

Světlo Oko Mozek



Vincent van Gogh: Hvězdná noc



Elementární znalosti optiky, fyziologie a neurověd

OPTIKA: jak světlo vzniká, šíří se prostředím, jak interaguje s povrchy objektů, jak vstupuje do oka, jak vytváří obraz na sítnici

FYZIOLOGIE: reakce fotoreceptorů na dopad světla, změna fyzikálního podnětu na akční potenciály, přenos vzruchu do mozku

NEUROVĚDY: aktivita mozkových „center“ při zpracování podnětu, transformace přenášené informace

Světlo

Jedna z forem energie =
elektromagnetické záření

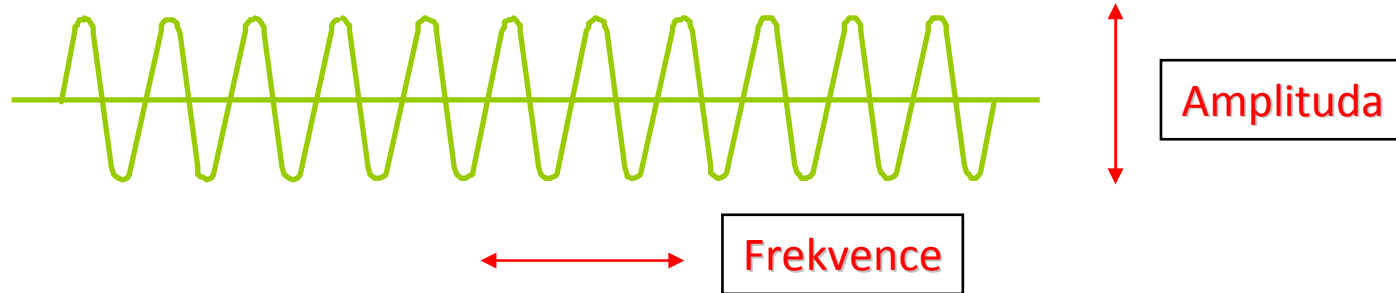
Proč preferujeme právě tuto formu?

- (a) Rychlost – vnímání vzdálených objektů v reálném čase
- (b) Přímý směr – zachování geometrických vlastností



Světlo

Světlo je definované (i) **vlnovou délkou** a (ii) **intenzitou**



Frekvence



Vlnová délka

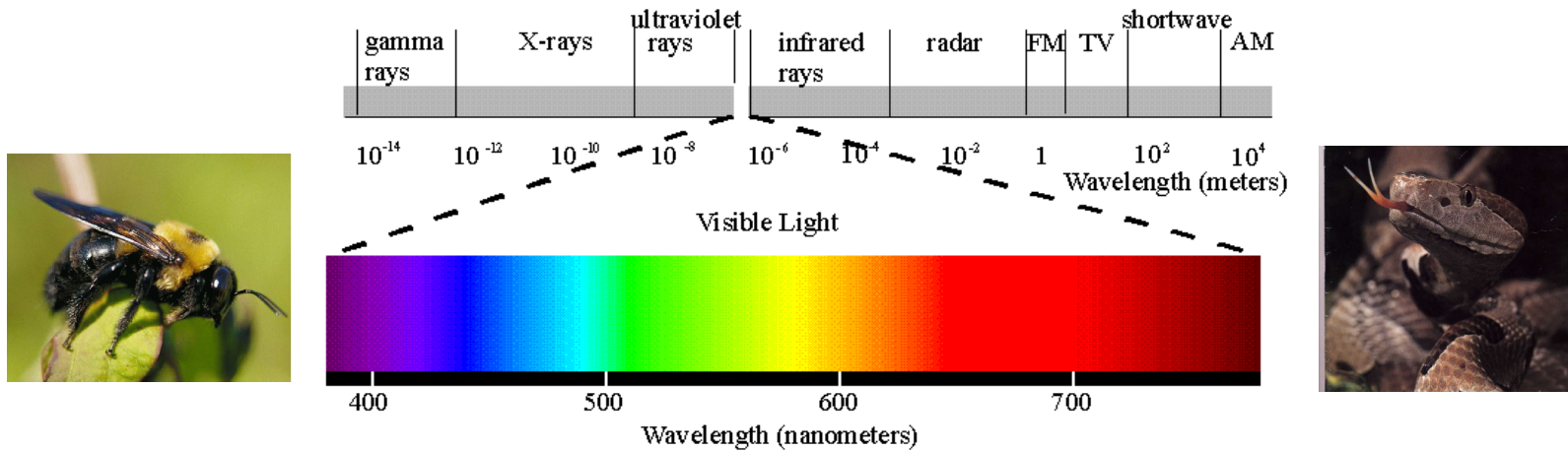
Amplituda



Intenzita

Frekvence

Elektromagnetické spektrum



Frekvenční rozsah od gama záření (10^{-13} m) po rádiové vlny (10^6 m)

Lidské oko detekuje pouze malý výsek od 370 do 730 nm

Frekvence

Informační výhoda „našeho“ rozsahu citlivosti fotoreceptorů:

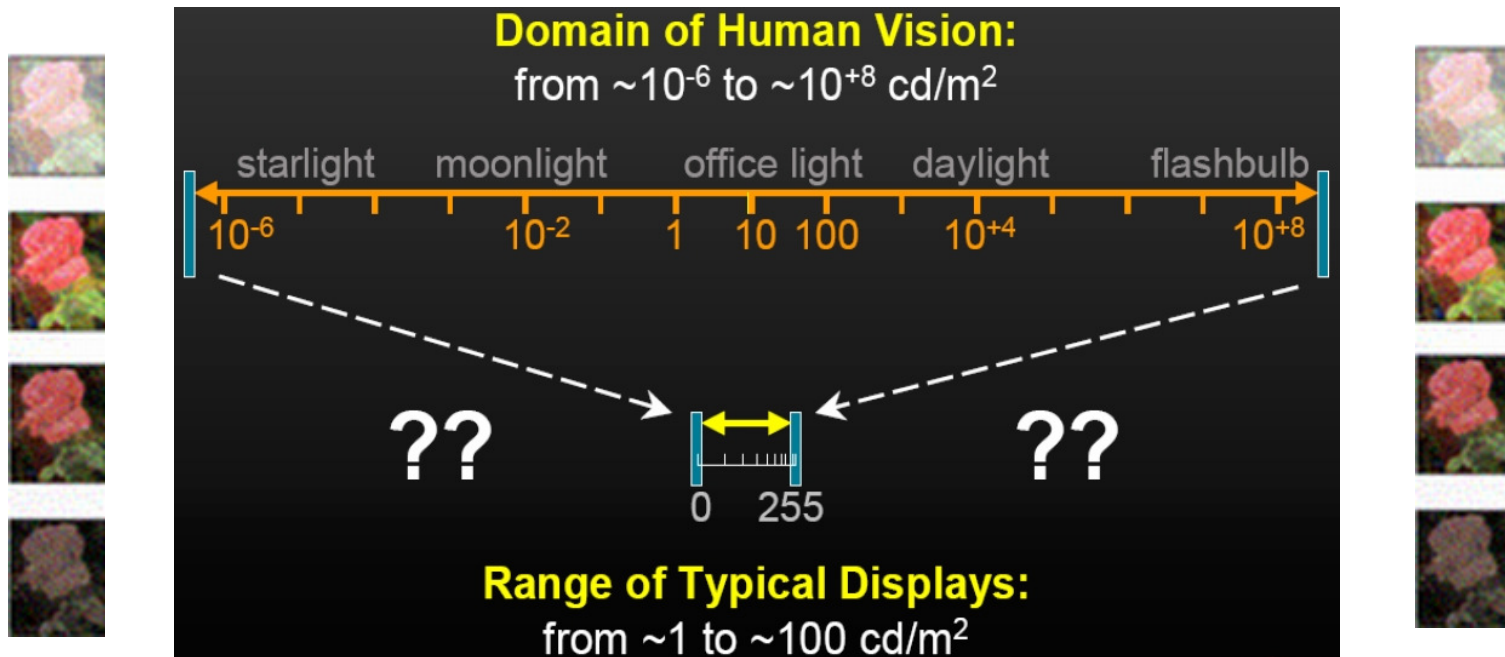
(a) Dosažitelnost – prochází atmosférou

(b) Interakce s povrchem objektů – Částečná absorpce a odraz

Rozdíly ve vlnových délkách světla odpovídají při vnímání rozdílům v barvě (barevném tónu)



Amplituda



10^{14} x nižší intenzita za svitu
hvězd než v poledne

Rozdíl v citlivosti oka ve dne
a v noci

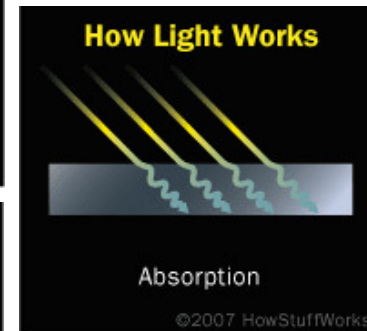
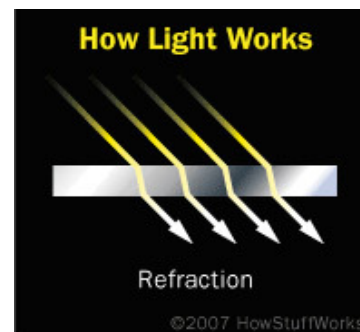
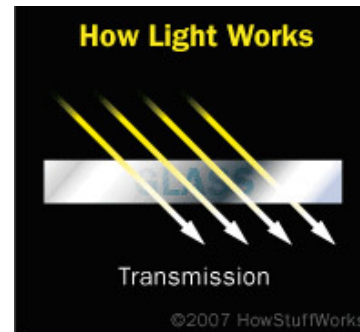
Formy interakce světla s povrchem

Světlo se šíří od zdroje po přímce ... při průchodu atmosférou je část fotonů absorbována a část rozptýlena ... při dopadu na povrch předmětu je část pohlčena a část odražena ... při docestování do oční koule světlo prochází a láme se



Interakce světla s povrchem

Světlo při
dopadu na
povrch
předmětu...



Průchod a lom světla

Světlo prochází objektem a pokračuje v šíření

V závislosti na indexu lomu se pohyb světla zpomaluje a mění směr pohybu

INDEX LOMU V RŮZNÉM SVĚTLIVODIVÉM PROSTŘEDÍ

Vzduch: 1,000

Sklo: 1,520

Voda: 1,333

Rohovka: 1,376



Odraz a rozptyl světla

Odraz světla od povrchu zpět do prostředí

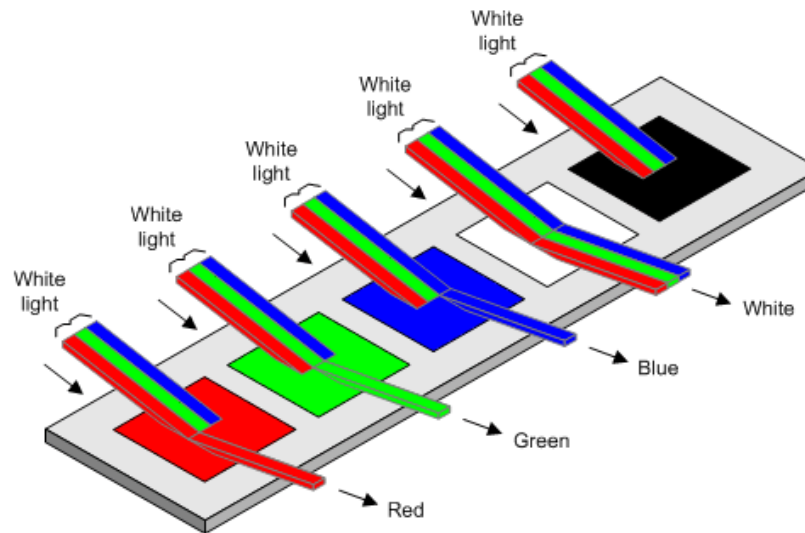
Hladký povrch (sklo, kov):
úhel dopadu = úhlu odrazu.

Nepravidelný povrch (papír, list):
odraz současně různými směry



Absorpce světla

Objekt (dřevo, pigment) pohlcuje velkou část energie světla a převádí na tepelnou energii (pigment fotoreceptorů pak na elektrický signál)

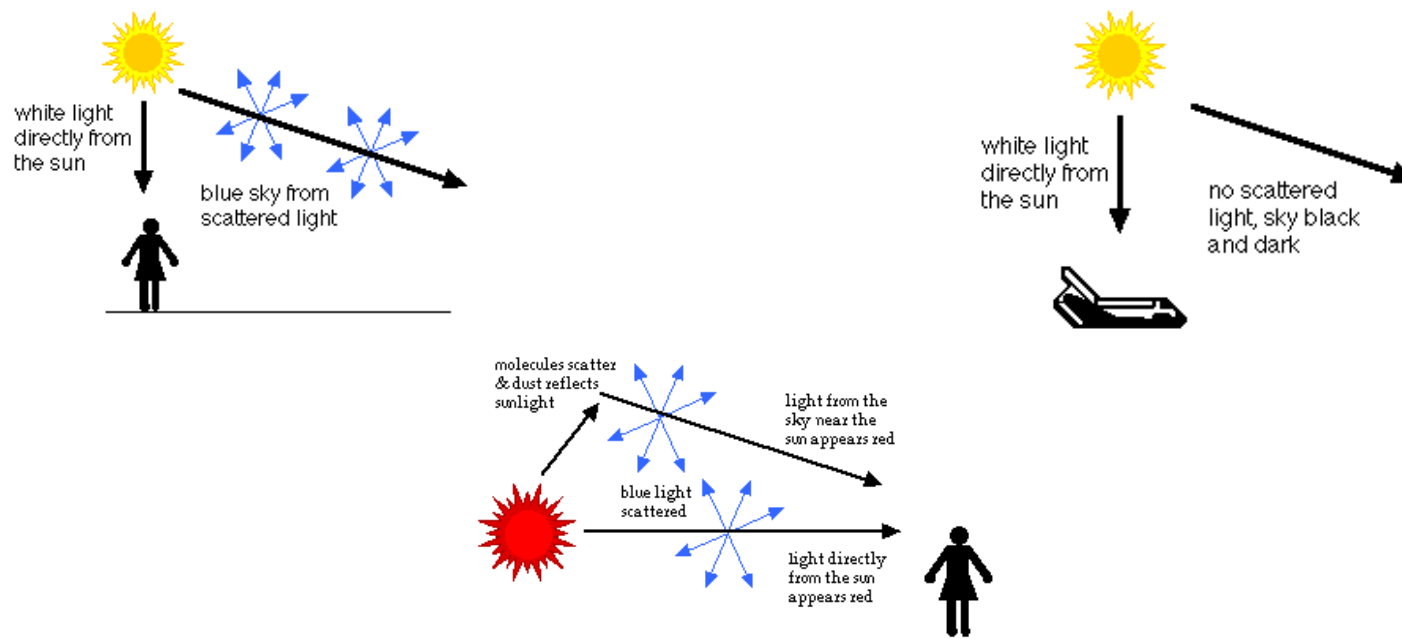


Světelné jevy v atmosféře

- ...jsou způsobené rozptylem světla v atmosféře (molekuly kyslíku, dusíku a jiné nepravidelnosti)
- Při uniformní struktuře bychom neviděli bílé mraky, modrou oblohu, rudý západ Slunce
- Při rozptylem na molekulách menších než je vlnová délka světla se účinnost rozptylem mění (modrá obloha, namodralý opar). Naopak na větších (př. kapky vody, krystalky ledu) je stejná (bílá oblaka, mlha, smog)

Proč je obloha modrá?

