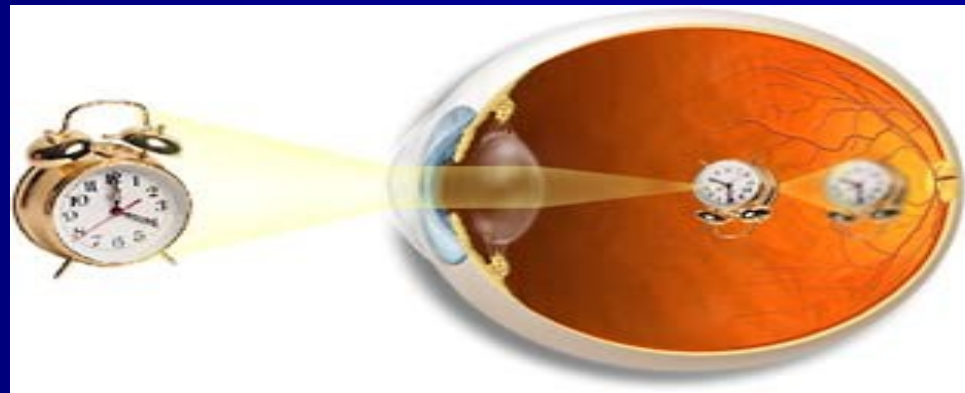
Tam sa vytvára **skutočný, zmenšený a obrátený obraz** predmetu.



# MYOPIA - Krátkozrakost'

Príčiny sú 2: Buď je **priemer oka >2,5 cm**, alebo **lomivosť oka (rohovky a/alebo šošovky) je väčšia**. Preto sa obraz predmetu vytvára **pred sietnicou**.

Obraz je **rozmazaný**, človek ma problém **vidieť ostro vzdialené predmety**. Postihnutí sa snažia korigovať chybu **prižmúrením viečok**. Plná korekcia je možná použitím **šošoviek- rozptyliek**, ktoré usmernia svetelné lúče do žltej škrvny na sietnici, alebo laserovou operáciou, ktorá stenčí rohovku. S pribúdajúcim vekom sa myopia môže upraviť.



# Hypermetropia - d'alekozrakosť

Príčiny 2: buď je  $d < 2.5$  cm, alebo lomivosť rohovky a /šošovky je malá. Preto sa **obraz predmetu vytvára za sietnicou**. Človek má problém vidieť ostro **blízke predmety**. Často sa počas čítania vyskytuje aj únava očí a bolesti hlavy v záhlaví. Korekcia chyby sa robí nasadením **SPOJNÝCH ŠOŠOVIEK**, ktoré usmernia svetelné lúče do žltej škvrny sietnice.



**PRESBYOPIA- Starecké videnie – je druhom d'alekozrakosti - hypermetropie.**

Je tiež známa ako Syndróm“ krátkych rúk“. Podstatou chyby je, že **elasticita Šošovky s vekom postupne klesá**. Preto u ľudí nad 45 rokov, klesá postupne akomodačná sila oka, z dôvodu poklesu elasticity šošovky. Takto sa **Blízky bod** vzd'ahuje viac a viac od oka a dosiahne hodnoty 45 - 100 - 400 cm. (vid' praktiká). Chyba sa koriguje **spojnými šošovkami**.

