

Světelný vjem

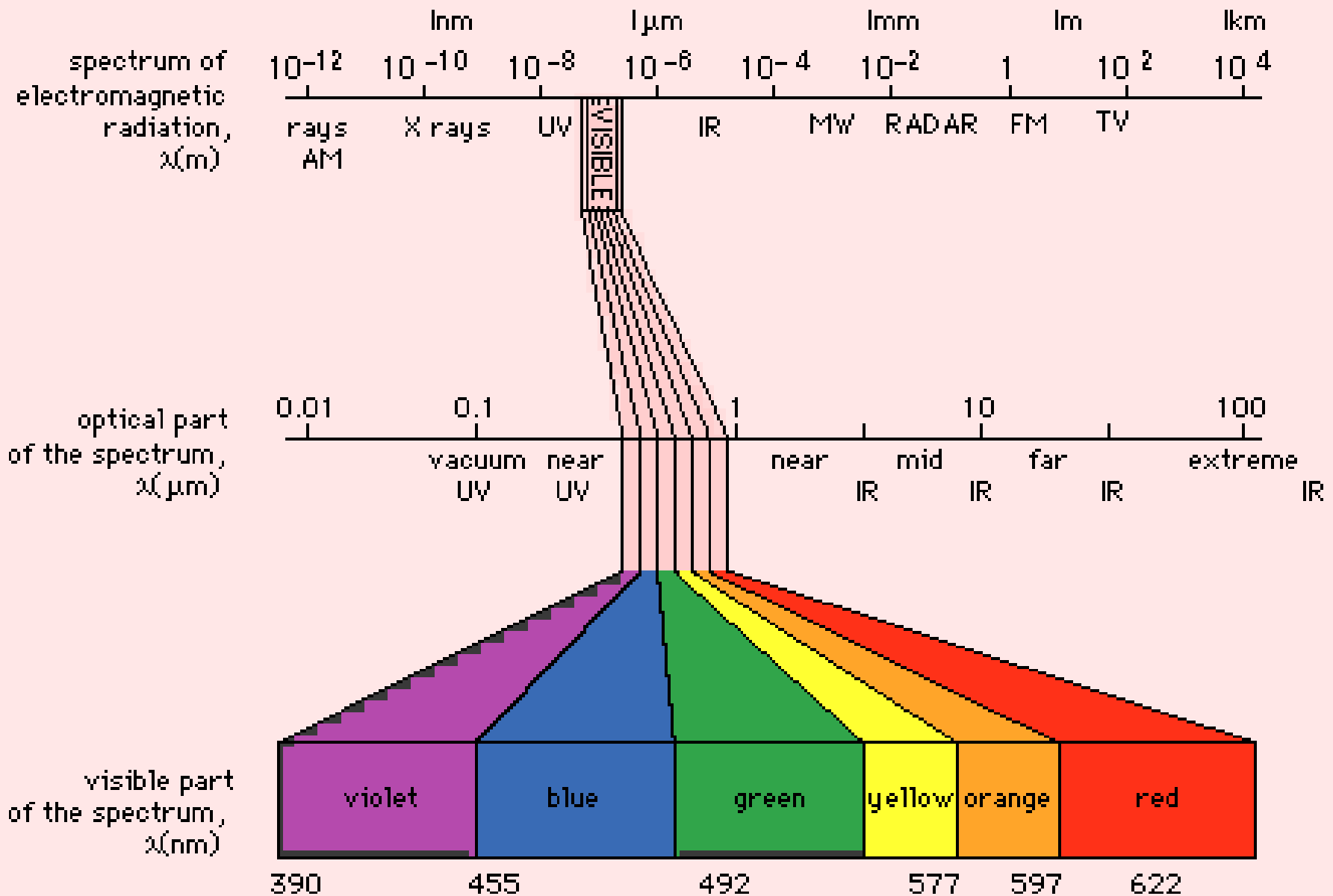


Světlo

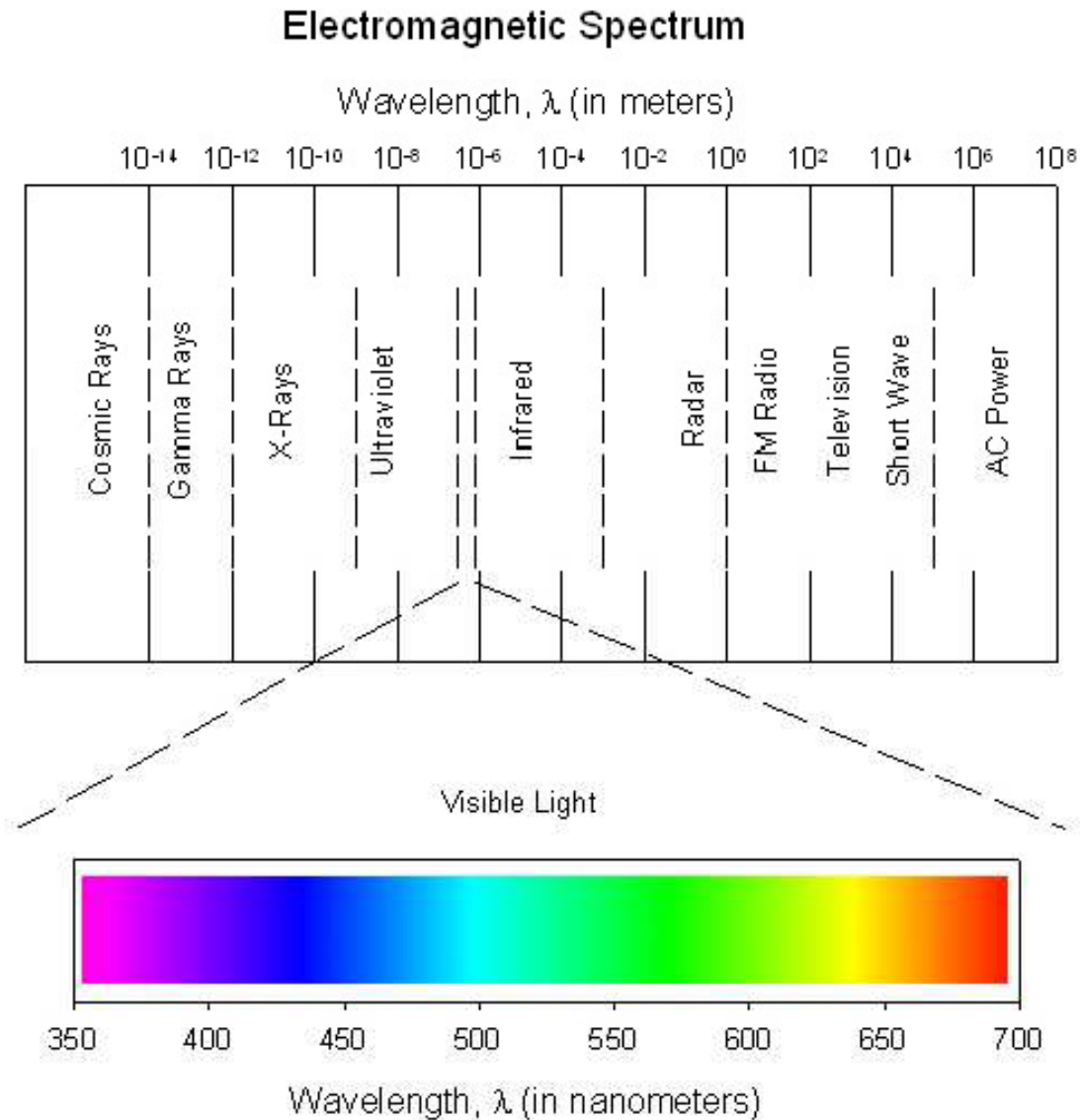
Světlo je elektromagnetické (příčné) vlnění o vlnových délkách (ve vakuu) λ od 390nm (fialové světlo) do 790nm (červené světlo), které způsobuje v lidském oku vjem zvaný vidění



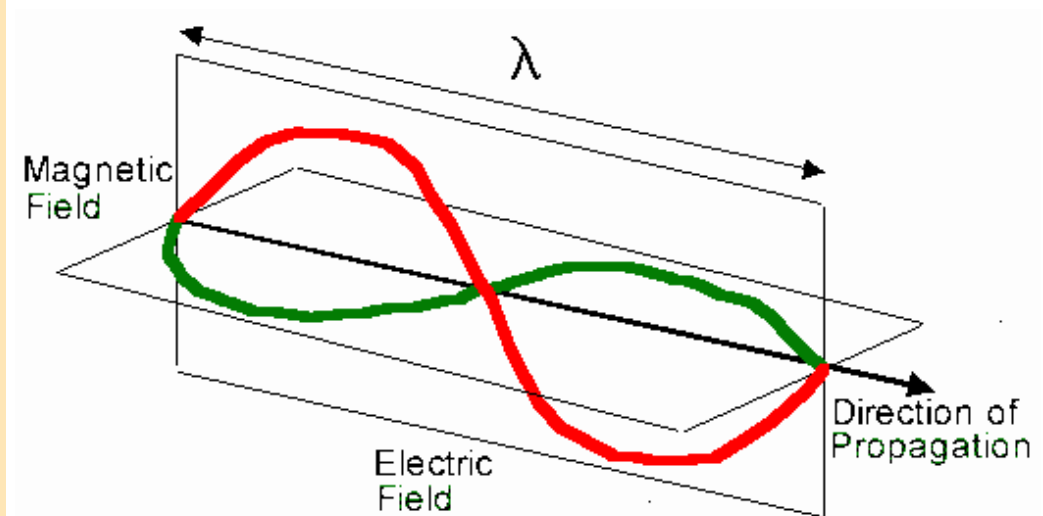
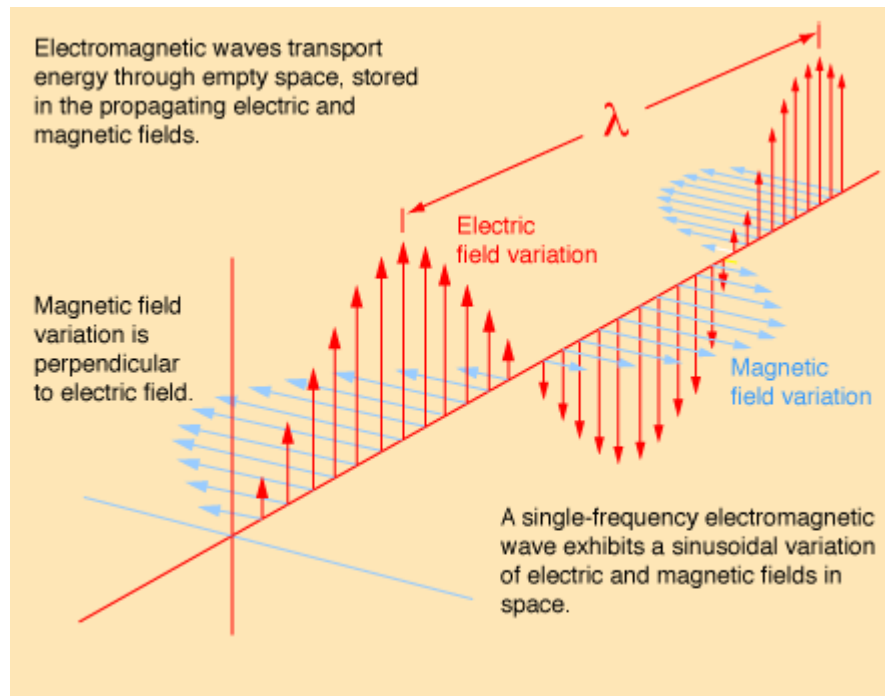
THE ELECTROMAGNETIC SPECTRUM