Průchod světla atmosférou ... rozptyl na povrchu molekul kyslíku a dusíku ... v závislosti na vlnové délce ... ve všech směrech ... modrá, ne fialová ... Slunce a obloha mimo atmosféru ... západ Slunce



Proč je obloha modrá?

Rozptyl slunečního světla závisí na jeho vlnové délce, v denním rozptýleném světle převažují kratší vlnové délky. Proto je barva bezoblačné oblohy většinou blankytně modrá. Pomocí modři oblohy můžeme také popisovat stupeň zakalení atmosféry - nejméně zakalená atmosféra je při tmavě modré obloze. Jsou-li v ovzduší rozptýleny vodní částice či jiné příměsi, přechází barva rozptýleného světla v bílou.

V období západu a východu slunce prochází sluneční záření v atmosféře delší trasu, než v poledních hodinách, kdy směřuje kolmo k zemi, proto se rozptýlené záření jeví jinak. Velikost rozptylu se zmenšuje s rostoucí vlnovou délkou procházejícího záření. To v praxi znamená, že modrá a fialová část slunečního spektra se v atmosféře rozptyluje více než oranžová a červená. V období západu a východu slunce prochází červená část slunečního spektra atmosférou s menším zeslabením než ostatní části spektra, a proto ve slunečním záření převažuje a oblaky nasvícené tímto světlem jsou červené. Proto se nám také občas slunce u obzoru jeví jako rudé, zatímco přímo nad našimi hlavami je jasně žluté až bílé.

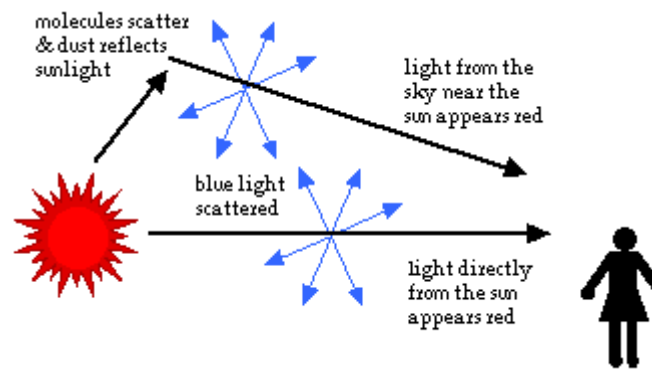
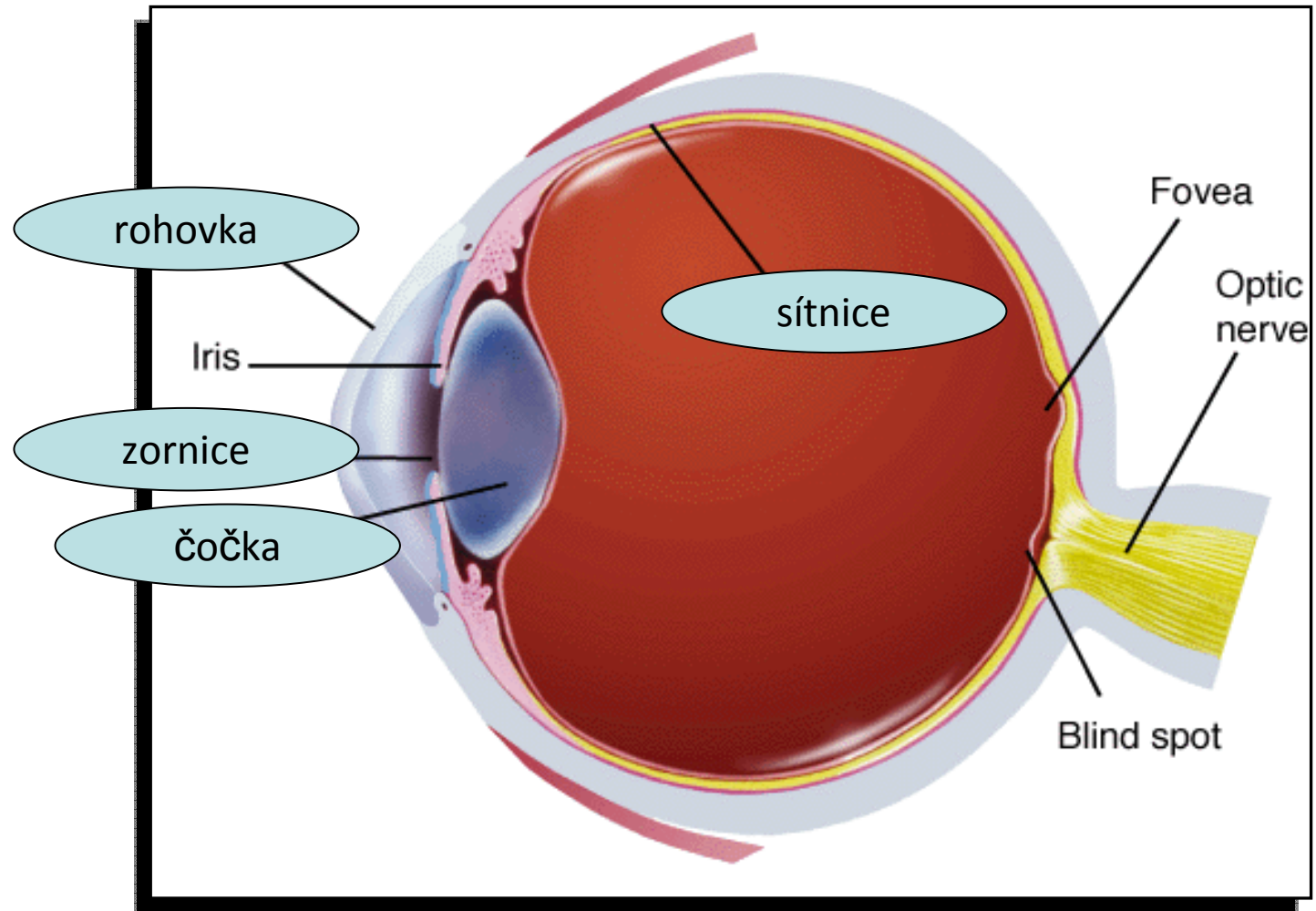
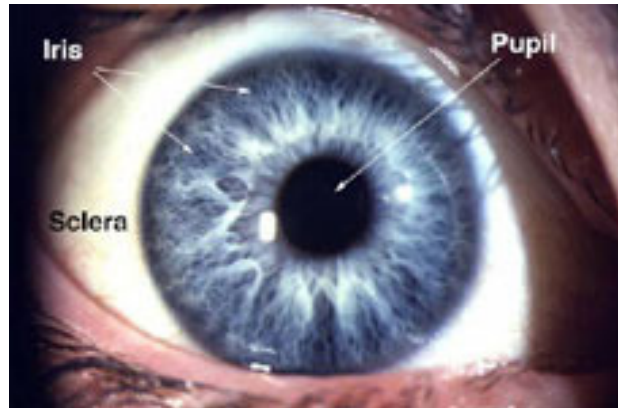


Diagram lidského oka





Zornice

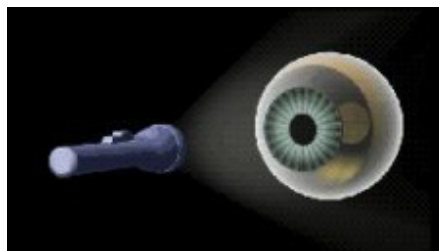
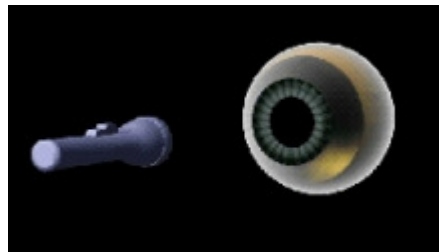


* otvor v duhovce

* zúžení/rozšíření jako reflexivní odpověď na různou intenzitu světla

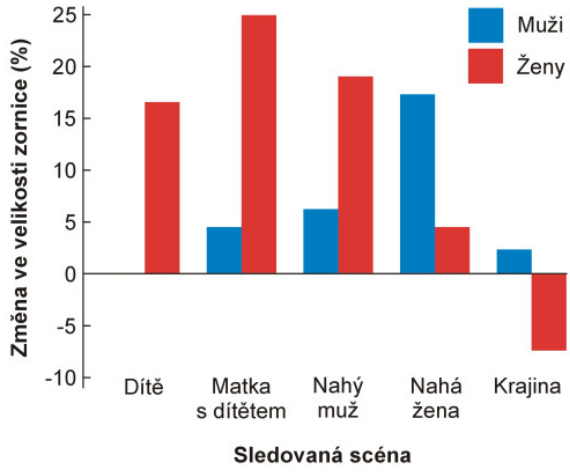
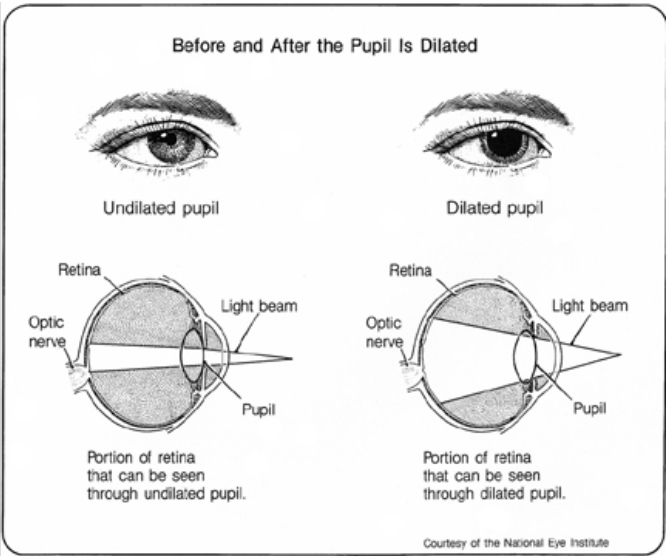
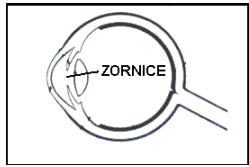
* FCE: (i) citlivost - regulace množství vstupujícího světla; (ii) rozlišení - zapojení opticky superiorních komponent

* další příčiny změny velikosti zornice (prožitek, ale i vjem)





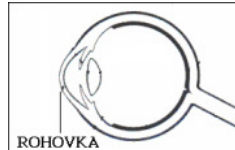
Zornice



Hess & Polt (1964)



Rohovka



* transparentní, bez cév a nervových zakončení

* ochrana před UV

* zajišťuje 80% ohybu světla – největší rozdíl v indexu lomu

* nemožnost akomodace (úpravy lomivosti)



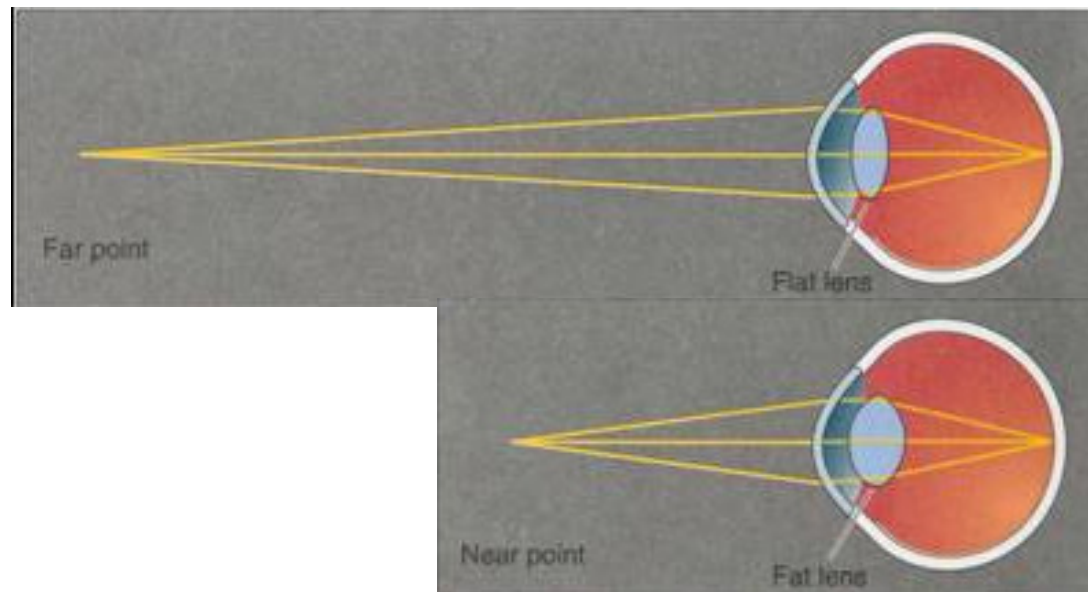


Čočka



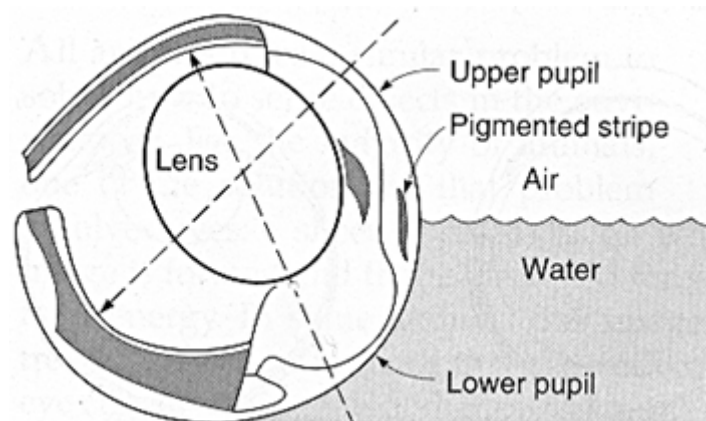
usměrnění všech paprsků z
jednoho místa v prostředí
zpět na jediné místo na sítnici
– ostrý obraz