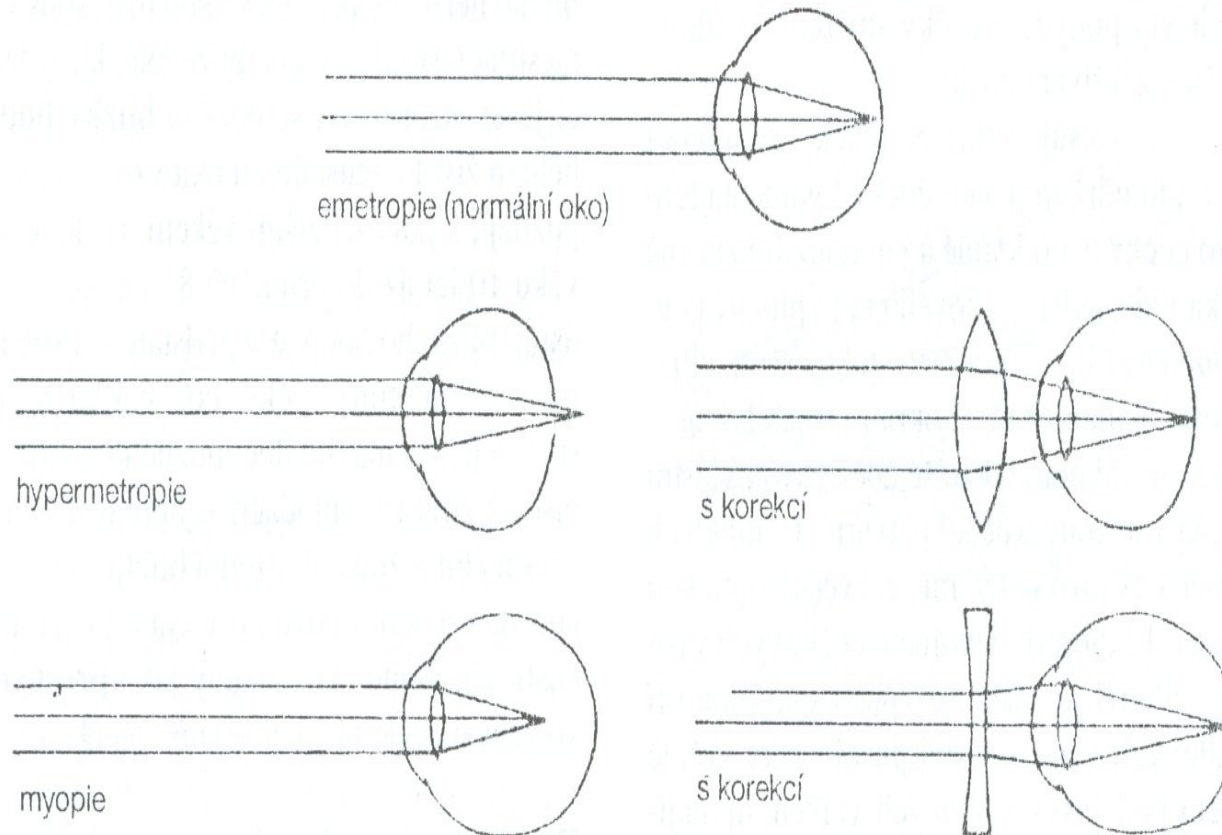
# Astigmatizmus

Patrí medzi **Asférické ametropie**.

Príčinou je **nerovný povrch rohovky**, ktorá nie je dokonale hladká, ale „hrboľatá“. Chyba môže byť kombinovaná **krátkozrakosťou**, kedy človek nevidí ostro do **diaľky**, alebo **d'alekozrakosťou**, kedy nevidí **blízke predmety**.

Chyba sa koriguje **cylindrickými šošovkami**, alebo operačne **excimerovým laserom**, ktorý vyrovná nerovný povrch rohovky.

# Refrakčné sférické chyby oka- schematicky



**Obr. 8-13.** Běžné vady optického systému oka. Při dalekozrakosti (hypermetropii) je bulbus příliš krátký a světelné paprsky se lámou do ohniska za sítnicí. Tuto vadu korigujeme bikonvexní čočkou, která refrakční sílu oční čočky zvýší. Při krátkozrakosti (myopii) je bulbus příliš dlouhý a paprsky se lámou do ohniska před sítnicí. Umístíme-li před oko bikonkávni čočku, paprsky přicházející do oka se mírně rozbíhají, takže se v oku lámou do ohniska na sítnici.



isio n . s w

**Prajem Vám pekný  
a úspešný deň !**

