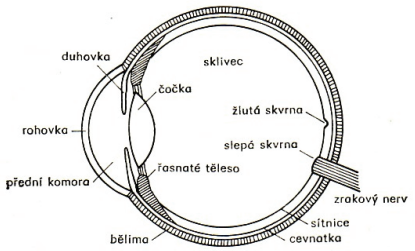
Fotorecepce

I v oku jsou molekulární akceptory energie – pigmenty. Příjem a zpracování informace o vnějším světě označujeme jako vidění. Zprostředkovávají nám ho fotony viditelného světla (elektromagnetické záření o λ = 380-780 nm). Jedná se o fyzikálně-fyziologicko-psychologický proces, zpracovávaný zrakovým analyzátorem – okem, v němž obraz vnějšího světa vzniká optickou a fotochemickou cestou. K tomu abychom tento obraz vnímali, je informace z oka přenášena nervovými buňkami (optickými drahami) do zrakového centra mozku, kde jsou akční potenciály zpracovány.

Oko

Skladba oka je na obrázku. Zjednodušeně si ho můžeme představit jako optickou soustavu se schopností automatického zaostřování- její parametry jsou uvedeny v tabulce (přitom se zanedbávají rozdíly v zakřivenosti přední a zadní plochy rohovky a rozdíl v indexu lomu jádra a okraje čočky).



indexy lomu	*n*	poloměry křivosti	*r* (mm)
rohovka	1,376	rohovka	7,8
komorová voda	1,336	přední plocha čočky	10
čočka	1,413	zadní plocha čočky	-6
sklivec	1,336		

poloha ohnisek	(mm)	optická mohutnost	*D*
předmětové	-15	rohovka	42,7
obrazové	23,9	čočka uvnitř oka	21,7
poloha sítnice	23,9	oko (celek)	60,5

Automatickou fokusaci optického systému oka umožňuje akomodace – schopnost *čočky* měnit svoji optickou mohutnost v závislosti na vzdálenosti pozorovaného objektu. Pro každé oko existují dva fixační body – bod blízký a daleký. Bod daleký je viděn ostře bez akomodace (pro zdravé oko leží v nekonečnu). Bod blízký je viděn ostře s maximální akomodací. Rozdíl převrácených vzdáleností udává akomodační šíři. Blízký bod se s věkem vzdaluje od oka do prostoru.

Oko jako centrovaná soustava má dvě hlavní roviny umístěné 20 mm za přední stěnou rohovky a vzdálené od sebe několik desetin mm – díky tomu lze obě roviny považovat za jednu a oko za jednu spojku o optické mohutnosti cca 60 D (tzv. redukované oko).

V důsledku optických vlastností světlolomných prostředí oka se na sítnici vytvářejí zmenšené a převrácené obrazy. Projekcí převrácených obrazů optickými drahami do zrakového centra si v mozkové kůře uvědomujeme obrazy v jejich správné poloze.

K poruchám optického systému oka patří:

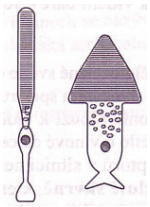
- krátkozrakost (úprava rozptylkou)
- dalekozrakost (úprava spojkou)
- astigmatismus - lámavé plochy nemají souměrný sférický tvar (úprava skly s asférickými plochami cylindrickými nebo torickými)

krátkozrakost, dalekozrakost a astigmatismus

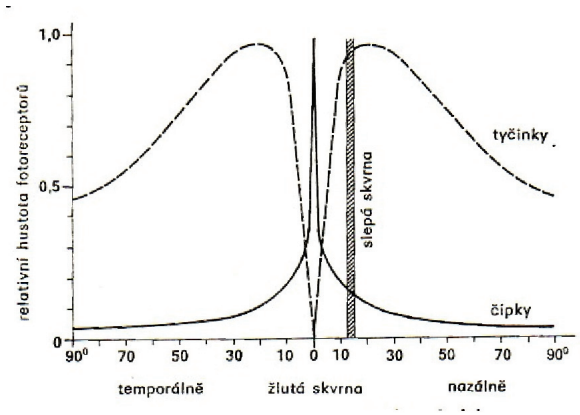
Sítnice – vlastní světločivá vrstva oka je tvořena fotoreceptory - čípky a tyčinkami, v nichž se dopadající světelná energie absorbuje a mění na energii chemickou. Sítnici od zevně ležící cévnatky odděluje pigmentový list. Než světelný paprsek na fotoreceptory dopadne, musí projít vrstvou nervových vláken, gangliových buněk a bipolárních nervových buněk. Jen asi 10 % dopadající intenzity světla je využito k podráždění.