změna tvaru čočky (lomivosti)
podle vzdálenosti =
akomodace



Čočka – evoluční zvláštnost

Jedna čočka pro různá prostředí s různým indexem odrazu a lomu

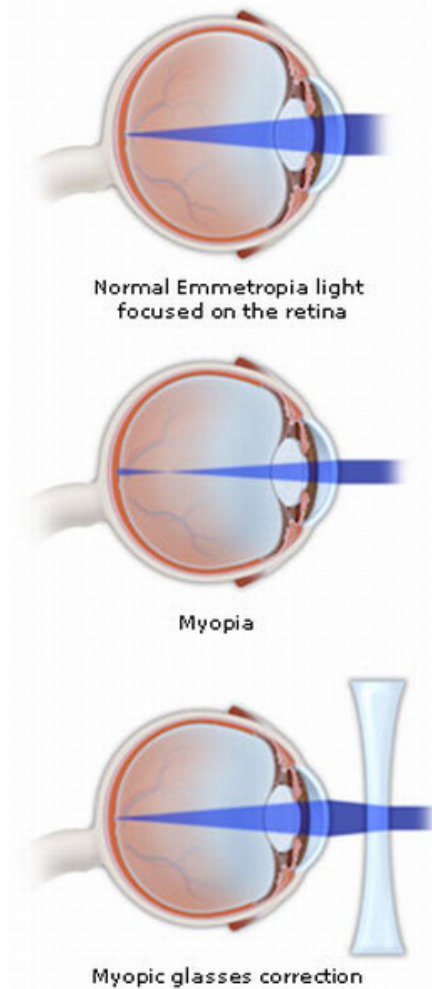


Refrakční vady

- Shoda refrakční síly všech 4 lomných komponent s předozadní délkou oční koule = emetropie
- Nesprávný poměr = ametropie → zhoršené vidění



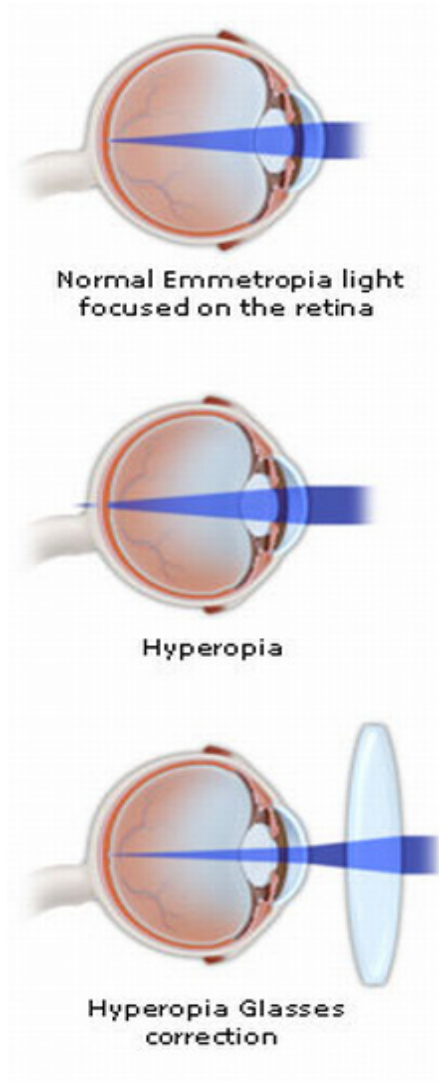
Krátkozrakost



- * obraz vzdálených předmětů zaostřen před sítnicí
- * délka oční koule / lomivost
- * korekce minusovými čočkami (divergence)



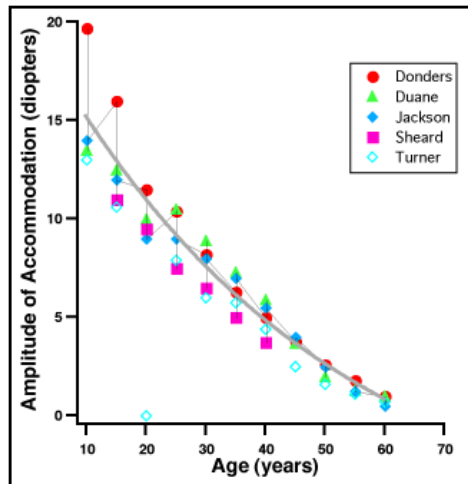
Dalekozrakost



- * obraz blízkých předmětů zaostřen za sítnicí
- * délka oční koule / refrakce
- * korekce plusovými čočkami (konvergence)
- * děti



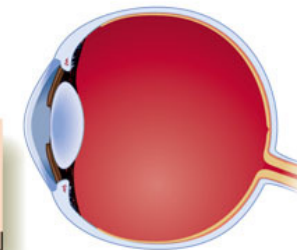
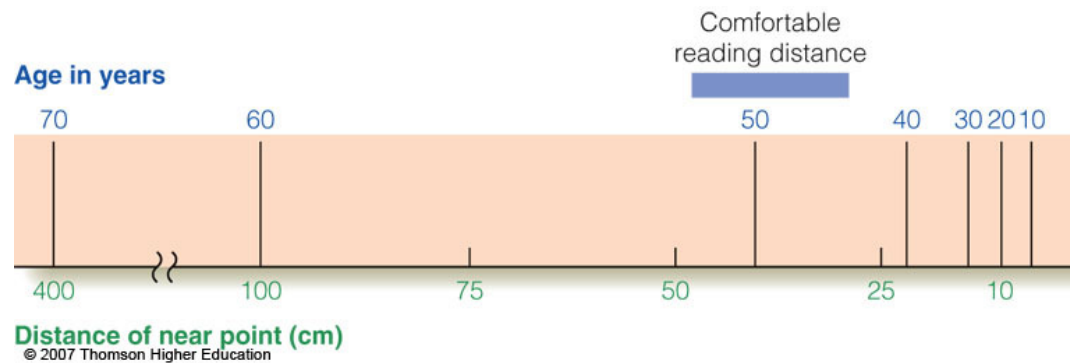
Vetchozrakost



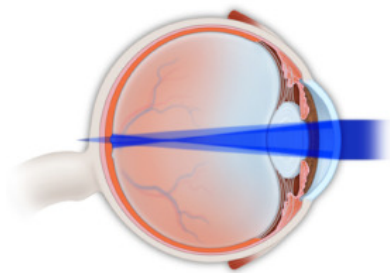
* akomodační šíře čočky se mění s věkem

* blízký bod (maximální vzrůst lomivosti)

* horší elasticnost už od 16. roku



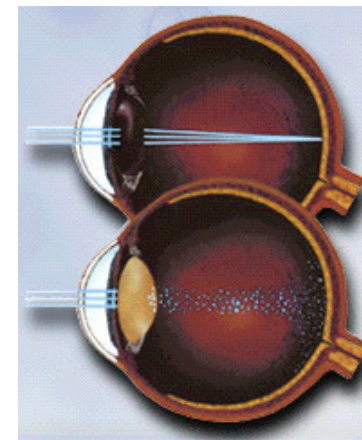
Astigmatismus



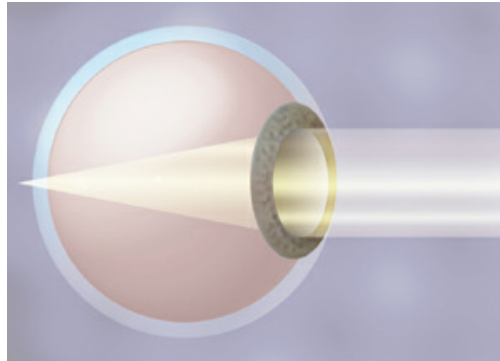
- * nepravidelnost ve sférickém zakřivení rohovky
- * lom není rovnoměrný – vertikální vs. horizontální linie
- * korekce cylindrickými čočkami

Šedý zákal

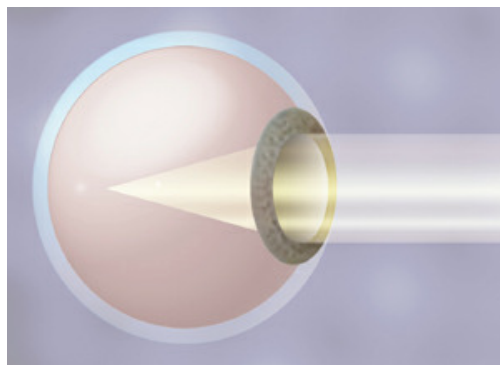
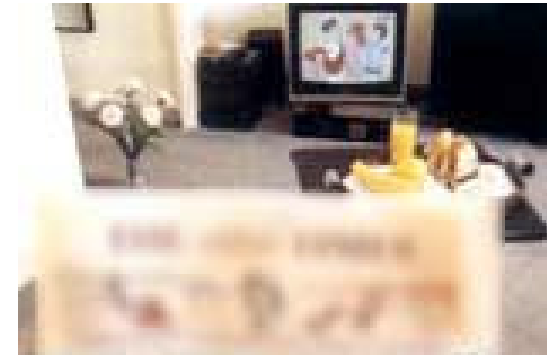
- * zakalení čočky
- * horší prostupnost, ztráta informace
- * věkově podmíněné
- * operativní léčba



Refrakční vady



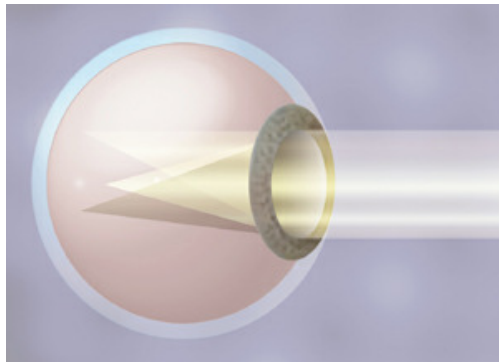
dalekozrakost



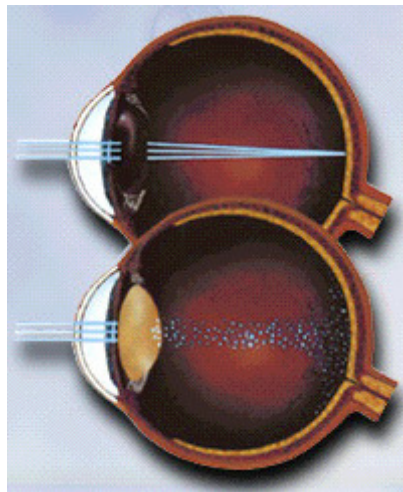
krátkozrakost



Refrakční vady



astigmatismus



šedý zákal



Typologie očních vad



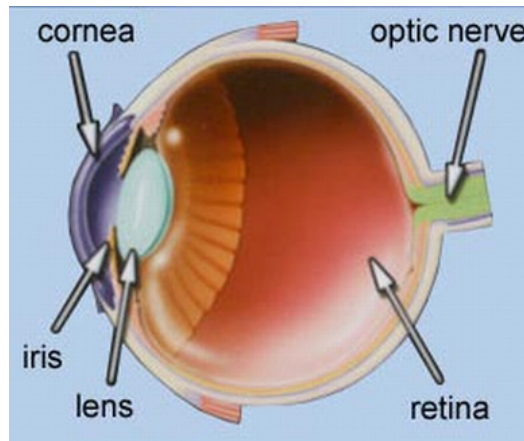
astigmatismus

krátkozrakost

dalekozrakost

vetchozrakost

katarakta



glaukom

barvoslepost

retinitis pigmentosa

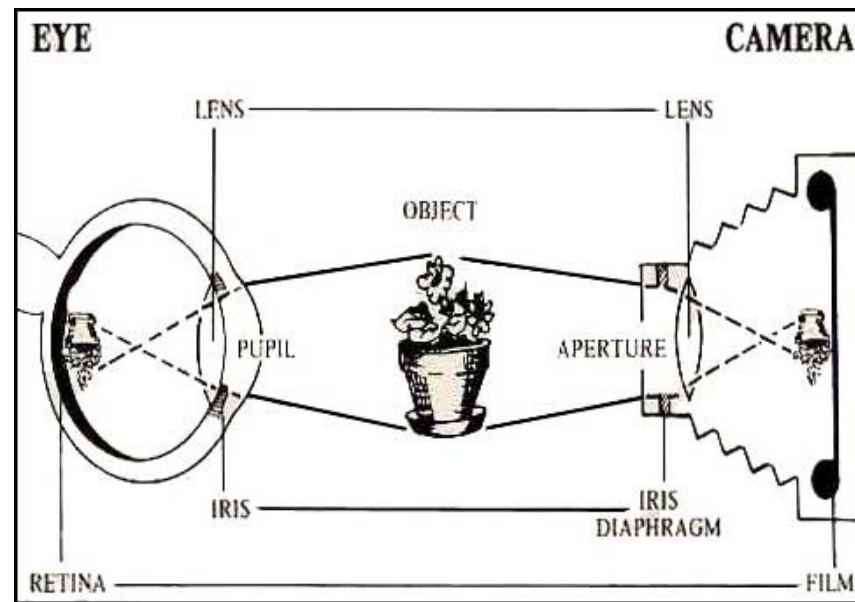
makulární degenerace



Analogie oko - kamera

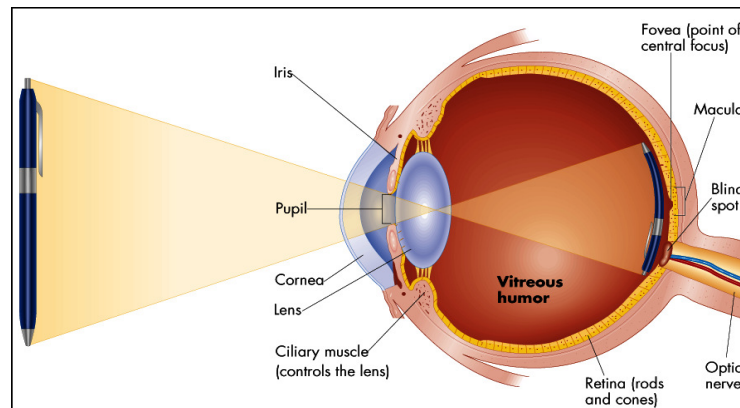
Analogie: regulace množství vstupujícího světla,
soustředění paprsků na světločivou vrstvu