Elektromagnetické spektrum



Elektromagnetická vlna se skládá z oscilujícího elektrického pole kolmo na oscilující magnetické pole
Směr šíření elektromagnetické vlny je kolmý jak na směr kmitání elektrického tak i magnetického pole



Optika

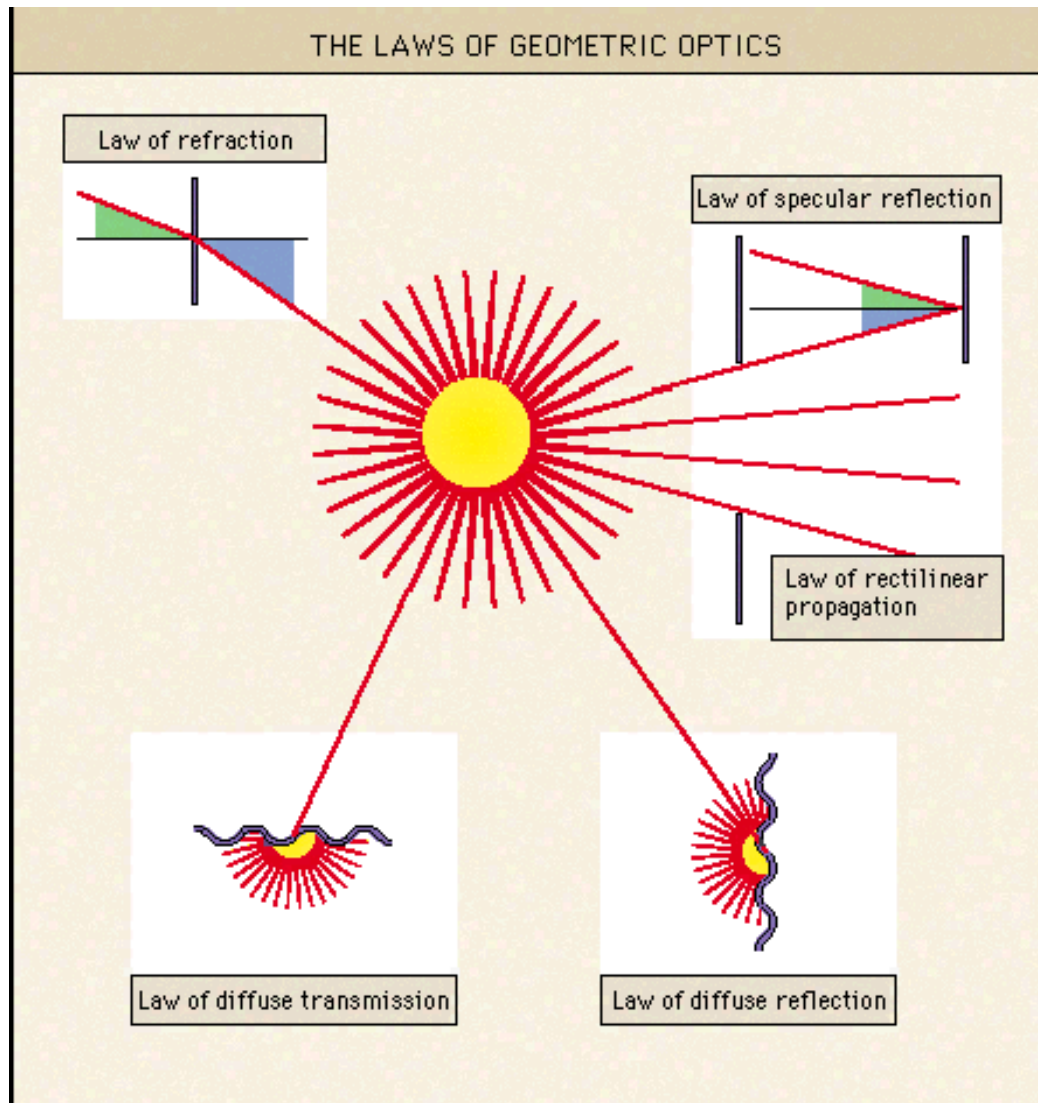
- **Vlnová optika** se zabývá jevy potvrzující vlnovou povahu světla. Rychlost světla ve vakuu $c = 3 \times 10^8 \text{ms}^{-1}$
- **Geometrická optika** používá modelu světelného paprsku. 1. Zákon přímočarého šíření světla 2. Zákon odrazu 3. Zákon lomu
- **Kvantová optika** vychází z objevu M. Plancka, že energie tělesa se může měnit nespojitě jen po určitých hodnotách - *kvantech*. *Fotony* = kvanta elektromagnetického pole.

Světlo má vlnovou i částicovou (kvantovou) povahu



Zákony geometrické (paprskové) optiky

**Zákon
lomu
světla**



Zákon odrazu

**Zákon přímočarého šíření
světla v opticky stejnorodém
prostředí**



Optické nedokonalosti ve stavbě oka



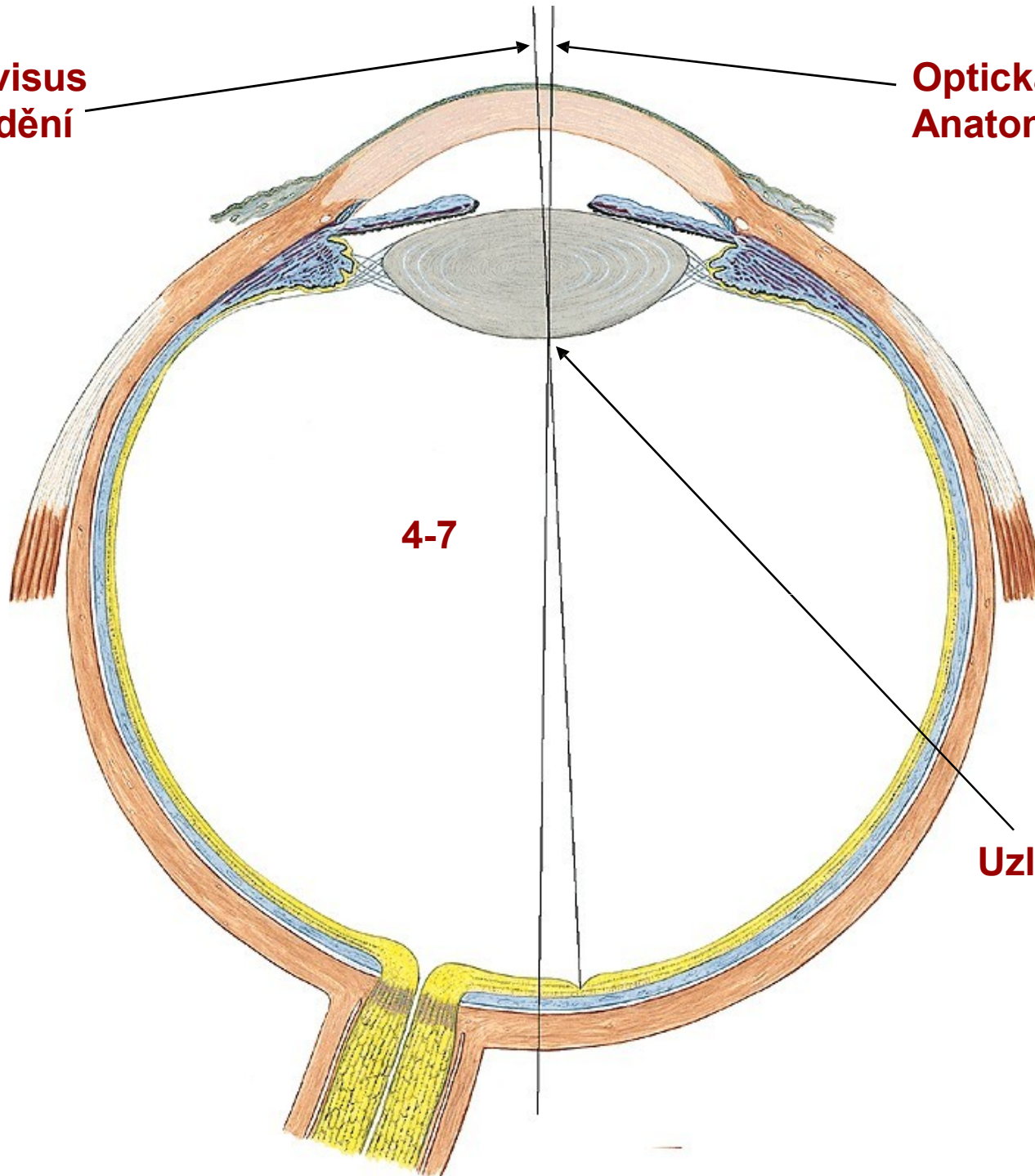
- **Anatomická osa oka** - spojnice mezi předním a zadním pólem očního bulbu
- **Optická osa oka** - přímka spojující bod maximálního zakřivení rohovky a obou ploch čočky. Leží na ní uzlový bod redukovaného oka. Je prakticky shodná s anatomickou osou oka.
- **Osa vidění (*linea visus*)** - spojnice fovea centralis v makule a bodu fixace v prostoru. Prochází uzlovým bodem redukovaného oka.