Tyčinky (75-150·10^6) – k vidění za snížené viditelnosti. Obsahují pigment rodopsin, složený z bílkoviny opsinu a z retinalu (aldehyd vitaminu A). Působením světla se rozkládá a přitom mění svou barvu z purpurové na žlutou. Při silném osvětlení se retinal mění v bílý retinol (schéma přeměn shrnuje Waldův cyklus). Regenerace rodopsinu může probíhat různě rychle,

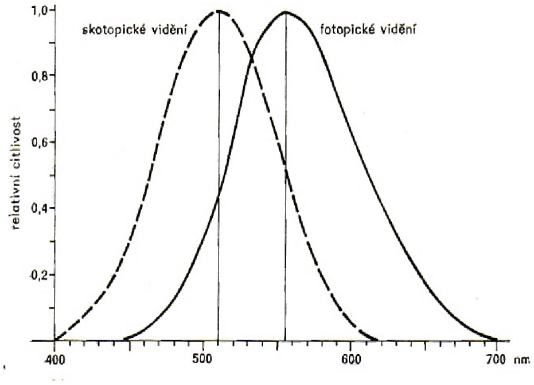
čímž lze vysvětlit rozdíl v adaptaci oka na tmu po předchozím osvětlení.Rozlišujeme tzv. *skotopické (noční)vidění,* které zajišťují pouze tyčinky. Při snížené intenzitě osvětlení fungují čípky i tyčinky a mluvíme o mezopickém vidění. Citlivost je maximální pro modrozelené světlo λ = 510 nm.



Čípky ($7 \cdot 10^6$) – mnohem silnější než tyčinky, slouží k vidění za denního světla a k rozlišení detailů a vidění barev. Rozeznávají i intenzitu světla a sytost barev. Jsou maximálně citlivé pro žlutozelené světlo λ = 556 nm ~ max. intenzitě ve slunečním spektru na zemském povrchu. Adaptace oka na světlo rychlá – maximum za 20 – 60 s. Jedná se o *fotopické (denní)vidění*. Citlivost je maximální pro žlutozelenou barvu.

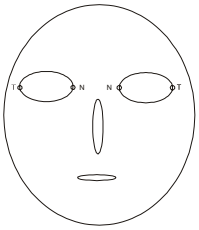


Distribuce tyčinek a čípků na sítnici není rovnoměrná



Spektrální citlivost při skotopickém a fotopickém vidění

Místem nejostřejšího vidění je *žlutá skvrna* — obsahuje prakticky jen čípky a pigmentový list. Nervová vlákna vedoucí podráždění z fotoreceptorů se sbíhají nazálně od žluté skvrny a tvoří papilu zrakového nervu. Tato oblast – *slepá skvrna* - neobsahuje světločivé elementy.



Nazální a temporální oblasti

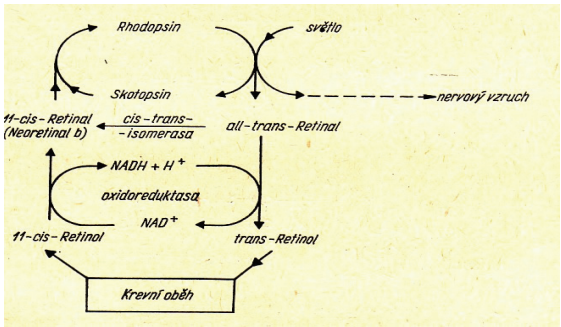
Světelný vjem vzniká při energii 4.10^{-17} J pro λ = 510 nm, což odpovídá 100 hν.

Primární pohlcení kvanta energie pigmenty

- v tyčinkách červený rodopsin, porfyropsin
- v čípcích fialový jodopsin

Barviva se účinkem světla rozkládají (podléhají fotochemickým změnám) na složky a ty dráždí nervová zakončení vláken zrakového nervu. Jedná se o karotenoidní proteiny, kde bílkovinnou složku tvoří různé opsiny:

- v tyčinkách skotopsin
- v čípcích fotopsin



Průběh fotorecepce znázorňuje Waldův cyklus

Při nedostatku vitaminu A klesá obsah pigmentů v sítnici oka a její citlivost se snižuje – šeroslepost. Denní potřeba vitaminu A je 5000 m.j ~ 1,7 mg retinolacetátu

Oko může v oblasti viditelného spektra rozlišit a 200 odstínů. Mechanismus vnímání barev využívá tzv. trichromatické teorie. Mezinárodní trichromatický systém CIE - podstatou je možnost napodobit kteroukoli barvu směsí tří základních barev – červené, zelené a modré –

v různém poměru. Základem je trojúhelník, v němž je poloha jakékoliv barvy určena souřadnicemi x, y, z.

Na mechanismu vnímání barev se podíleli i významní vědci. Jako základní barvy navrhoval Helmholtz červenou, zelenou, fialovou, Young a Lomonosov: červenou, žlutou, modrou.

Teorie předpokládá existenci tří druhů čípků s různou spektrální citlivostí, přičemž podráždění jen jednoho druhu vede ke vjemu příslušné základní barvy. Podráždění tří druhů vede ke vjemu bílé barvy.