Rozdíl: rozsáhlé následující zpracování

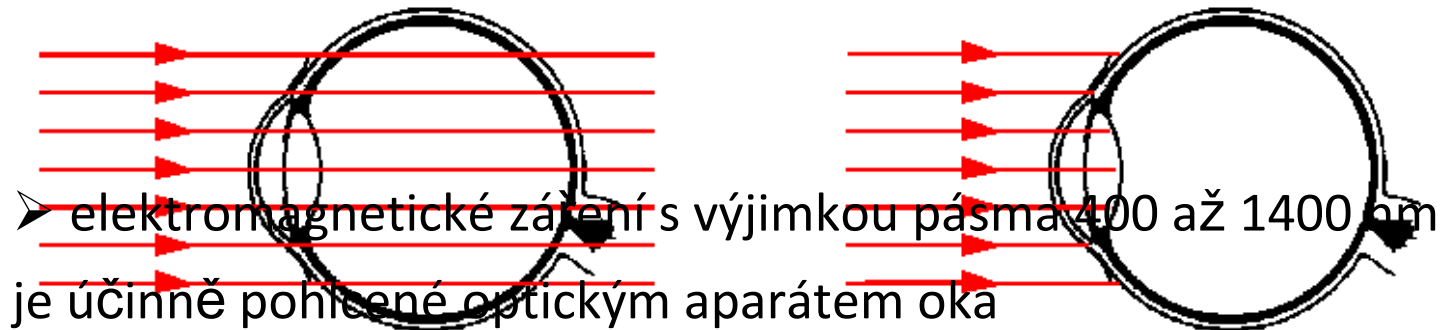


Sítnice

- počátek vidění
- (i) zachycení světla,
(ii) přeměna elektromagnetického záření na nervový impuls
(iii) kódování informace pro přenos do mozku (=prvotní zpracování)



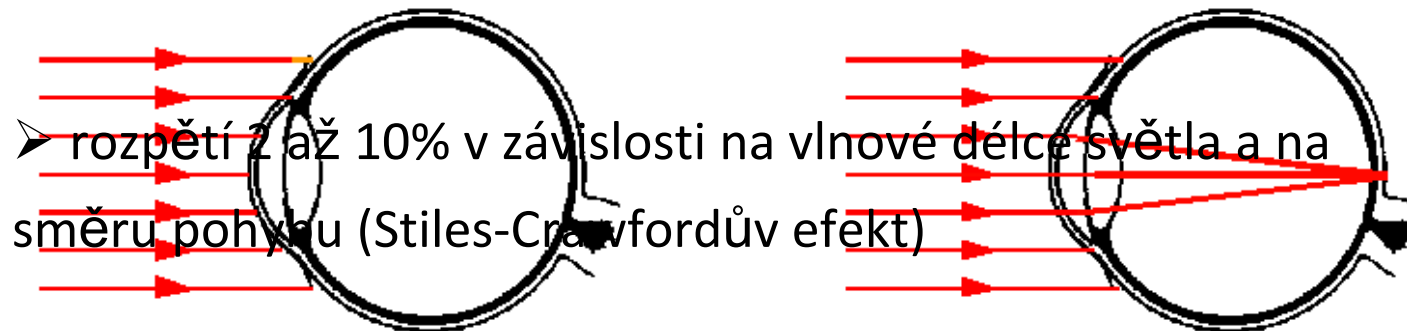
Absorpce světla



Microwaves and Gamma Rays

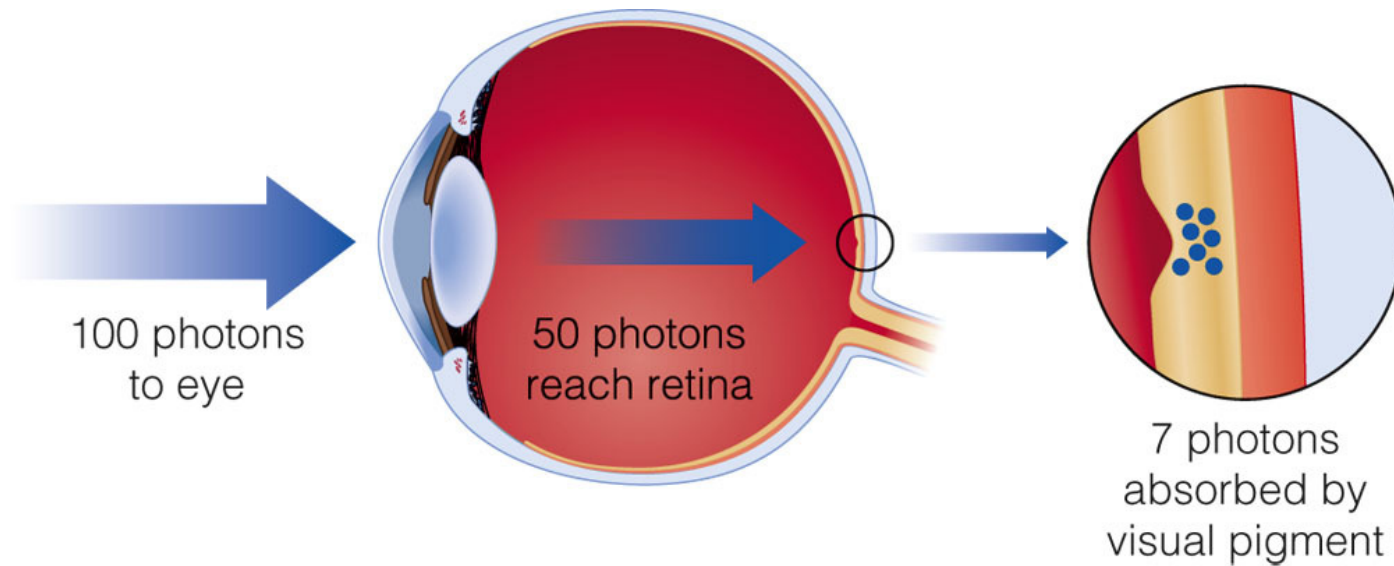
Near Ultraviolet

➤ ze světla dopadajícího na přední stranu oka je pouze 7% fotonů absorbovaných pigmentem ve fotoreceptorech



Far Ultraviolet and Far Infrared **Visible and Near Infrared**

Úbytek potenciální informace

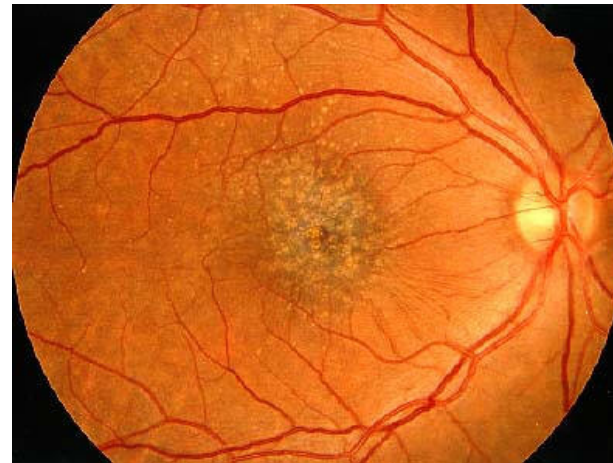


Pigmentový epitel

- * Pohlcení nezachycených fotoreceptorů
- * Noční lovci (kočka, sova): reflexní vrstva tapetum lucidum = zpětný rozptyl světla přes fotoreceptory – výhoda: větší množství zachycených fotonů => zvýšená citlivost, nevýhoda: informace o jednom bodě je zachycená dvěma fotoreceptory => snížená ostrost

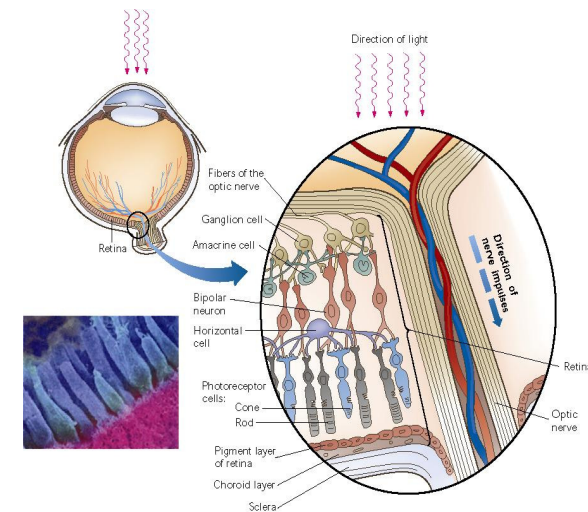
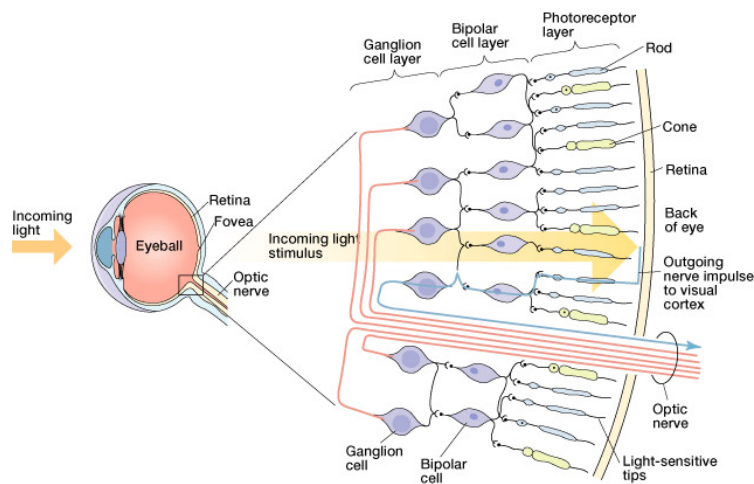


Pohled na oční pozadí



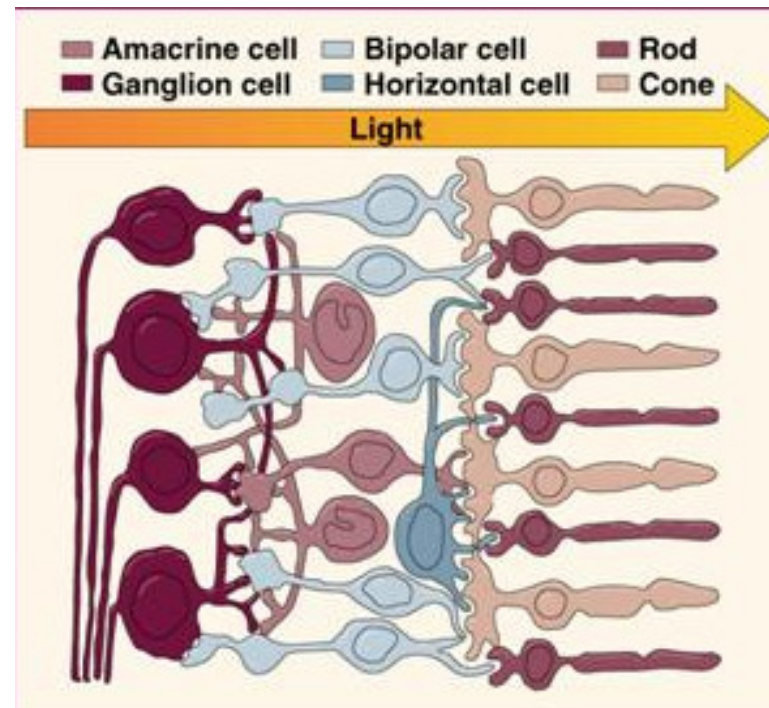
Sítnice

- * několikvrstvá blána
- * tloušťka 0,2 – 0,4 mm
- * proč fotoreceptory až jako poslední vrstva



Vrstvy sítnice

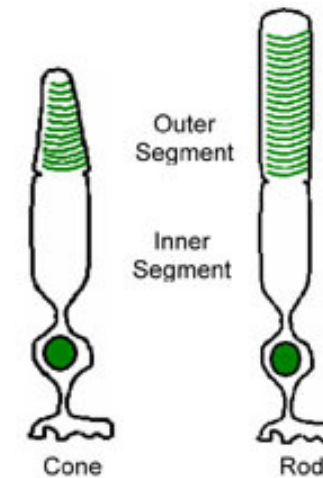
- o Fotoreceptory
- o Horizontální
- o Bipolární
- o Amakrinní
- o Gangliové



Struktura fotoreceptoru

3 segmenty

- ✓ vnější
sousedí s pigmentovým epitelem a je světločivý (obsahuje zrakový purpur)
- ✓ vnitřní
buněčné jádro a nervová vlákna
- ✓ výstupní
synapse



Fotoreceptory

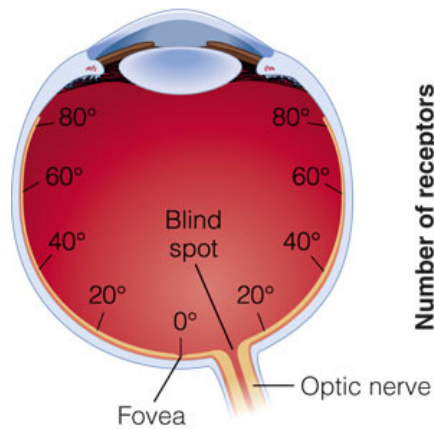
Tyčinky

- Počet**
75-150 miliónů
- Aktivace při nižším osvětlení**
<0.01cd/m²
- Skotopické vidění**
rozlišení světlejšího a tmavšího, resp. odstínů šedi
- Adaptace na tmu**
30 minut
- Spektrální senzitivita**
peak 507nm