Osa vidění je od optické osy odkloněna temporálně dozadu o 4-7



Linea visus
Osa vidění

Optická osa
Anatomická osa

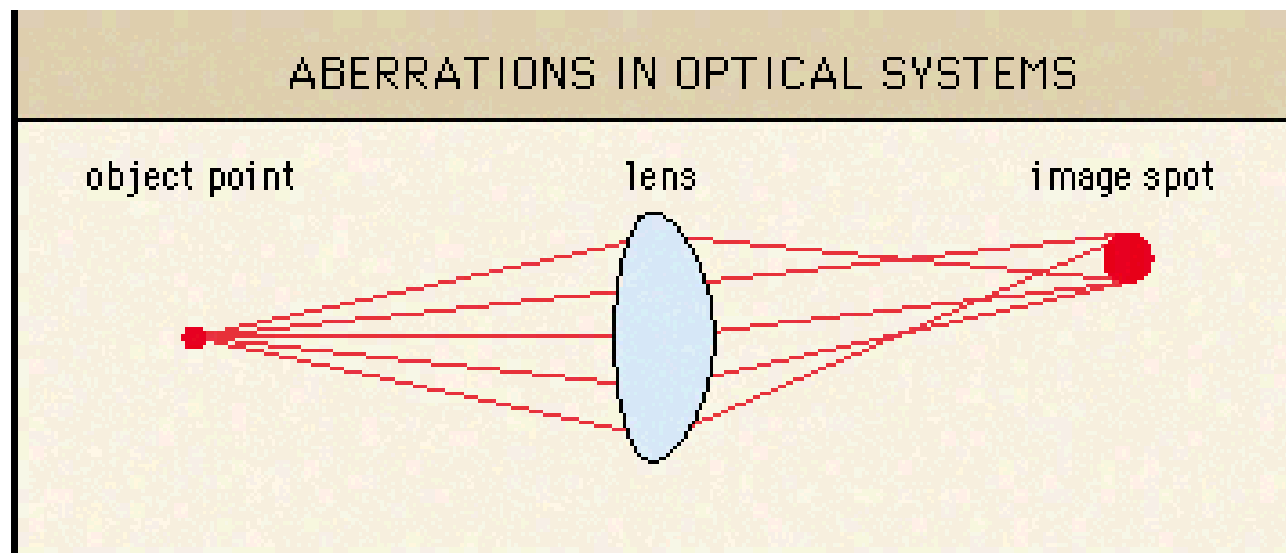


4-7

Uzlový bod



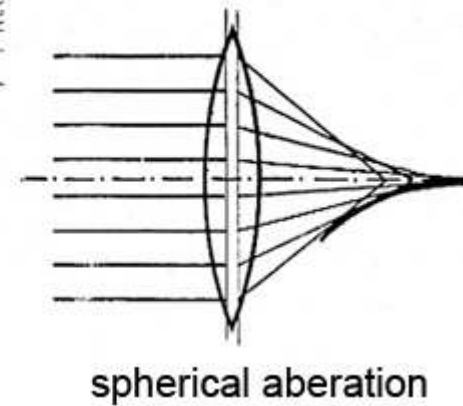
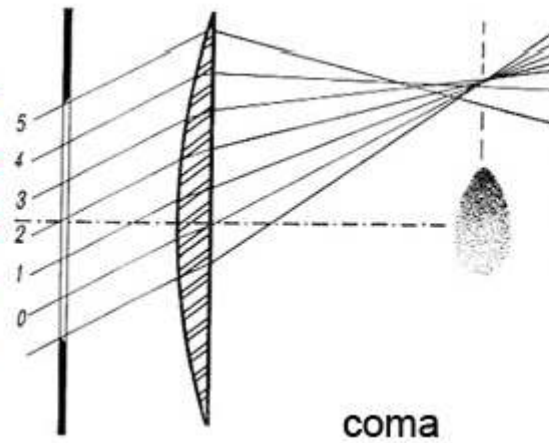
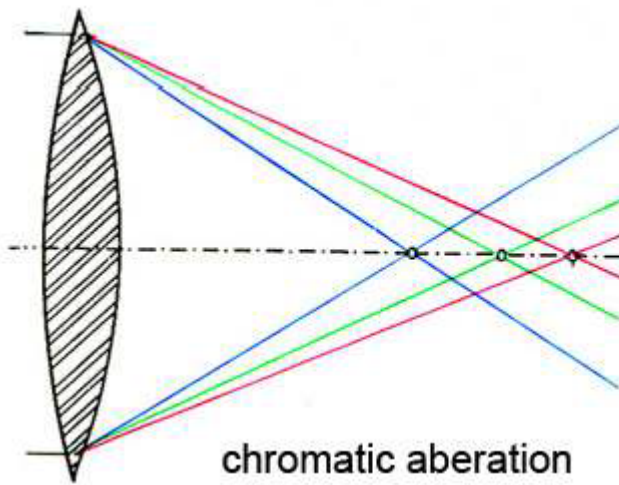
Aberace je v optice označení defektního zobrazení, které je způsobeno neschopností systému čoček vytvořit dokonalý obraz



Chromatická aberace čočky neboli barevná vada je důsledkem toho, že index lomu (a tím i ohnisková vzdálenost čočky) je funkcí frekvence světla a tedy i jeho barvy. Poloha ohniska je tedy pro každou barvu jiná.



Chromatická aberace čočky



Chromatická aberace

Barevné objekty stejně vzdálené od oka jsou zobrazovány různě daleko od sítnice. Velikost chromatické aberace je u lidského oka asi 3Dpt - fyziologicky je korigována preferenční spektrální citlivostí fotoreceptorů (560nm žlutozelené světlo) a dále zpracováním zrakového vjemu mozkiem (centrální korekce chromatické aberace)



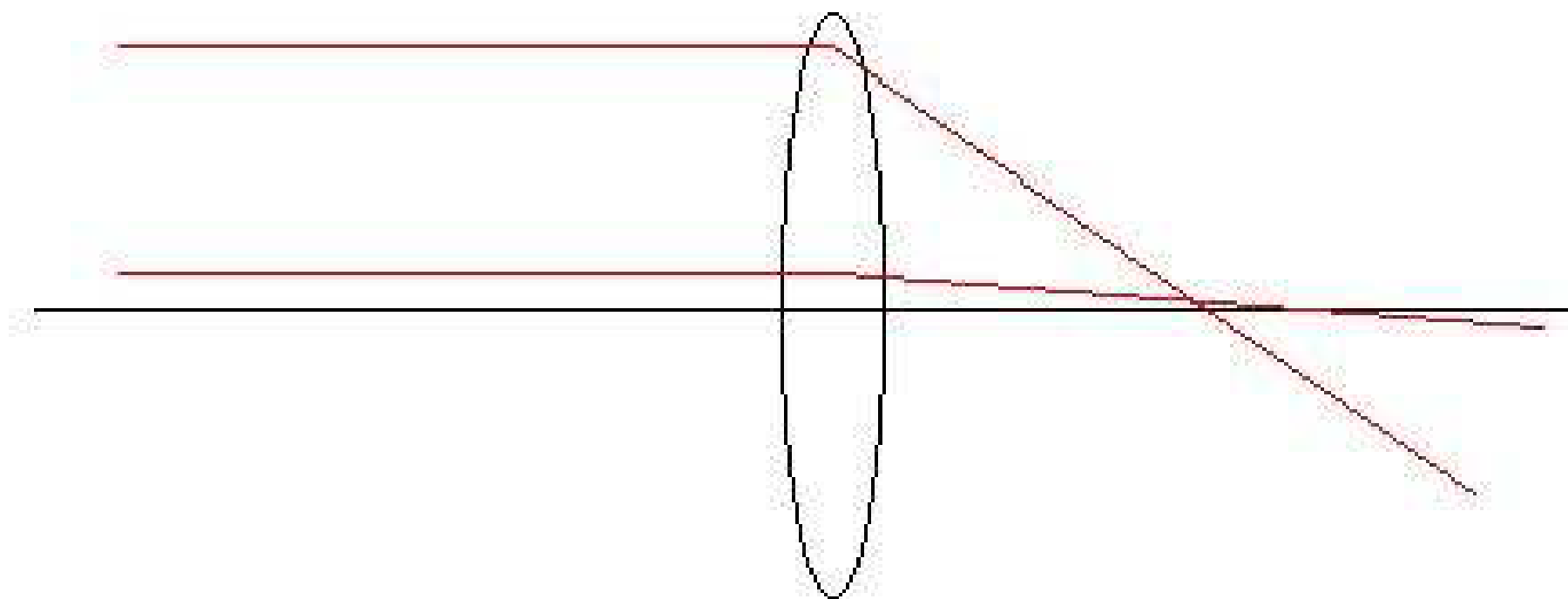
Sférická aberace čočky je dána nestejnou lomivostí paprsků procházejících okrajovými partiemi čočky (rohovky) a centrální částí čočky (rohovky), což vede k neostrému ohnisku na sítnici.

Celková sférická aberace oka činí 0,25-2Dpt a větší podíl na ní má tvar rohovky

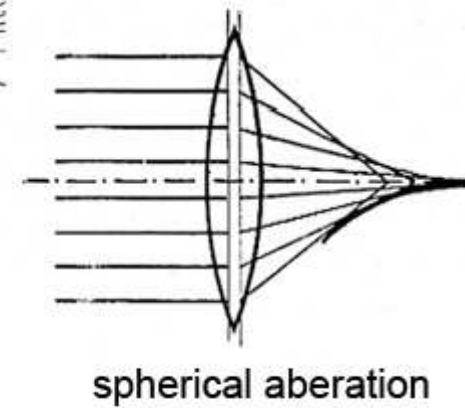
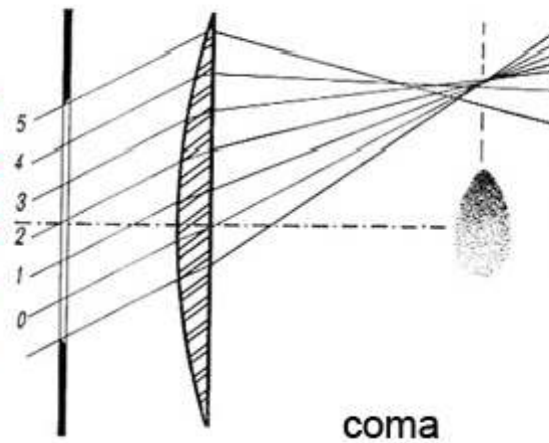
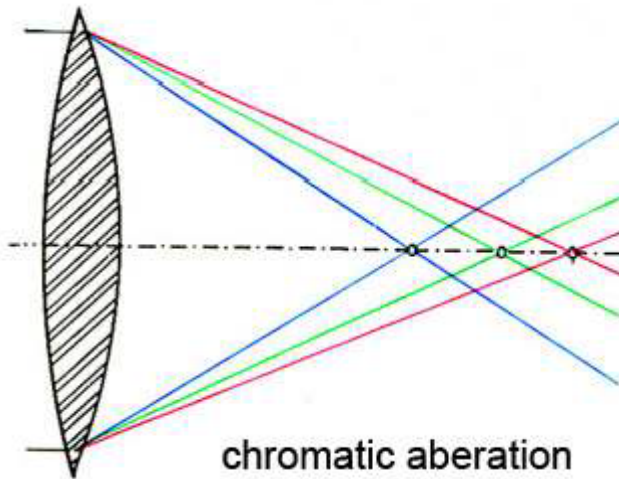
Fyziologicky je sférická aberace *rohovky* korigována zúžením zornice, u čočky má centrum větší index lomu než periferie → korekce aberace.