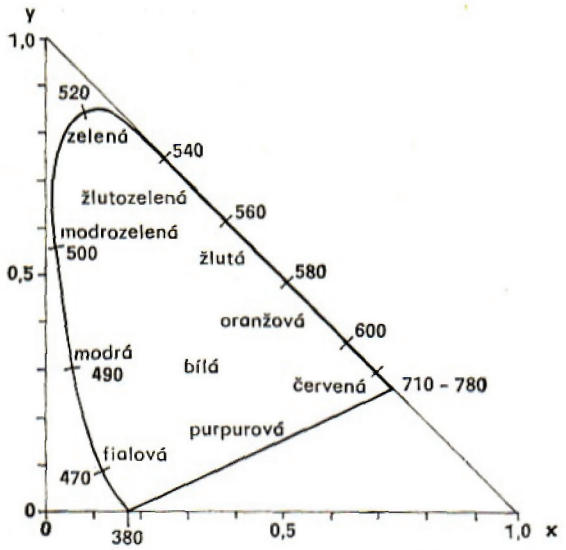
Přitom závisí na osvětlení sítnice:
– příliš silné osvětlení – přestáváme vnímat barvy

– podprahové osvětlení –vnímání barev mizí zcela.

Podle toho jak každý jedinec vnímá barvy, řadíme je do kategorie:

trichromati – plný barvocit

dichromati – chybí mechanismus pro vnímání jedné základní barvy



Trichromatický trojúhelník CIE

monochromati – vnímají svět jen v odstínech šedi (barvoslepost jen u 8 % mužů, 0,4 % žen)

K vyšetření barvocitu se používají pseudoizochromatické tabulky (kolečka stejné světlosti různých barev).

Bioelektrická aktivita sítnice

Mezi rohovkou (kladnou) a zadním pólem oka (záporným) je potenciální rozdíl několik mV. To je *klidový potenciál* oka, při němž je polarizována celá sítnice. Při osvětlení sítnice se tento potenciál mění – vzniklý *činnostní potenciál* je výsledkem bioelektrické aktivity sítnice a vzniká pouze na osvětlených částech sítnice.

Dráždění čípků dává vznik negativním potenciálům, dráždění tyčinek naopak potenciálům pozitivním.

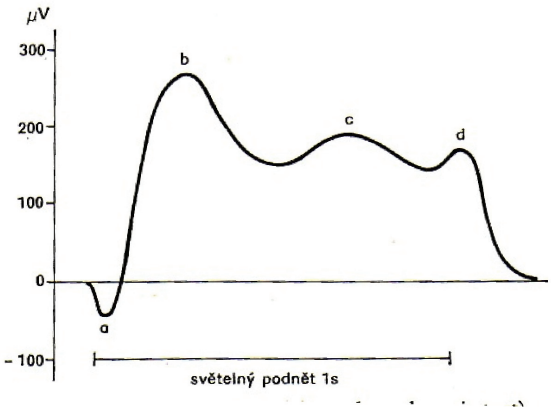
Výsledná změna potenciálu po sumaci elementů nebo jejich skupin je časová a označuje se jako elektroretinogram (ERG). Jedná se o vícefázovou křivku, jak ukazuje záznam.

a- krátce po osvětlení

b- největší vlna

c- mírný pokles

d- po skončení osvětlení



Elektroretinogram

Lidské oko vnímá elektromagnetické vlnění a to jak z přirozených tak umělých zdrojů (zářivky, výbojky, žárovky, lasery). Zdroje mohou být koherentní (fotony kmitají se stejnou fází) nebo nekoherentní. Světelný zdroj je charakterizován určitou intenzitou světla, schopnou vyvolat zrakový vjem. Označujeme ji jako svítivost.

Svítivost (I) - cd

Kandela je svítivost zdroje, který vysílá monochromatické záření frekvence 540 . 10^{12} Hz a jehož zářivost v daném směru činí 1/683 W/steradián.

Světelný tok (Φ) – lm

$$\Phi = \mathrm{d}I.\ \mathrm{d}\omega$$

Lumen je světelný tok vyzařovaný bodovým zdrojem o svítivosti 1 cd do prostorového úhlu 1 steradiánu.

Osvětlení (E) – lx

Lux představuje osvětlení 1 m^2 plochy na niž dopadá světelný tok 1 lm.

Jas (L) – $cd.m^{-2}$

$$L = \frac{\mathrm{d}I}{\mathrm{d}S.\cos\alpha}$$

Jas je podíl svítivosti elementární plochy zdroje ve zvoleném směru α a kolmého průmětu této plochy.

Kontrast jasu (K)

$$K = \frac{\Delta L}{L_1}\left(L_2 - L_1\right)$$

Je dán nestejnorodostí jasu dvou částí zorného pole viděných současně nebo dvou nestejně silných podnětů působících na zrak postupně. Je vyjádřen jako podíl rozdílu podnětů vztažených na slabší z nich.

Expozice (H) – **lx.s**

$$H = E_{\text{stř.}}.t$$

Expozice je závislá na střední době osvětlení a době působení.

Tento dokument je k dispozici na http://www.vscht.cz/ufmt/cs/index.html v sekci Elektronické pomůcky