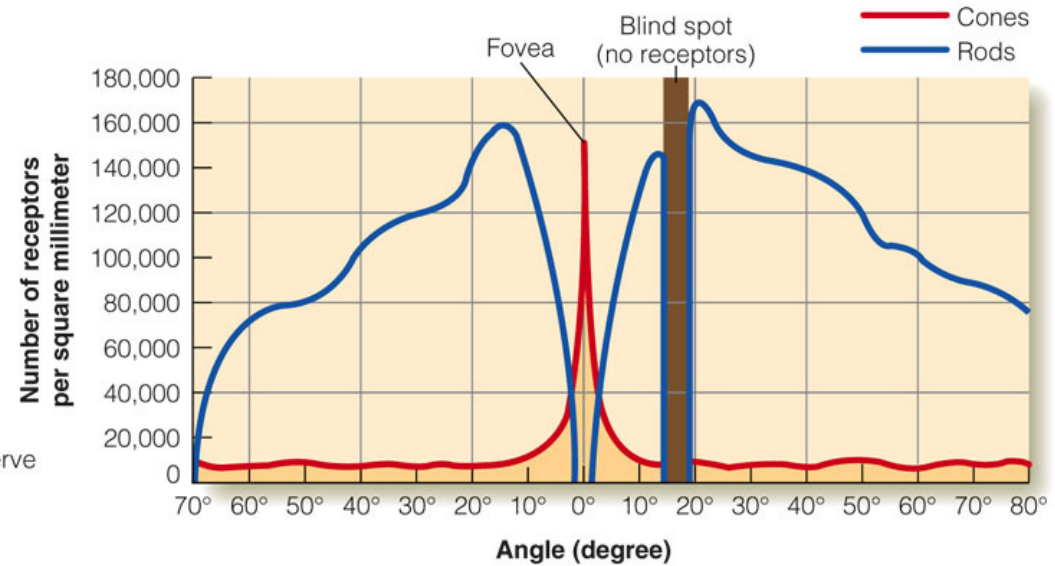
Čípky

- Počet**
7 miliónů
- Aktivace při vyšším osvětlení**
>10cd/m²
- Fotopické vidění**
rozlišení barev (L-,M-,S-),
rozlišení detailu
- Adaptace na světlo**
1-2 minuty
- Spektrální senzitivita**
peak 555nm (Purkyně)

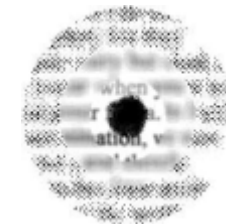
Distribuce tyčinek a čípků



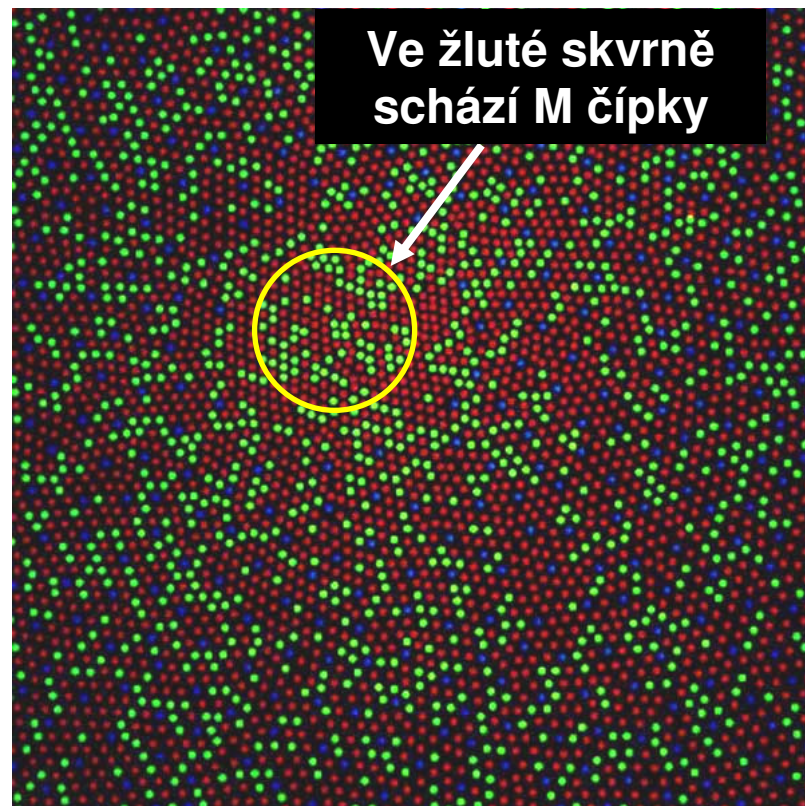
© 2007 Thomson Higher Education



Klesající kvalita se vzdáleností
od žluté skvrny



Distribuce tyčinek a čípků



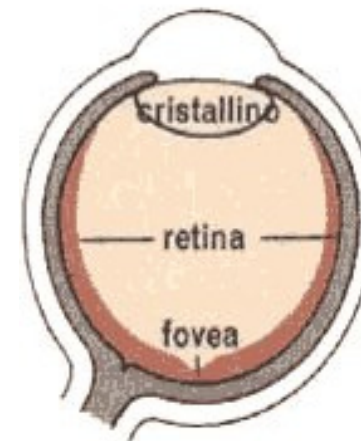
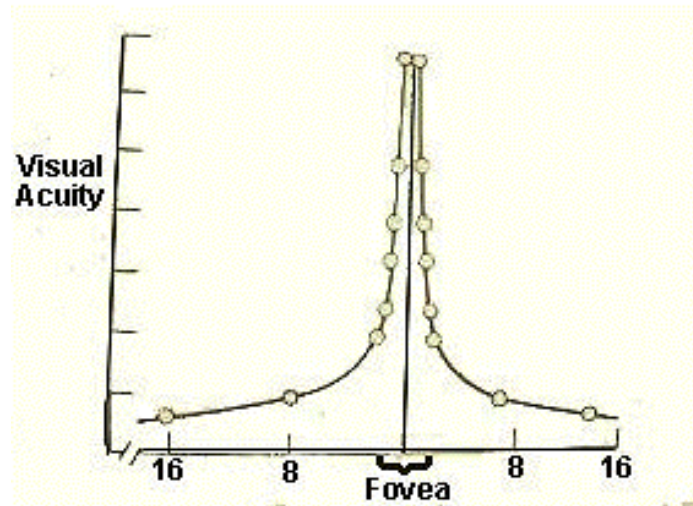
* S, M a L čípky

* $L : M = 2 : 1$

* $(L + M) : S = 10 : 1$

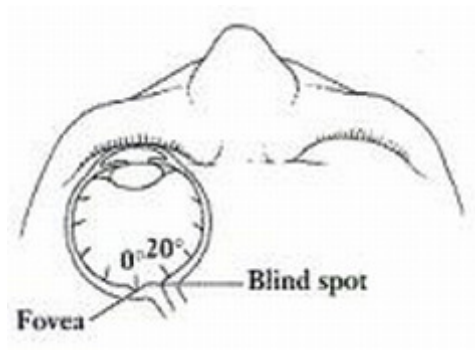
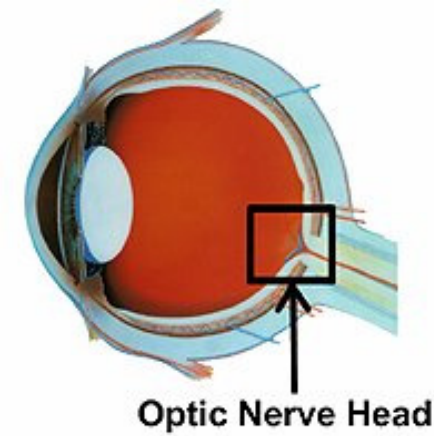
Žlutá skvrna

- místo projekce obrazu sledovaného objektu
- místo nejostřejšího vidění
- 1° zorného pole
- výhradně čípky - 150 000 na 1 mm²



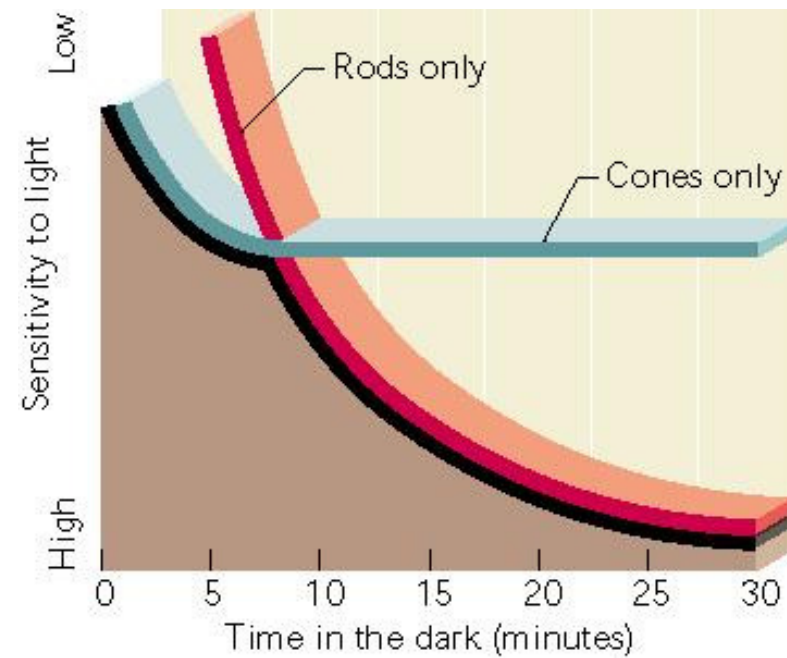
Slepá skvrna

Ústí optického nervu
17° od žluté skvrny
Proč naše vidění nelimituje?



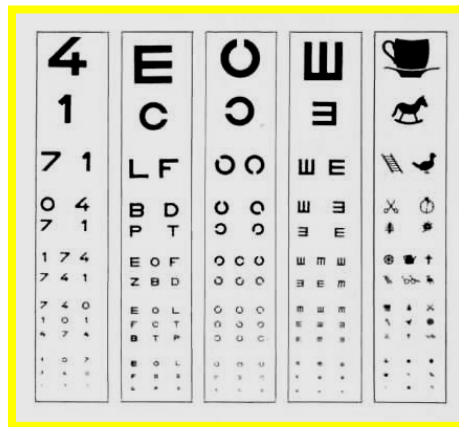
Adaptace na světlo a na tmu

- * senzitivita tyčinek a čípků po „přepnutí“
- * průběh v čase
- * mechanismy adaptace



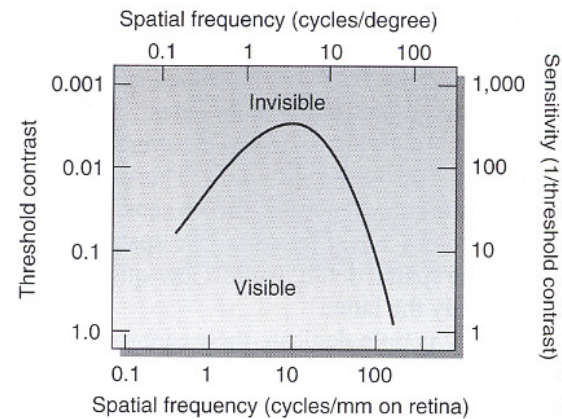
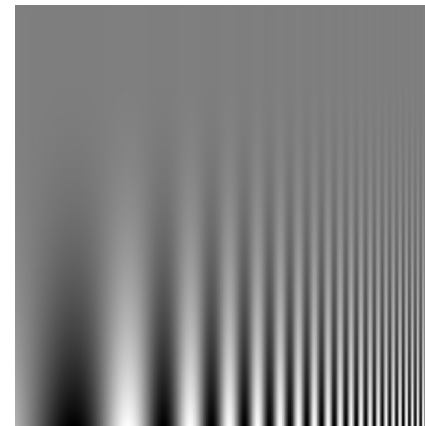
Klinické testy