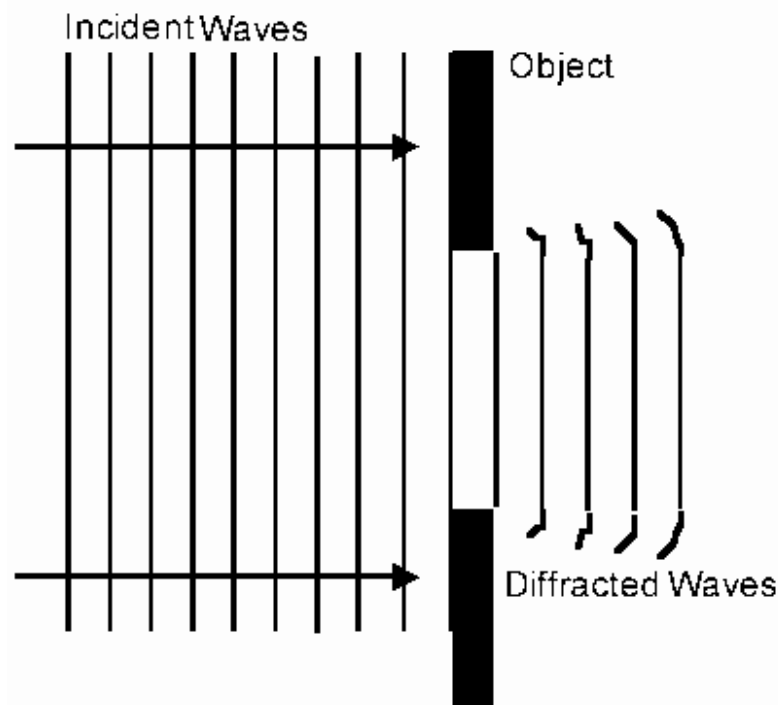
Sférická aberace čočky



Sférická aberace čočky

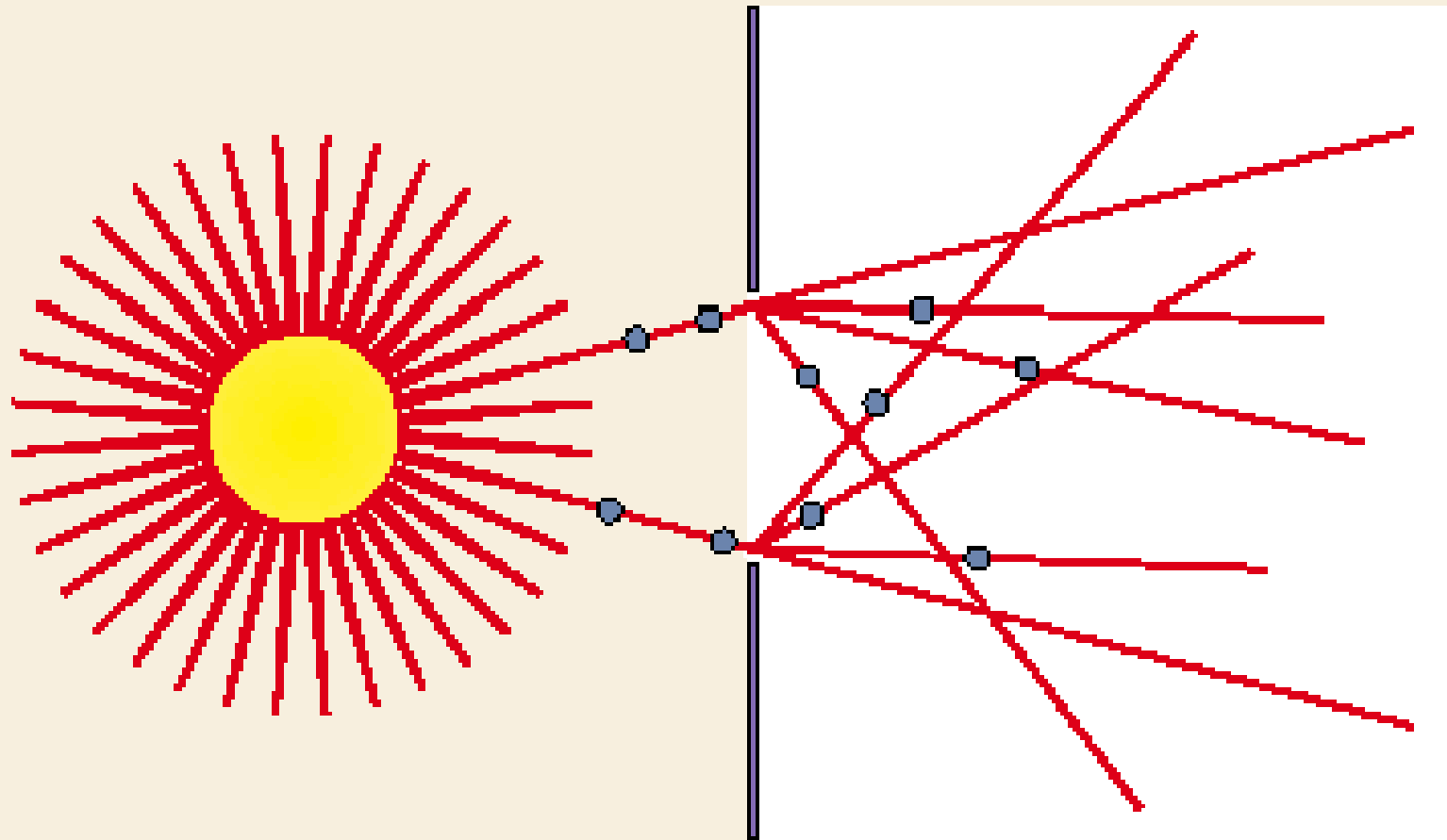


Difrakce neboli ohyb světla nastává, když světlo dopadá na rozhraní s překážkou, štěrbinovitý otvor (zornice), a za překážkou se šíří jinak, než odpovídá zákonu přímočarého šíření světla - světlo proniká z části za překážku i do oblasti geometrického stínu \Rightarrow ohybový obrazec.



Difrakce

AN EXPLANATION OF DIFFRACTION USING THE CORPUSCULAR THEORY



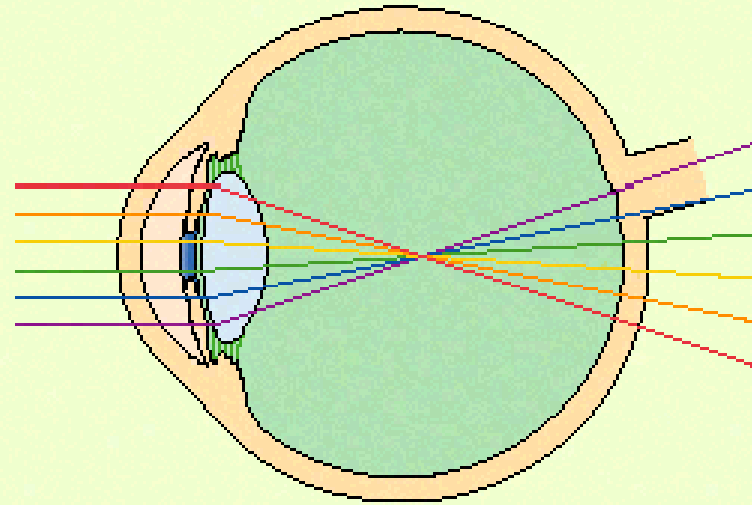
Difrakce závisí na průměru vstupního otvoru (velikosti zornice): čím menší vstupní otvor (mioza), tím větší difrakce a snížení rozlišovací schopnosti oka (ale tím menší i periferní aberace a zlepšení vizu!)
⇒ zornice < 2mm výrazný podíl difrakce,
zornice > 5mm výrazný podíl periferních aberací rohovky a čočky

Ø zornice 2.4mm ⇒ optimální vyvážení účinku aberací a difrakce na zrakovou ostrost ⇒ nejlepší retinální obraz

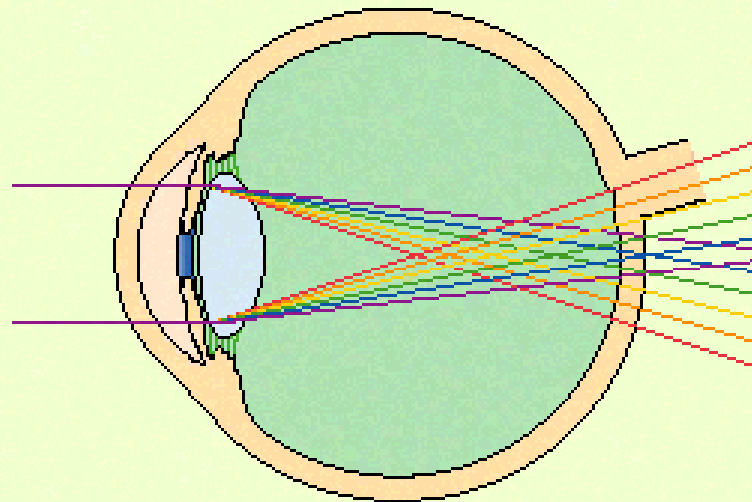


PRINCIPAL ABERRATIONS OF THE LENS

Spherical aberration



Chromatic aberration



Fyziologický astigmatismus

Stav, kdy nemá optický aparát oka ve všech meridiánech stejnou optickou mohutnost

Rovnoběžné paprsky přicházející k oku nemají v různých meridiánech své ohnisko v téže rovině

Příčina: - vada *zakřivení* rohovky či čočky

- změna *indexu lomu* (katarakta)

- *decentrace* (subluxace čočky, IOL)



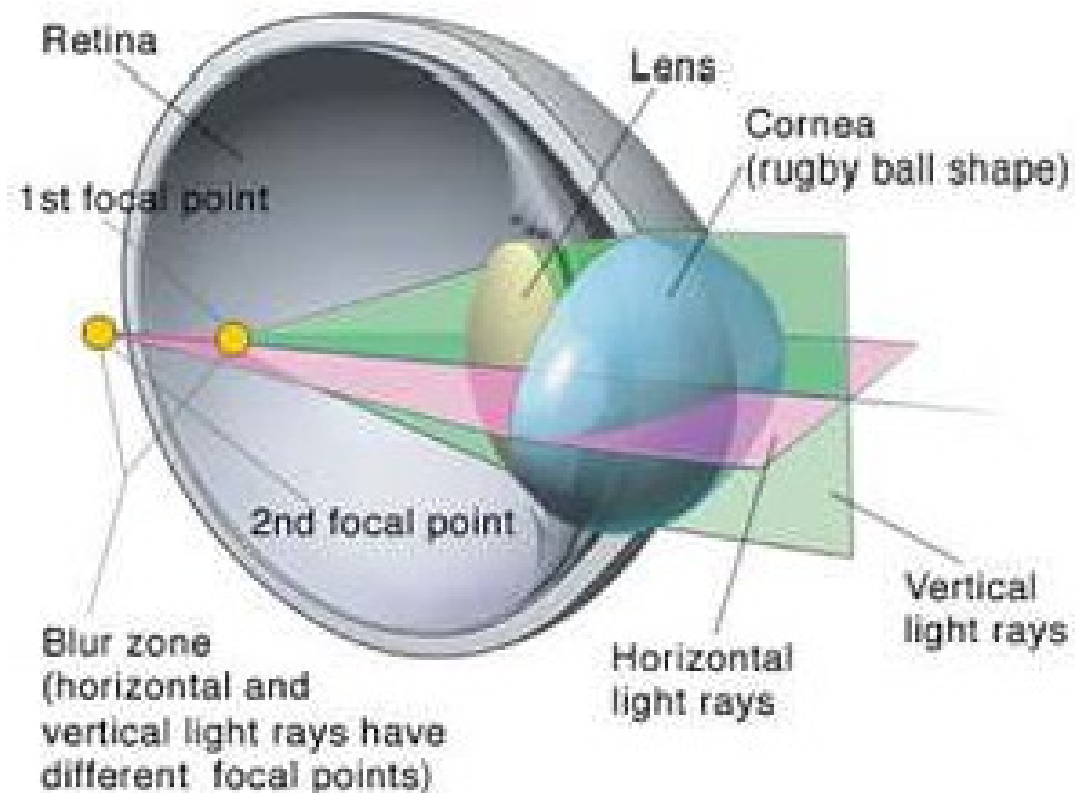
Fyziologický astigmatismus

Astigmatismus rohovkový

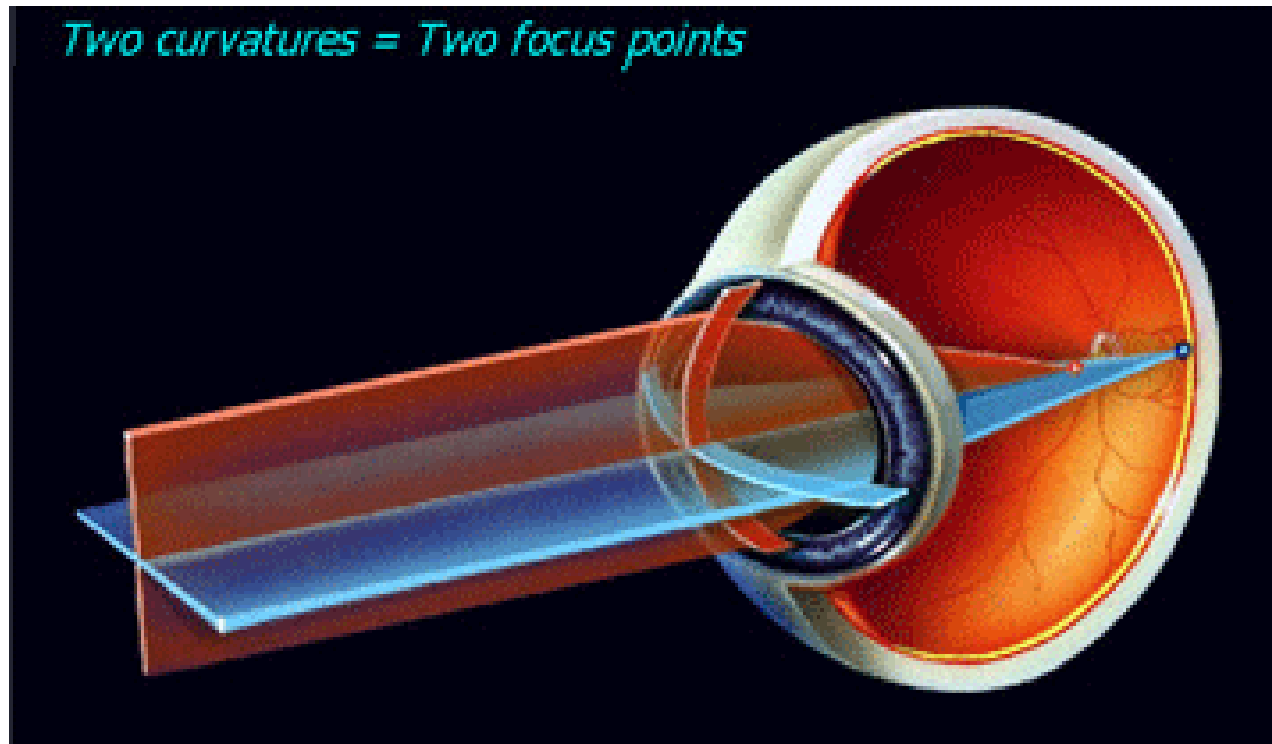
Astigmatismus čočkový

Astigmatismus celkový

CROSS SECTION OF ASTIGMATIC EYE



Pravidelný astigmatismus: meridiány s největší a nejmenší lomivostí jsou na sebe vzájemně kolmé
Astigmatismus přímý (podle pravidla): svislý meridián je více lomivý než horizontální
Astigmatismus nepřímý (proti pravidlu): horizontální meridián je více lomivý než svislý

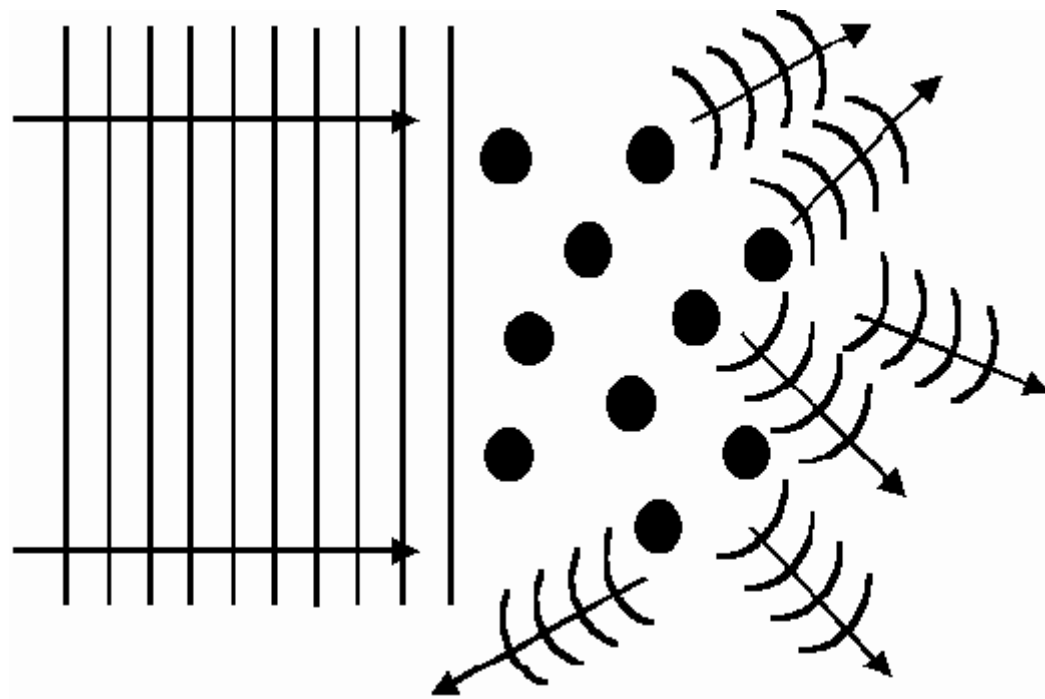


Další faktory ovlivňující kvalitu sítnicového obrazu

- ***Rozptyl světla*** v oku je vyvolán částicemi v ultrastruktuře optických médií, kdy jsou paprsky v opticky nehomogenním prostředí vychýleny ze své původní dráhy náhodným směrem (katarakta.rozmlžení obrazu, pokles kontrastní citlivosti, oslnění). Čočka ve věku 20 let rozptyluje asi 20% světla, v 60 letech je to již více než dvojnásobek.
- ***Absorpce světla-*** je selektivní dle vlnové délky a stárnutí čočky (modrá)

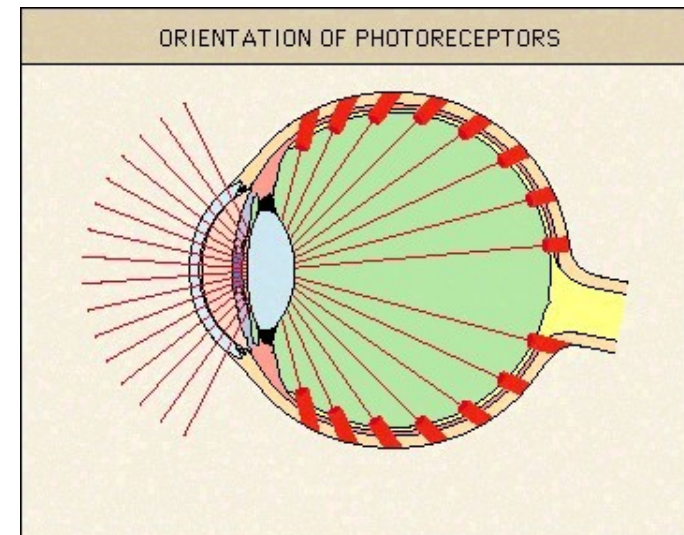
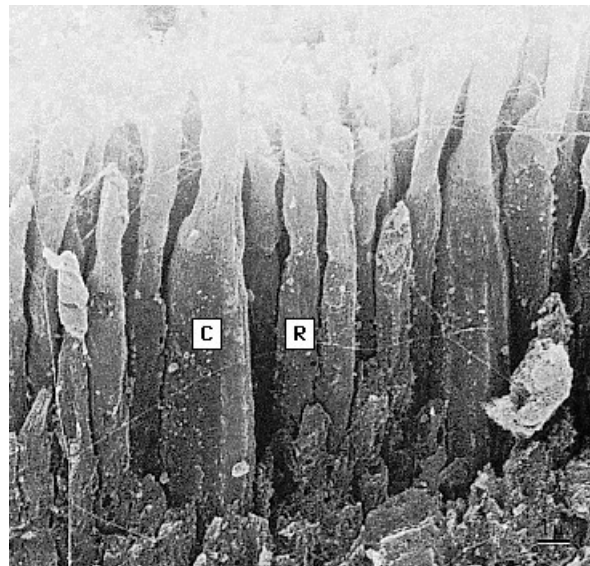


Rozptyl světla



Rozptyl světla

- Rohovka rozptyluje asi 10%, čočka mladých rozptyluje asi 20%, modré světlo je rozptylováno 16x intenzivněji než červené.
- Obranné mechanismy proti rozptylu světla:
 - žlutý pigment fovei (lutein) absorbuje rozptýlené modré světlo
 - orientace fotoreceptorů slouží jako vodítko světlu, které musí vstupovat pod určitým úhlem \Rightarrow primárně jsou zachycovány zaostřené paprsky a ne rozptýlené
 - hnědý pigment RPE a cévnatky absorbuje světlo, které prostoupí skrz sítnici a zamezí tak zpětnému rozptylu
 - víčka a obočí



Fyziologický kontrast

- **Kontrast** charakterizuje zrakový vjem. Závisí na rozdílu jasů (svítivosti) světlých a tmavých částí předmětu

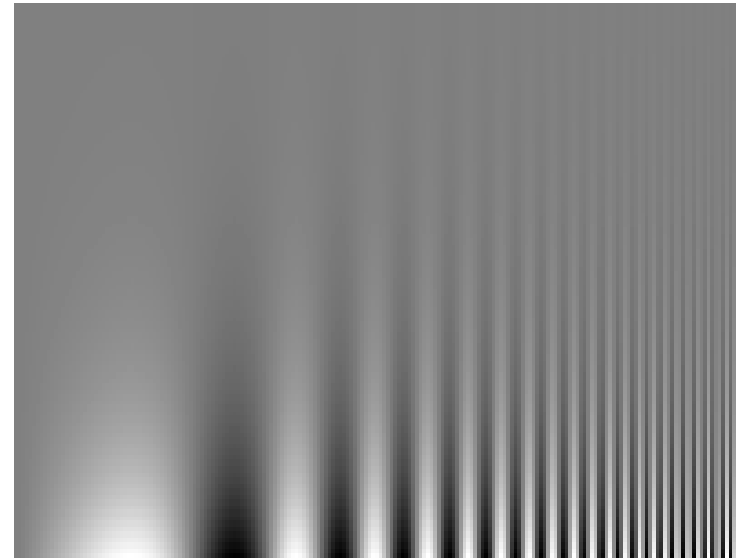
$$\text{Kontrast} = \frac{\text{jas předmětu} - \text{jas pozadí}}{\text{jas předmětu} + \text{jas pozadí}}$$

- **Kontrastní senzitivita** stanovuje prahovou hodnotu kontrastu pro každou velikost písma nebo pro vzor pruhů