Snellenovy, Landoltovy kruhy, Pflugerovy háky



V R S K D R
N H C S O K
S C N O Z V
C N H Z O K
N O D V H R
C D N Z S V
K O H O D K
R S Z H V R

Jediný, ostrý a detailní obraz



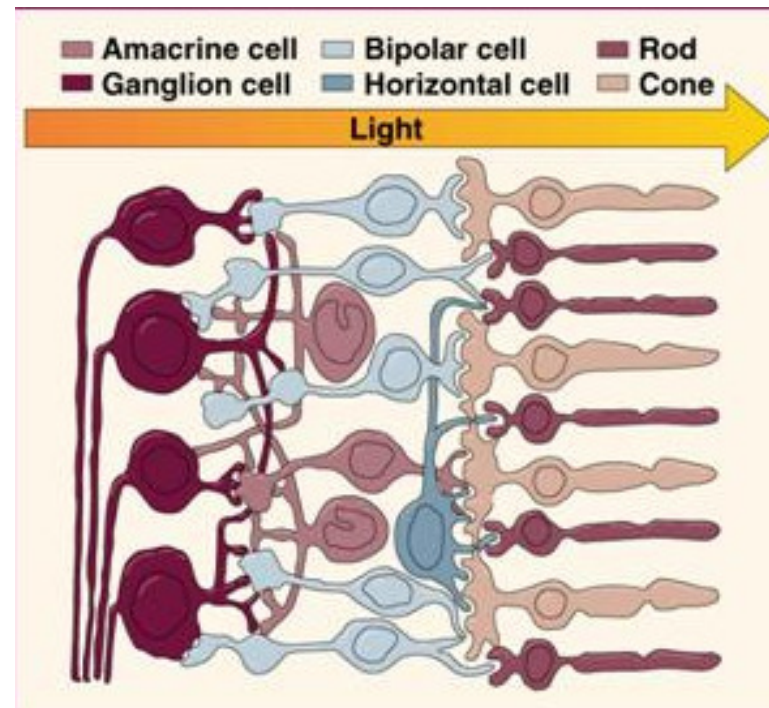
Rozlišení a senzitivita vidění

- * tyčinky senzitivita, čípky rozlišení
- * vztah k sensorickému ustrojení



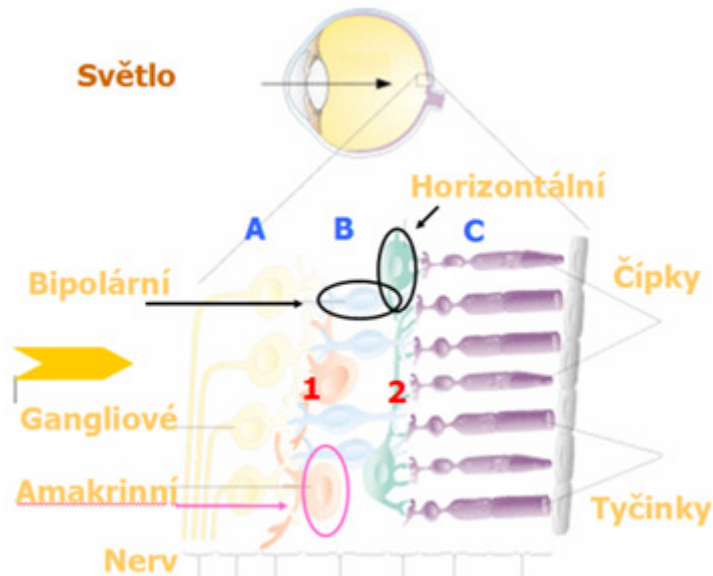
Vrstvy sítnice

- o Fotoreceptory
- o Horizontální
- o Bipolární
- o Amakrinní
- o Gangliové

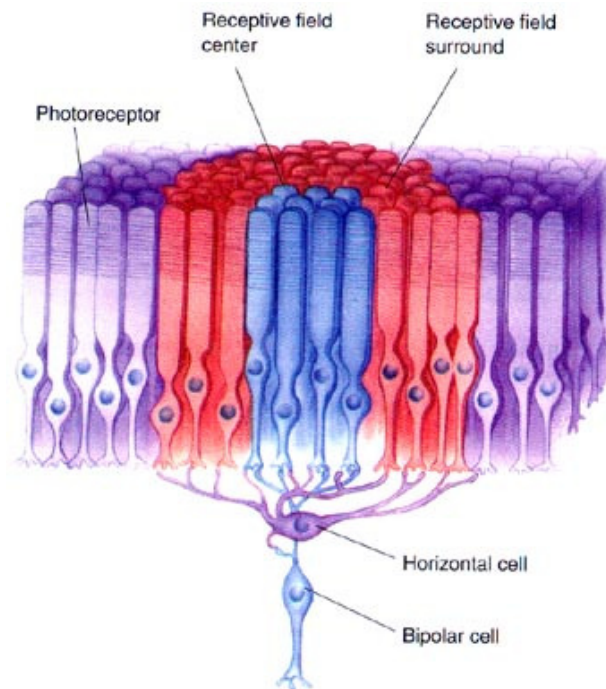


Bipolární, amakrinní a horizontální buňky

- propojení receptorů a gangliových buněk
- konvergence a reorganizace světelného signálu
 - 130 mio fotoreceptorů a 1 mio axonů gangliových buněk
- jiný poměr ve fovey (1:1) a na periférii (>100:1)



Gangliové buňky - první zpracování



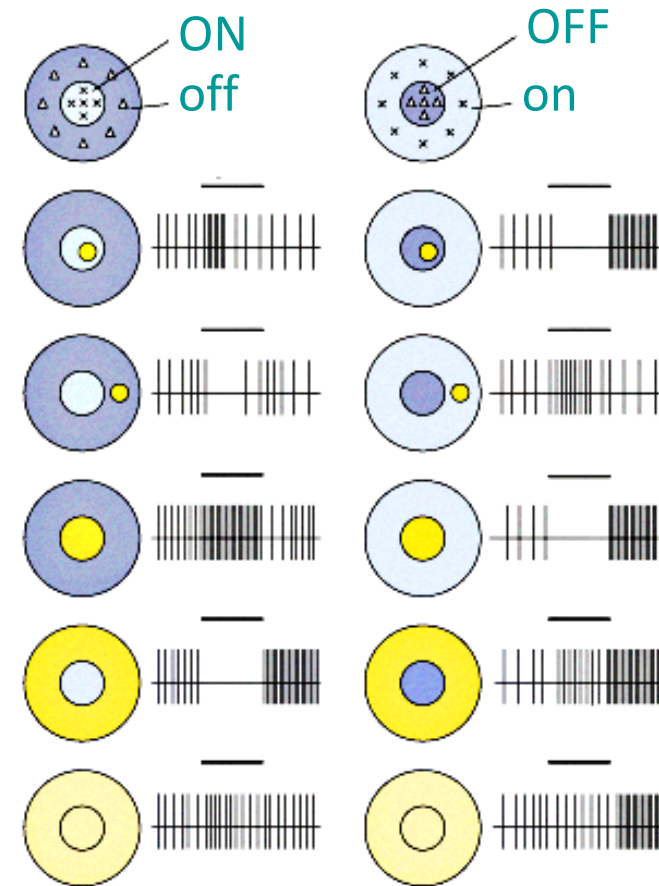
☐ Kruhové uspořádání odpovídajících receptorů => receptivní pole

☐ R.p. jako senzoričká jednotka - výsek, jehož stimulace vede ke změně nervového vzruchu

☐ Středová a obvodová část

Gangliové buňky

- struktura odpovídá receptivnímu poli
- 2 druhy: zapínací (on-centre) a vypínací (off-centre)
- antagonická reakce (změna frekvence akčních potenciálů) na dopad světla do obou částí
- reagují nikoliv na absolutní hodnoty, nýbrž na rozdíl (v intenzitě, vlnové délce, s časem) indikující výskyt přechodu nebo hrany



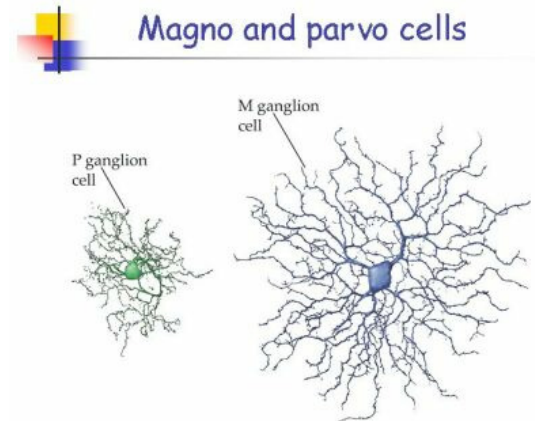
Gangliové buňky

Malobuněčné

- trpasličí bipolární
- začátek P drah
- zpracování informací z fovey
- pomalejší přenos
- reakce na vlnovou délku a intenzitu

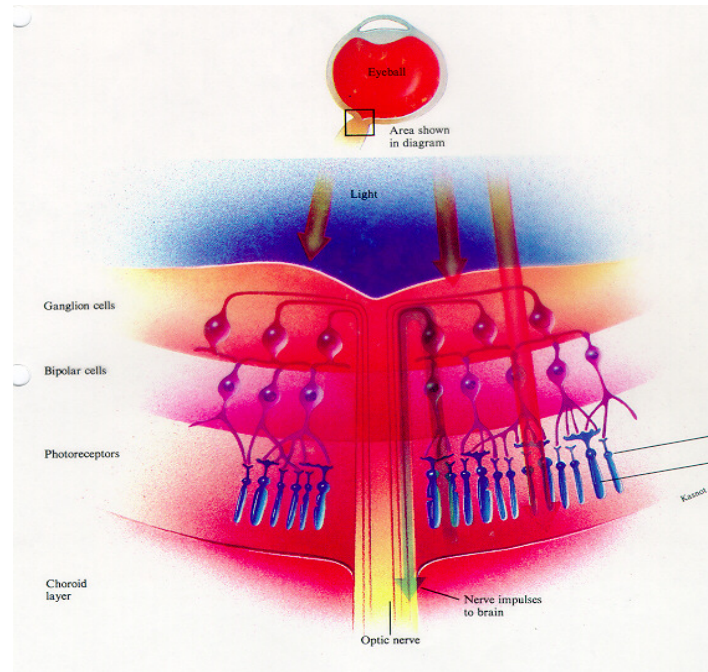
Velkobuněčné

- difúzní bipolární
- začátek M drah
- rovnoměrná distribuce
- rychlejší přenos
- reakce bez ohledu na vlnovou délku a intenzitu

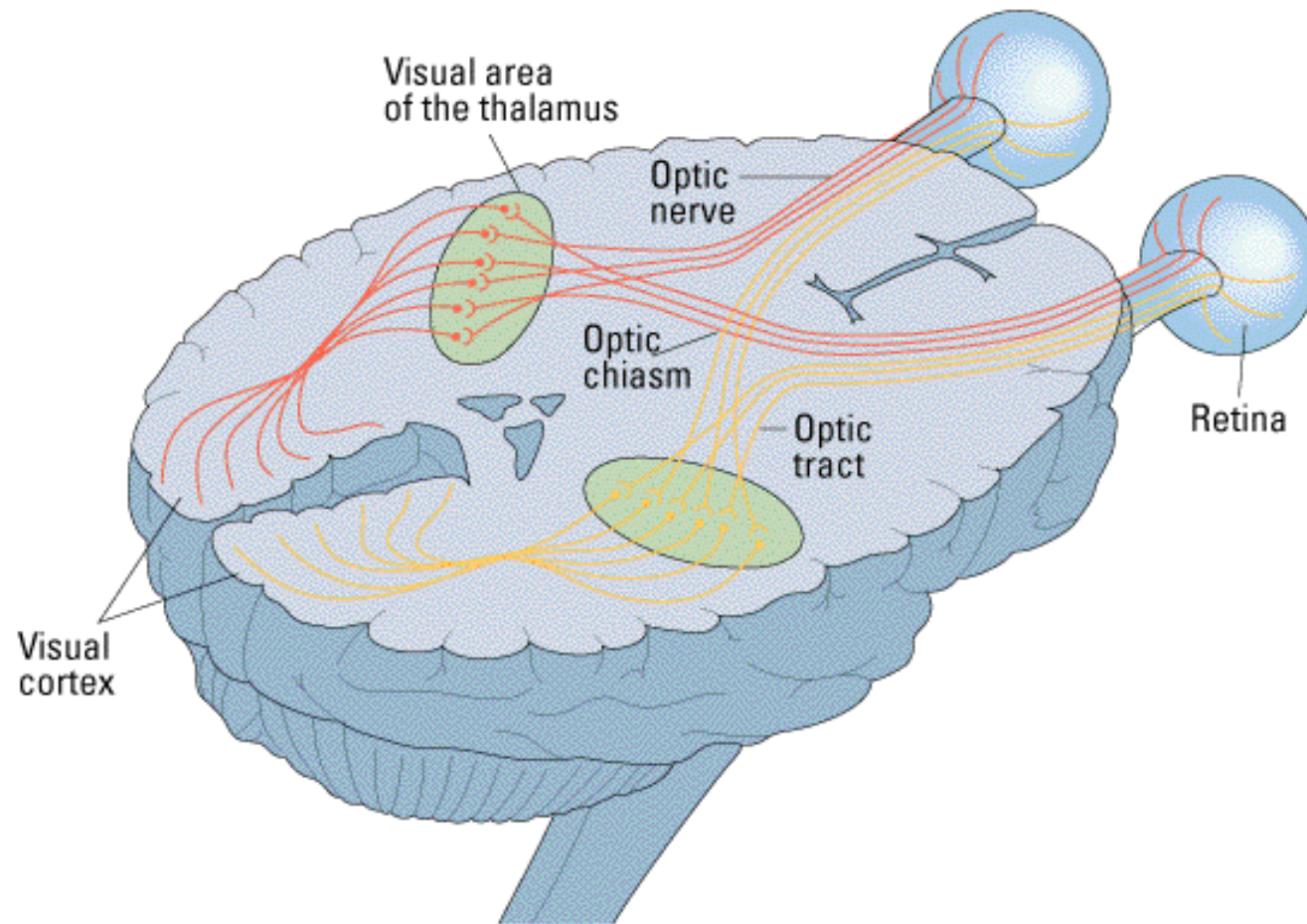


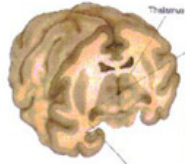
Zrakový nerv

axony gangliových buněk svedené v jediném místě sítnice

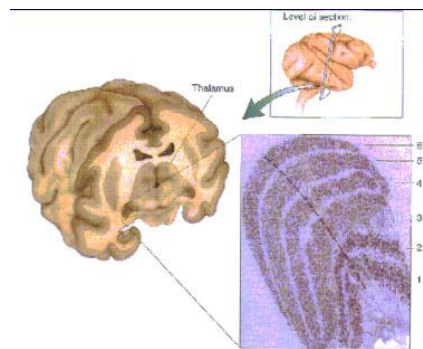
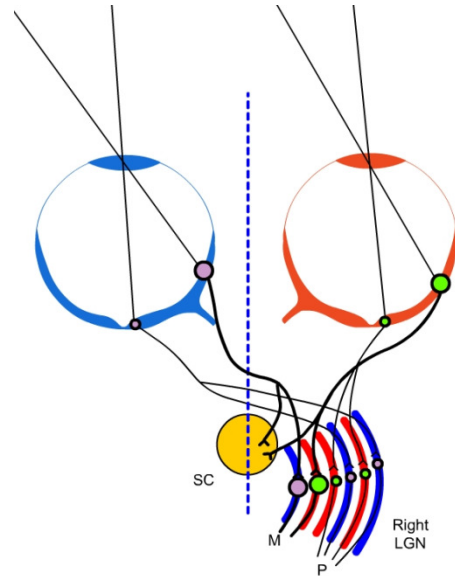
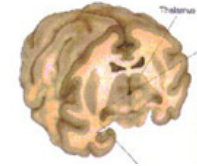


Dráha zpracování zrakového podnětu



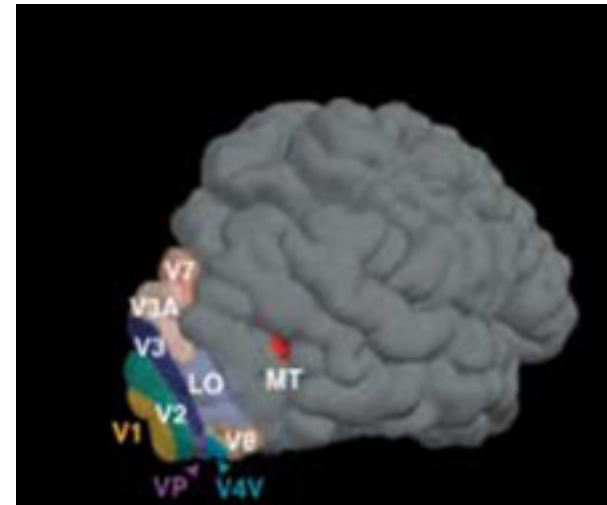
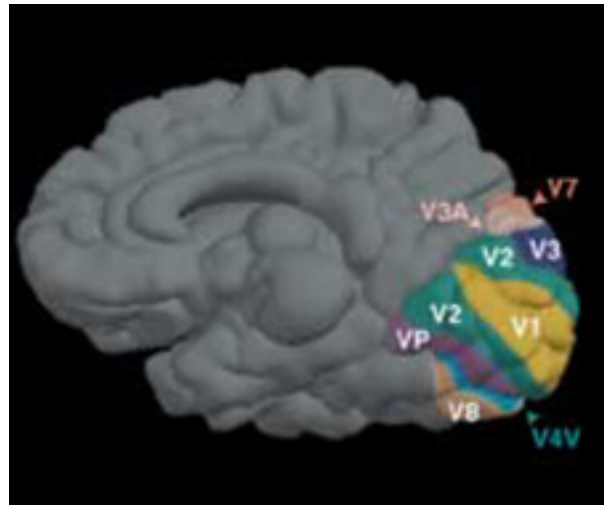