Testy kontrastní citlivosti

Pelli - Robson

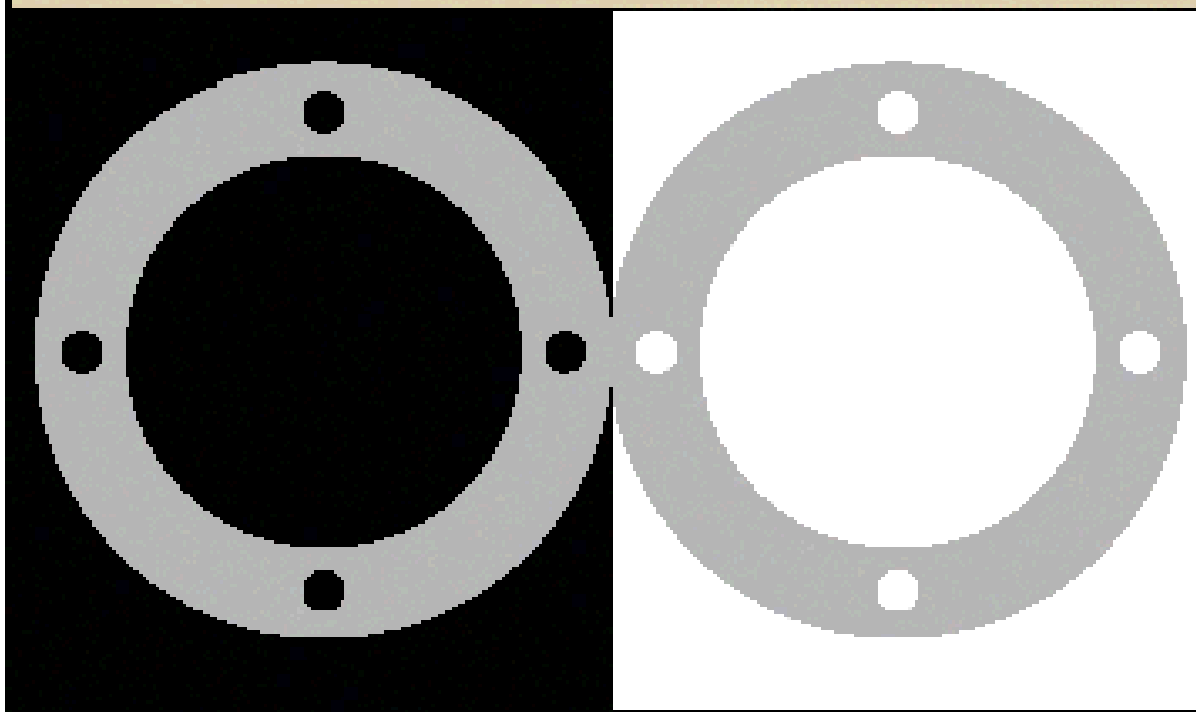


- ***Fyziologický kontrast*** - „zvýšení kontrastu mozkiem“
- ***Simultánní (současný) kontrast*** - subjektivní zrakový vjem při pozorování objektu závisí na pozadí daného předmětu. Př.: šedý kruh se na bílé ploše jeví tmavší a na tmavé ploše světlejší než by objektivně odpovídalo jím vysílanému světlu (*kontrast světlosti*). Šedý čtvereček je na žluté ploše namodralý (*barevný kontrast*).



Simultánní kontrast

EFFECT OF BRAIN'S CONTRAST ENHANCEMENT FUNCTION



Simultánní barevný kontrast

šedý čtvereček se jeví na žluté ploše namodralý



- ***Sukcesivní (následný) kontrast***

zrakový vjem závisí při pozorování objektu na tom, jaké světlo dopadalo na sítnici oka před pozorováním předmětu. V místě podráždění sítnice zůstává přetrvávající změna (stopa).







Zraková ostrost

- 1679 Hook: „Pro zvířecí oko je obtížné rozeznat úhel menší než $1''$. Myšlenka, že minimální vzdálenost mezi dvěma bodovými zdroji světla by mohla být měřítkem zrakového výkonu.
- J.E.Purkyně; T.Young - počátkem 19. stol. používali písmena o různé velikosti, aby „posoudili rozsah schopnosti rozlišovat objekty, které jsou pro dokonalé vidění vzdálené příliš blízko nebo příliš daleko“
- Prof. Herman Snellen, Utrecht 1863 - zavedl testovací optotypy na základě srovnání zrakové ostrosti pacienta se zrakovou ostroostí svého asistenta – Snellenovy optotypy



Zraková ostrost, principy konstrukce optotypů

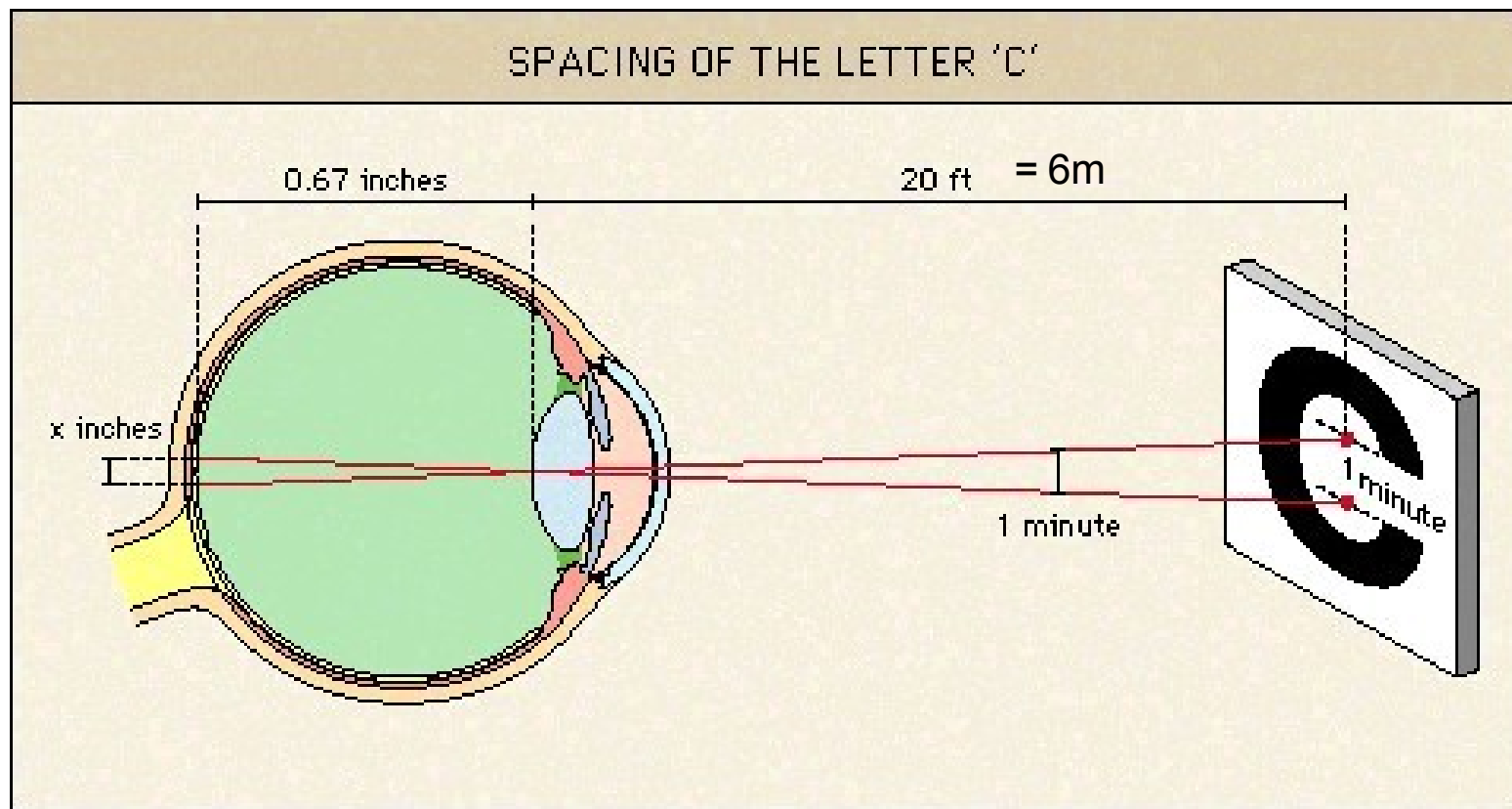
- **Minimum separabile** – práh pro rozlišení dvou bodů jako dva
- **Minimum cognibile** – práh pro rozlišení známého symbolu či znaku (rozlišitelnost tvaru)
- **Minimum legibile** - práh vnímání pro pochopení smyslu pojmu (čitelnost slov, textu)



- **Rozlišovací schopnost oka** je nejčastěji definována jako ***minimum separabile*** = minimální vzdálenost dvou bodů v prostoru, které v určité vzdálenosti oko rozezná. Jde o hodnotu úhlu v uzlovém bodu oka, pod kterým dopadá obraz těchto bodů na sítnici.
- **Visus** = převrácená hodnota tohoto úhlu (v úhlových minutách) $V = 1/MUR \rightarrow$ úhlová rozlišovací schopnost oka
- **Předpoklad:** - zdravý jedinec rozpozná detail o velikosti 1 úhlová minuta.
 - retinální omezení



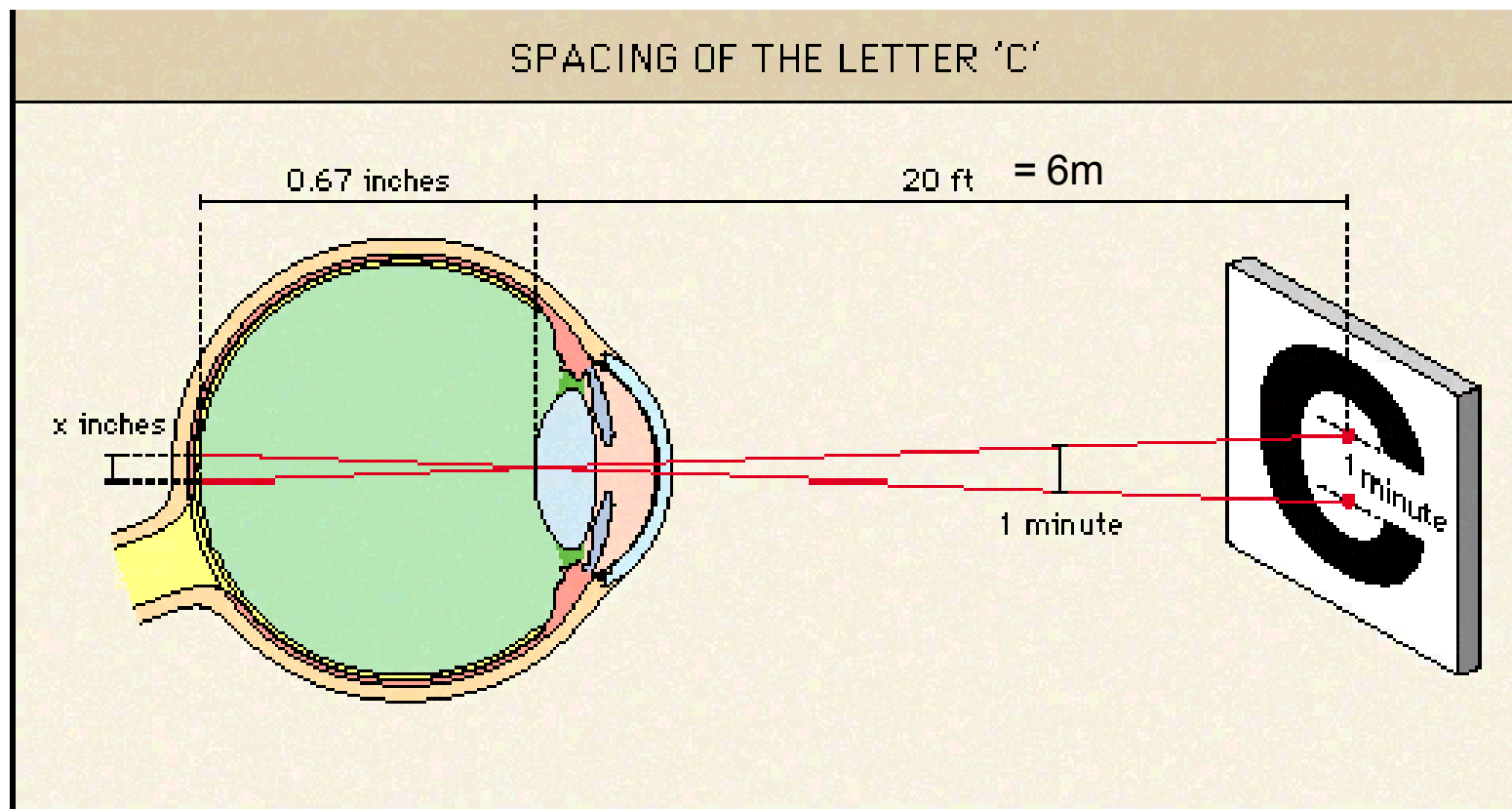
Kritický detail testového znaku je nahlížen pod úhlem 1 min.



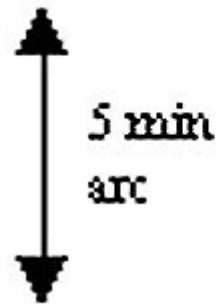
- **Visus** je udáván jako poměr vzdálenosti, ze které je znak optotypu ještě rozeznán, ku vzdálenosti, ze které by při hodnotě $V=1$ musel být ještě rozeznán. V čitateli je uvedena zkušební vzdálenost (6m) a ve jmenovateli vzdálenost, ze které by se mělo pozorovateli jevit kritérium znaku přibližně pod úhlem 1
- **Weber-Fechnerův zákon:** podnět musí růst logaritmicky, aby docházelo k lineárnímu vjemu



Snellenovy optotypy vyšetřovací vzdálenost je 6m (akomodační klid). Kritický detail pro rozlišení písmene dopadá pod úhlem 1', celé písmeno má úhlovou výšku 5' - pro visus 6/6.



5 úhlových
minut



5 min
arc



1 min of arc

1 úhlová minuta



5 min arc

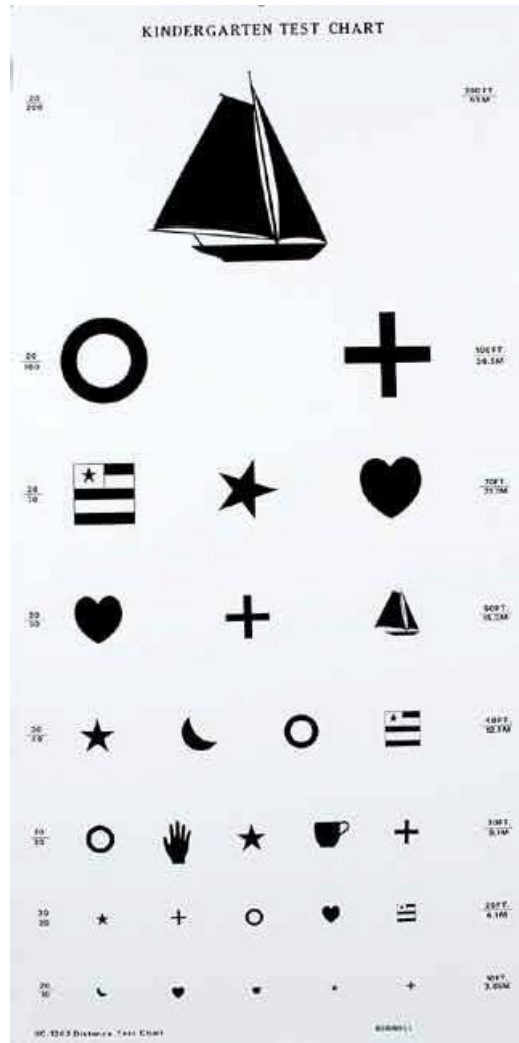
5 úhlových minut



Nedostatky Snellenových optotypů

- **Počet písmen na řádku není konstantní (chybové skóre)**
- **Není pravidelná progrese změny velikosti písmen mezi řádky optotypů (není zohledněn Weber – Fechnerův zákon)**
- **Identifikace různých písmen stejné velikosti je různě obtížná (různé minimum cognibile)**
- **Vysokokontrastní písmena nereprezentují kontrastní situaci běžného života – nevypovídají o každodenní použitelnosti vizu**





ETDRS tabule

Lighthouse Near Visual Acuity Test (SECOND EDITION)
MODIFIED ETDRS WITH SLOAN LETTERS
For Testing at 40 cm (16 inches)

Letter Size (metric)	Chart 2			
	Snellen Distance Equivalent		Diopters of Add For 1 M	
	at 40 cm	at 20 cm	at 20 cm	at 20 cm
9.0 M	20/400	20D	20/200	40D
8.3 M	20/320	15D	20/160	30D
6.0 M	20/250	12D	20/100	25D
4.0 M	20/200	10D	20/100	20D
3.2 M	20/160	8D	20/80	15D
2.5 M	20/125	6D	20/63	12D
2.0 M	20/100	5D	20/50	10D
1.8 M	20/90	4D	20/45	8D
1.25 M	20/63	3D	20/32	6D
1.0 M	20/50	2.5D	20/25	5D
.8 M	20/40		20/20	4D
.6 M	20/32		20/16	3D
.5 M	20/25		20/12.5	2.5D
.4 M	20/20		20/10	
.3 M	20/16		20/8	



LIGHTHOUSE
38-20 NORTHERN BLVD.
LONG ISLAND CITY, NY 11101

Cat. No. C170



Optotypy s uplatněním logaritmické řady (tabule log MÚR)

- Odstupňování velikosti znaků mezi řádky je identické (ekvidistální). Velikost znaků se liší řádek od řádku o faktor $0,1 \log$ jednotek (je v souladu s Weber – Fechnerovým zákonem)
- Stejná čitelnost písmen či Landoltových prstenců
- stejný počet písmen na řádku = stejné chybové skóre všech řádků



H V Z D S

N C V K D

C Z S H N

O N V S R

K D N R O

Z K C S V

D V O H C

O H V C K

H Z C K D

H Z C K D

H Z C K D

H Z C K D

H Z C K D

H Z C K D

H Z C K D

H Z C K D

H Z C K D

H Z C K D

H Z C K D

H Z C K D

H Z C K D



Vidění do blízka

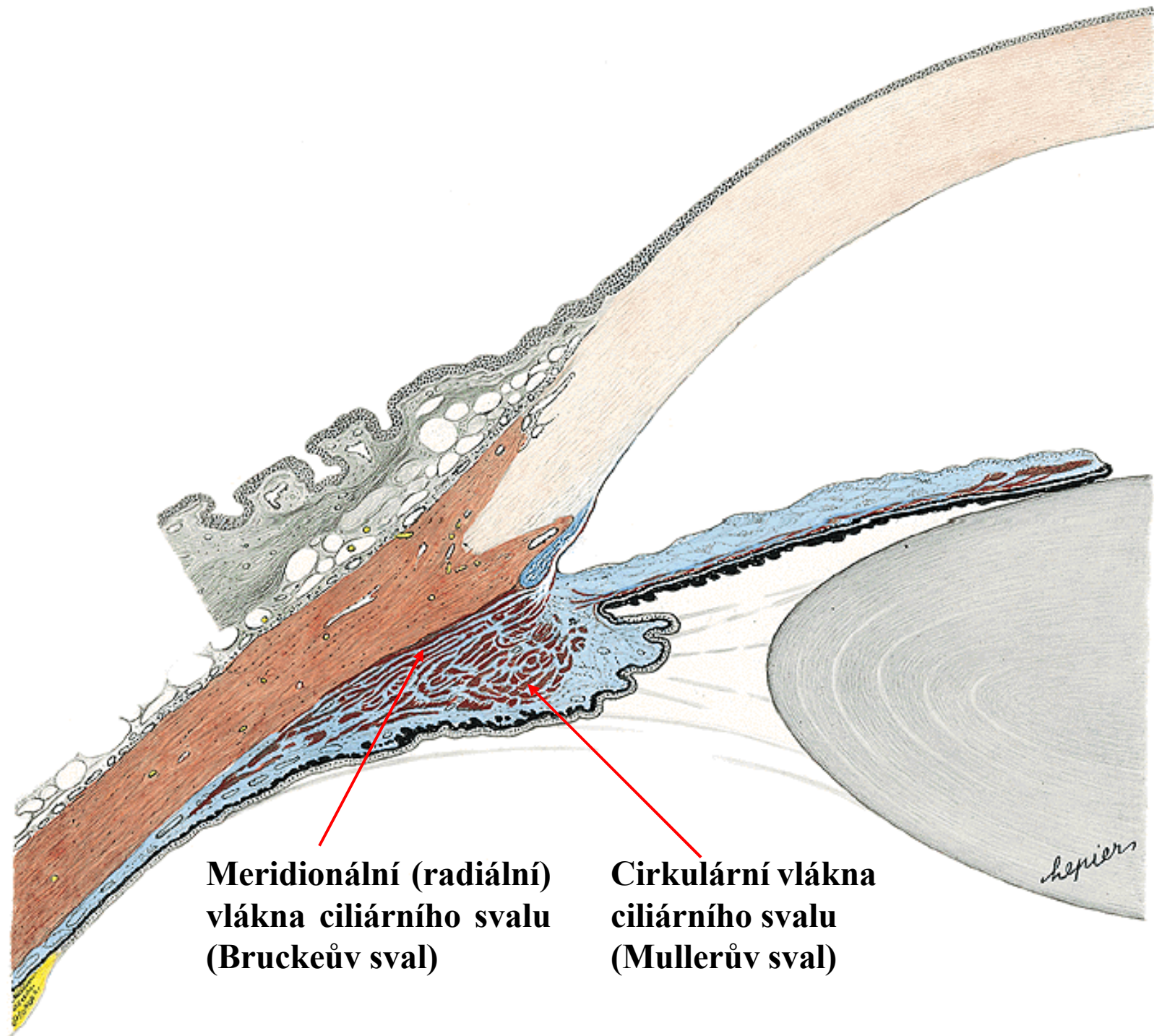
- Hodnotíme schopnost číst (**minimum legibile**) a vykonávat práci s jemnými detaily
- **Jägrovovy tabulky** se souvislým tištěným textem. Odstavce jsou vytištěny v různé velikosti písma a jsou označeny pořadovými čísly.
- Existují optotypy pro visus do blízka obdobné ETDRS tabulím či tabulím s Landoltovými kruhy do dálky (Priegel test zrakové kapacity pro jemné detaily)



Akomodace

- **Akomodace** – schopnost oka vidět ostře předměty na různou vzdálenost.
- Stah cirkulárních vláken ciliárního svalu (Mullerův sval; parasymphaticus) ⇒ uvolnění závěsného aparátu čočky ⇒ díky elasticitě a plasticitě čočky dochází k jejímu vyklenutí a snad i posunu více lomivých čočkových lamel do optické osy (**nitročočkový = vnitřní akomodační mechanismus**). Na vyklenutí čočky se podílí i tlak sklivce na ekvátor čočky