Corpus geniculatum laterale

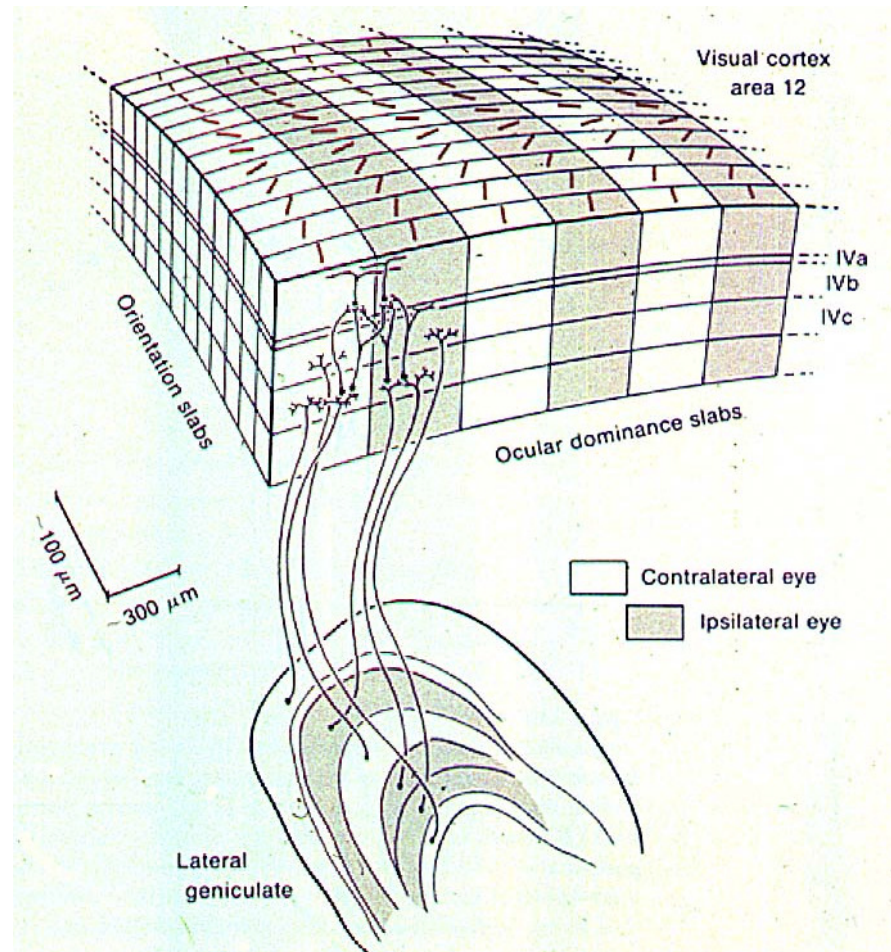


- Podkorová struktura v thalamu tvořená šesti oddělenými vrstami (obsahujícími těla neuronů, tj. projekce axonů ganglií)
 - o M:1,2 P:3,4,5,6
 - o S:2,3,5 D:1,4,6
 - o Levá strana: pravý CGL, pravá strana: levý CGL
- Retinotopické uspořádání & korespondence mezi vrstvami
- Neurony obsahují receptivní pole

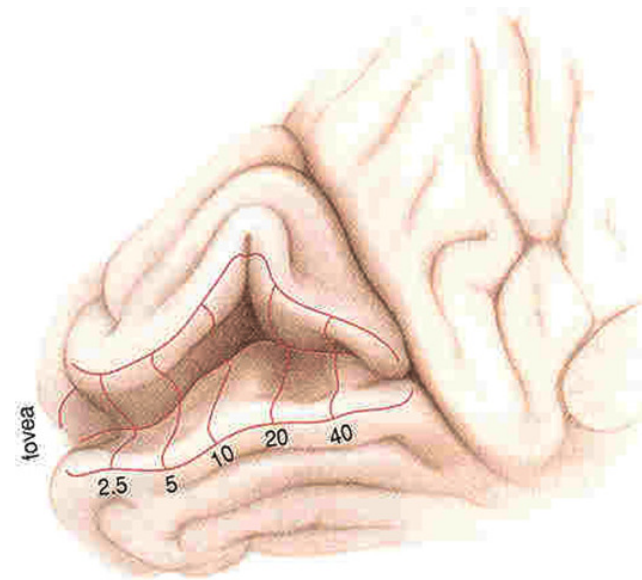
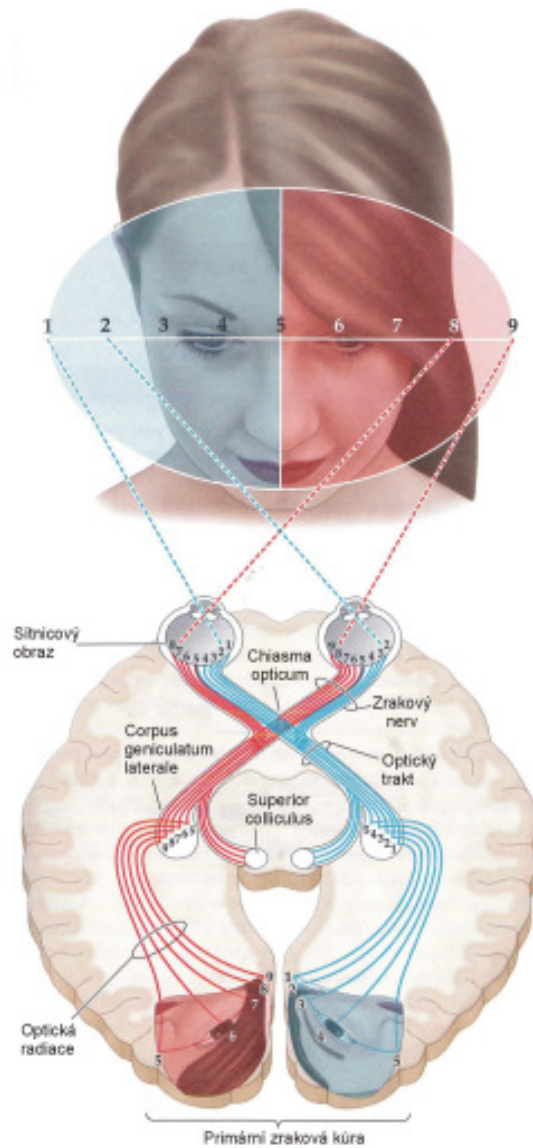
Primární zrakový kortex (V1)



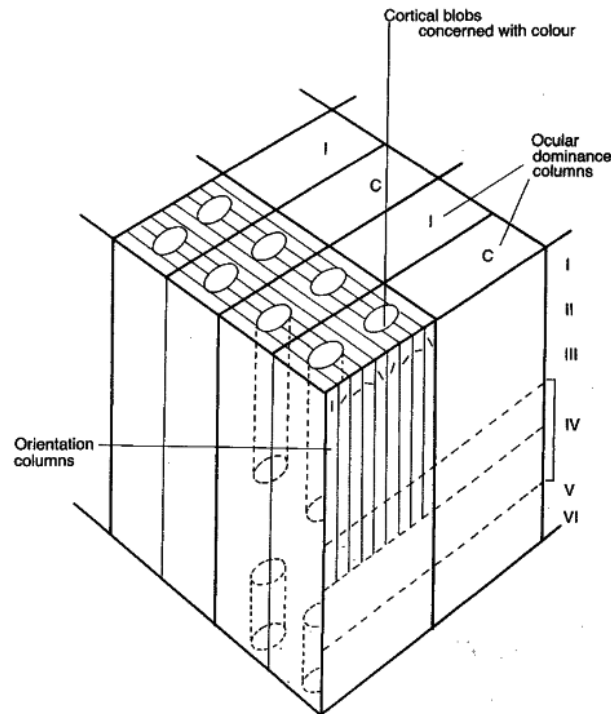
Primární zrakový kortex (V1)



Primární zrakový kortex (V1)



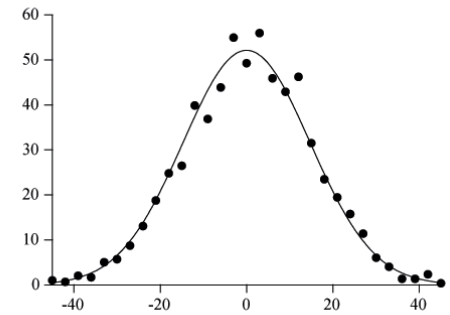
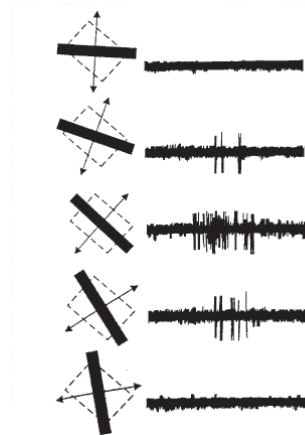
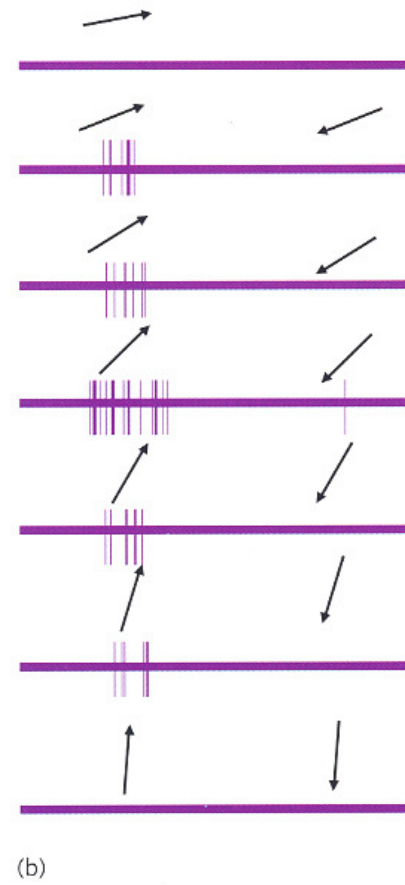
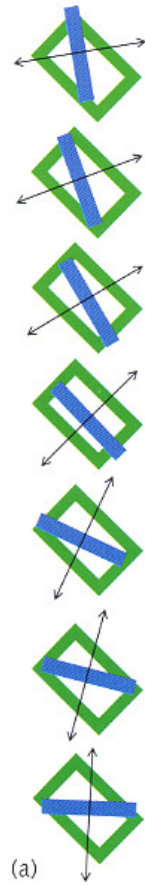
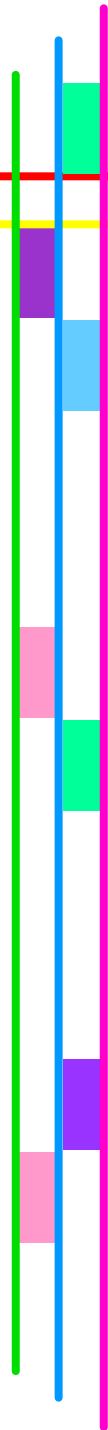
Primární zrakový kortex (V1)



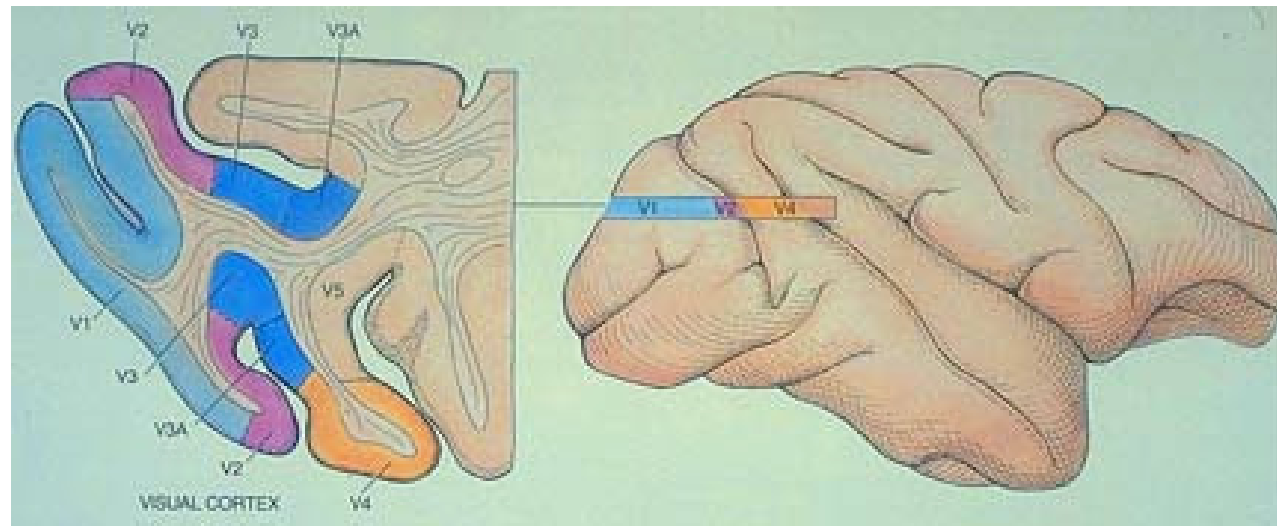
▪ rozsáhlá transformace zrakového signálu

- 200 mio neuronů
- funkční specializace – výběrová citlivost na orientaci, směr pohybu, prostorovou frekvenci, oční dominanci
- organizace do hyper-sloupců

Primární zrakový kortex (V1)

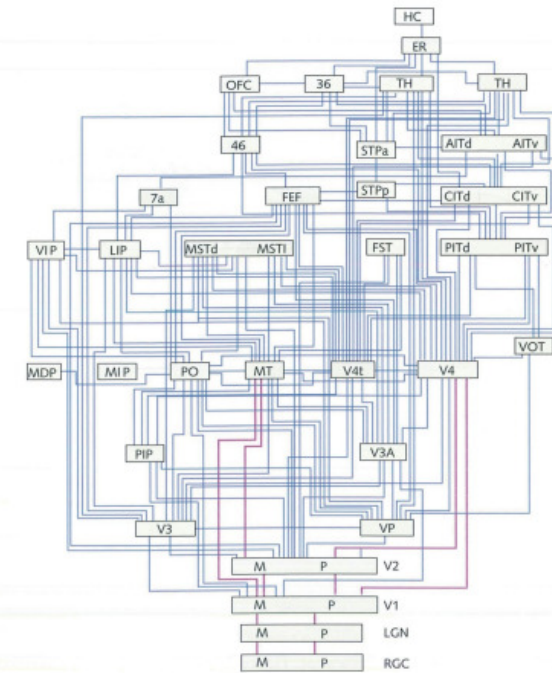
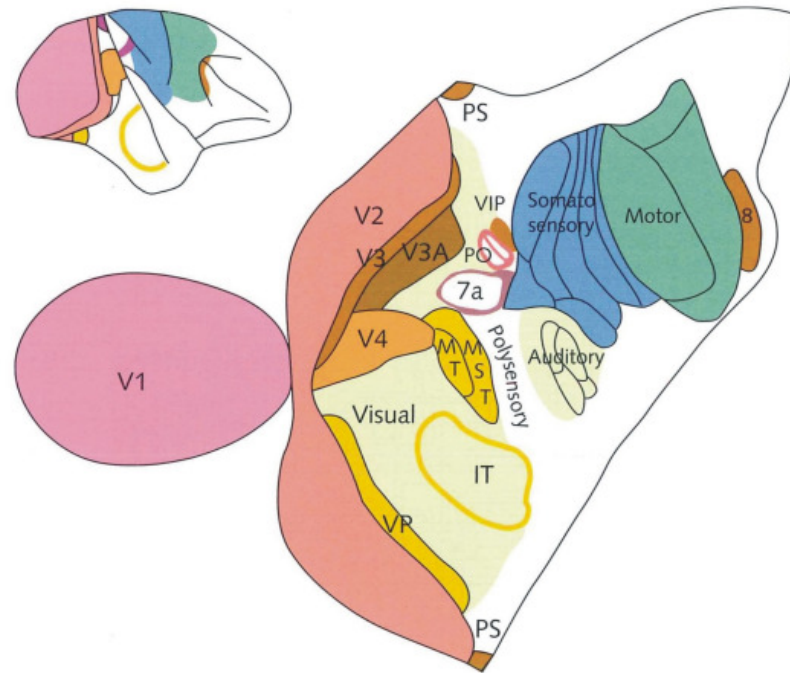


Vyšší korová centra

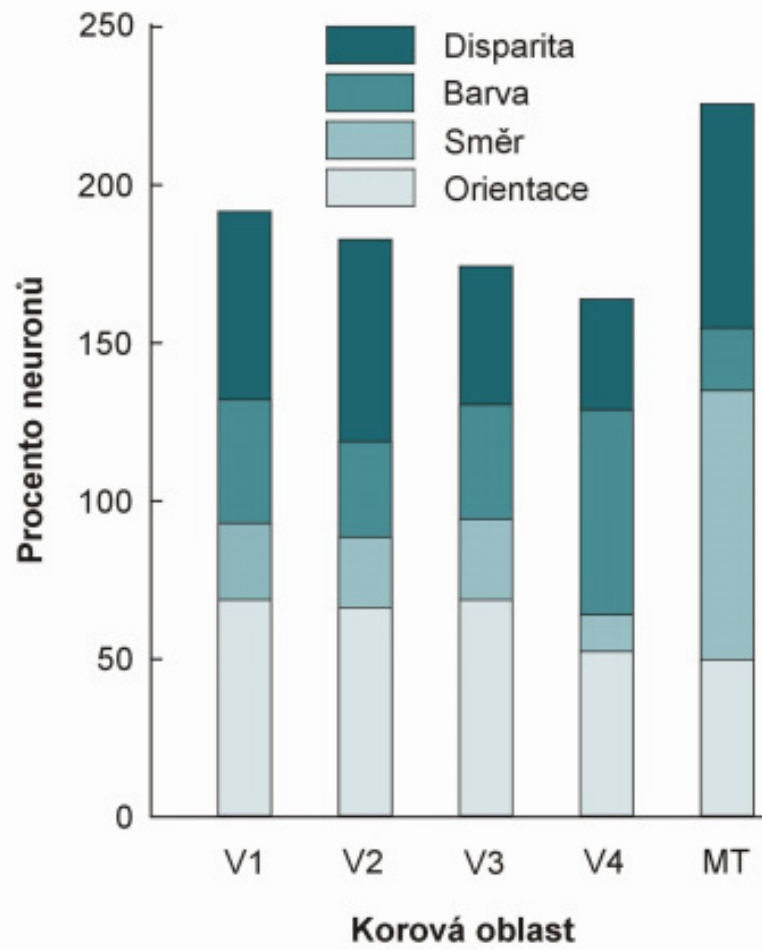


- různé oblasti týlního, temenního a spánkového laloku (> 30 korových struktur)
- rozsáhlé propojení jednotlivých oblastí (> 300 drah) => nelze vytvořit model hierarchického uspořádání kortexu
- neurony více specializované než ve V1, ale jsou to „centra“?
- (1) měření elektrické aktivity neuronů, (2) výzkum lézí

Vyšší korová centra



Vyšší korová centra



Vyšší korová centra (V3, V4, V5/MT)

Barva : V4, achromatopsie

Tvar : více sekvencí (V3, IT, V4);

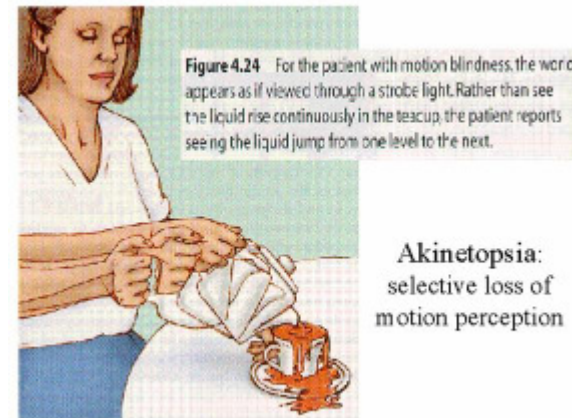
vyústění P drah; insenzitivita

pouze ke tvaru neexistuje;

speciální zpracování tváří

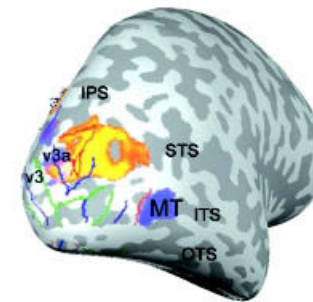
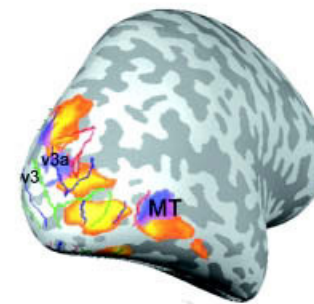
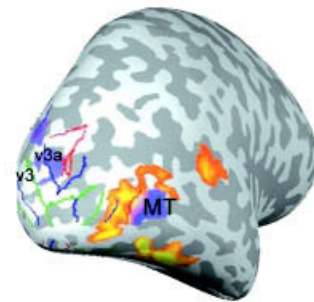
Pohyb : V5; vyústění M drah;

akinetopsie



<http://www.youtube.com/watch?v=B47Js1MtT4w>

Vyšší korová centra



Vyšší korová centra

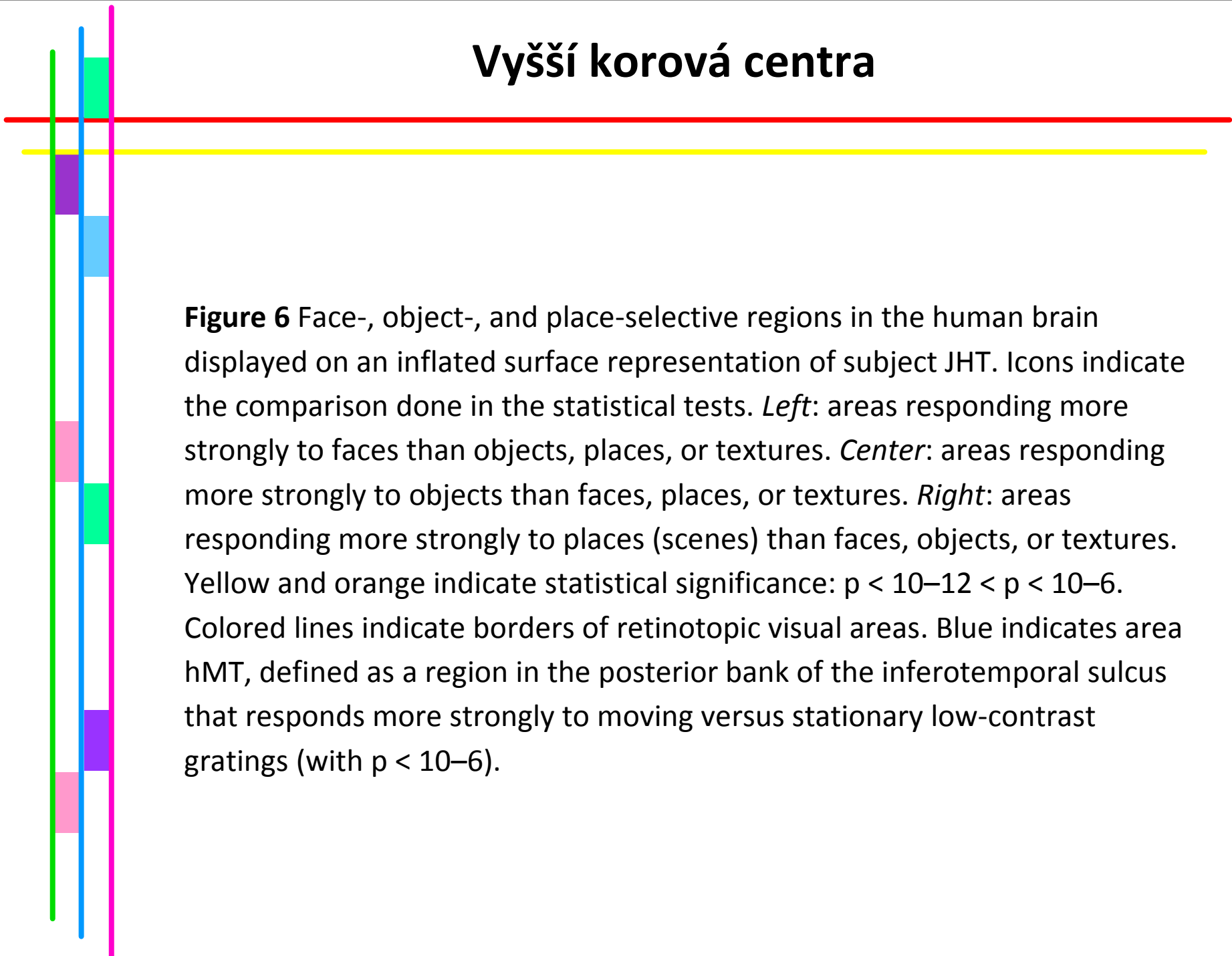
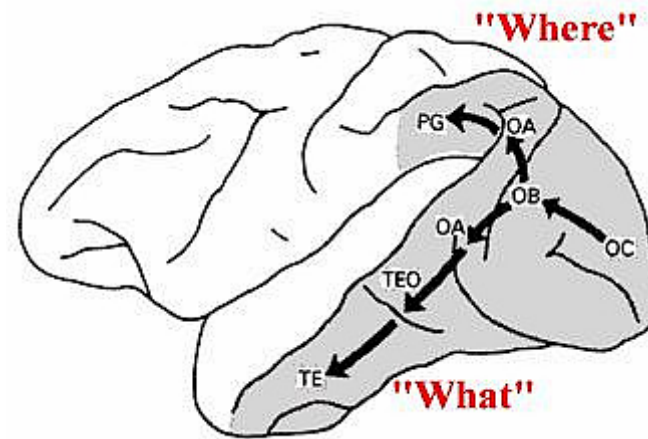
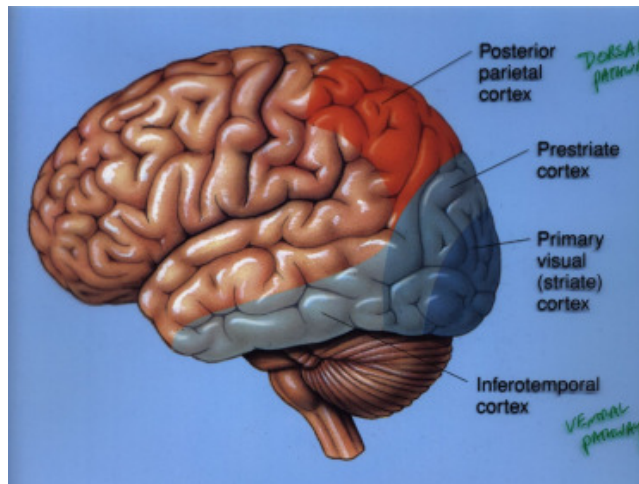


Figure 6 Face-, object-, and place-selective regions in the human brain displayed on an inflated surface representation of subject JHT. Icons indicate the comparison done in the statistical tests. *Left*: areas responding more strongly to faces than objects, places, or textures. *Center*: areas responding more strongly to objects than faces, places, or textures. *Right*: areas responding more strongly to places (scenes) than faces, objects, or textures. Yellow and orange indicate statistical significance: $p < 10^{-12} < p < 10^{-6}$. Colored lines indicate borders of retinotopic visual areas. Blue indicates area hMT, defined as a region in the posterior bank of the inferotemporal sulcus that responds more strongly to moving versus stationary low-contrast gratings (with $p < 10^{-6}$).

Dva zrakové systémy

Dorsální a ventrální proud zpracování



Systemy
„Co?“ a „Kde?“

Perception for
recognition

Perception for action

Dva zrakové systémy