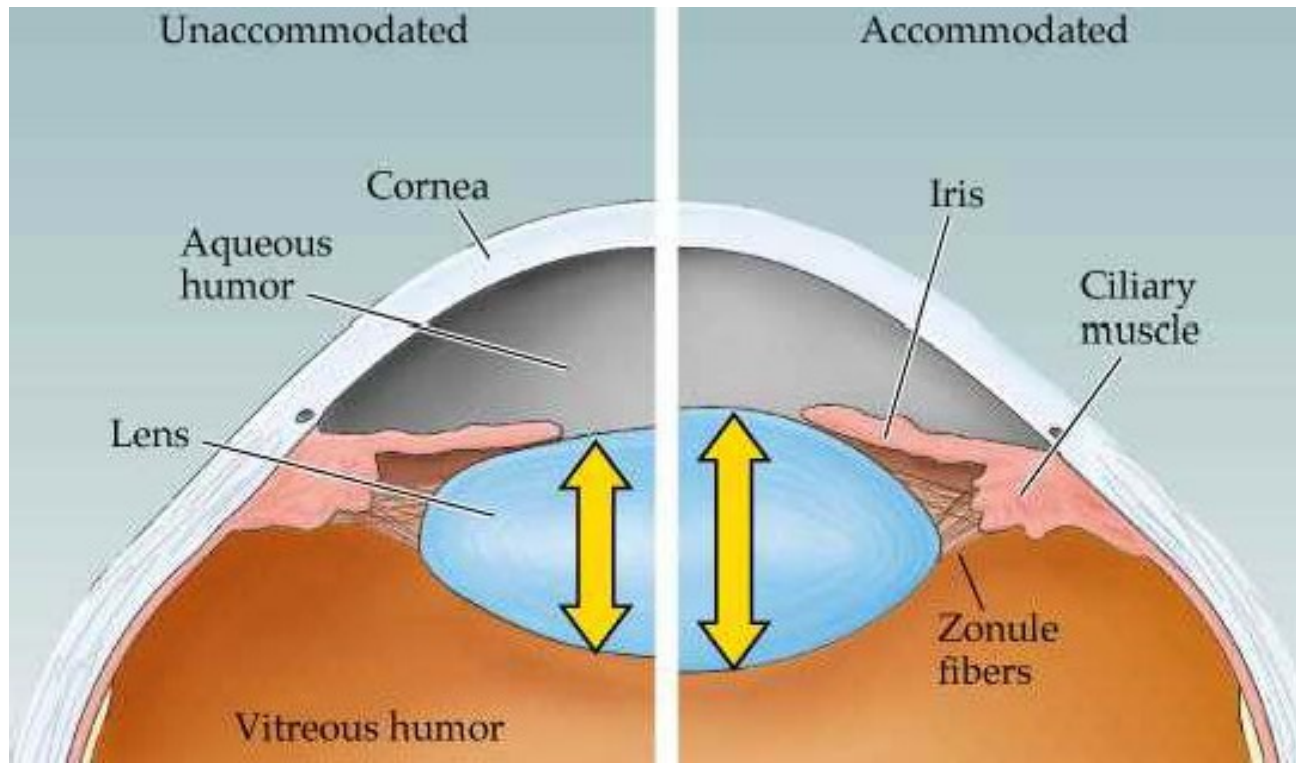




**Meridionální (radiální)
vlákna ciliárního svalu
(Bruckeův sval)**

**Cirkulární vlákna
ciliárního svalu
(Mullerův sval)**





Akomodace

- **Akomodace pro vidění do dálky** – je aktivní pochod - stah meridionálních (radiálních) vláken ciliárního svalu (Bruckeův sval; sympaticus) \Rightarrow zvýšení napětí zonulárních vláken
- **Fyzikální akomodace** - je zajištěna elasticitou čočky (fyzikální deformací čočky) - měří se v Dpt. Po 65 roce věku již čočka svůj tvar při relaxaci zonul nemění
- **Fyziologická akomodace** - je zajištěna činností ciliárního svalu - měří se v myodiotriích (kontrakce svalu potřebná ke zvýšení refrakce čočky o Dpt)



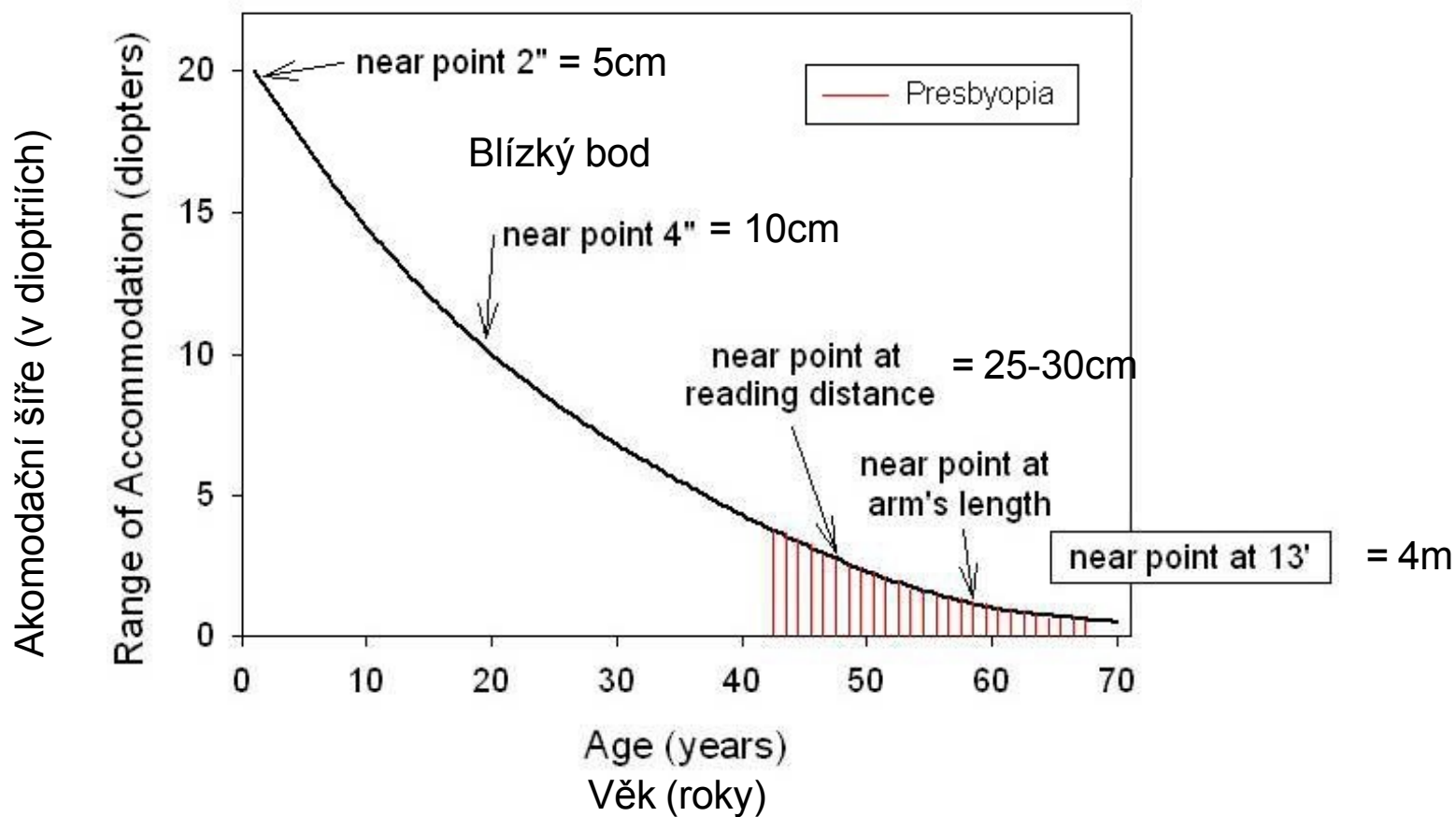
- **Daleký bod (*punctum remotum*)** - je nejvzdálenější bod, který ještě jasně vidíme v relaxovaném stavu (u emetropa v nekonečnu)
- **Blízký bod (*punctum proximum*)** - je nejbližší bod, který vidíme ostře při maximální akomodaci (Princeovo pravítko; akomodometr dle Monjého; bod rozmlžení textu)
- **Akomodační oblast (*interval*)** - je vzdálenost mezi dalekým a blízkým bodem a je mírou využitelnosti akomodace. Jedná se o rozmezí, ve kterém vidí oko jednotlivé body ostře.



- **Statická refrakce** = lomivost oka bez akomodace
- **Dynamická refrakce** = lomivost oka změněná maximální akomodací
- **Akomodační šíře** - je mírou akomodační schopnosti oka a vyjadřuje největší možný přírůstek optické mohutnosti oka podmíněný akomodací (v dioptriích). Je to rozdíl maximální dynamické refrakce a refrakce statické. Rovná se rozdílu převrácených hodnot blízkého a dalekého bodu (v metrech). Je-li daleký bod (r) v nekonečnu: $1/r = 0$, je-li blízký bod (p) $10\text{cm} = 0,1\text{m}$, pak $1/p = 10\text{Dpt}$



Akomodační šíře a věk



- **Presbyopie** = stařecká vetchozrakost představuje fyziologický úbytek akomodační šíře s věkem (snižuje se elasticita a plasticita čočky a akceschopnost ciliárního svalu). Dochází k posunu blízkého bodu směrem od oka.
- **Akomodační astenopie** - bolesti hlavy, slzení, pálení očí při zrakové práci do blízka. Nedochází k ní, pokud se využívá pouze 2/3 maximální akomodace a 1/3 akomodace zůstává jako rezerva.



- **Akomodační exces** - u mladých myopů po dlouhém čtení \Rightarrow arteficiální myopizace a exces konvergence
- **Akomodační spasmus** -u hypermetropů ze snahy překonat refrakční vadu \Rightarrow arteficiální myopizace a makropsie
- **Insuficience akomodace** - neefektivní akomodační úsilí \Rightarrow exces konvergence
- **Obrna akomodace** - (cykloplegie, úraz oka, trauma či infekce CNS, DM) + mydriáza (z obrny parasymptiku = **ophthalmoplegia interna**. Obrna n. III
- **Akomodativní strabismus** - nepoměr mezi AC/A u hypermetropie



Konvergence

- *Konvergence* – rotace obou očí směrem dovnitř.
- *Akomodačně konvergenční reflex*
akomodace je reflexně spjata s konvergencí (aby se při pohledu do blízka zachovala projekce předmětu do fovei) a zúžením zornic (omezení sférické aberace čočky).
- *Volní konvergence*
- *Reflexní konvergence*



Dělení reflexní konvergence

- ***Tonická konvergence*** – udržuje klidové postavení očí na základě impulzů z mozkové kůry. Je dána základním tonem MRI u očí v primárním postavení. Jde o konvergenci, která je zapotřebí v bdělém stavu k rovnoběžnému postavení očí (ve spánku se oči stáčí nahoru a zevně).
- ***Akomodační konvergence*** je vyvolána akomodací (akomodace je podnětem ke konvergenci) = AC. 1Dpt akomodace připadá na 3,5-4 pDpt konvergence



Dělení reflexní konvergence

- ***Fúzní konvergence*** – doplňuje akomodační konvergenci a upravuje osy vidění tak, aby byla možná fúze
- ***Proximální (psychologická) konvergence*** je psychogenně podmíněna vědomím blízkého bodu (je navozena smyslem pro vzdálenost předmětu).



Konvergence

- **Blízký bod konvergence** – je nejmenší vzdálenost předmětu před očima, ve kterém tento ještě vidíme jednoduše (ne dvojitě). Jedná se o měřítko výkonnosti konvergence (asi 8cm u dospělých; 5cm u dětí). **Konvergometr** - bod rozdvojení.
- **Metrový úhel** je jednotkou konvergence = úhel, který spolu svírají obě oči při fixaci předmětu vzdáleného 1m. Normální šíře konvergence bývá 10,5 m.ú.



Poruchy konvergence

- *Insuficience konvergence* (exoforie na blízký bod) – nedostatečná akomodační konvergence
- *Exces konvergence* (esoforie na blízko)
- *Insuficience divergence* (esoforie na dálku)
- *Exces divergence* (exoforie na dálku)



Zorné pole

- **Zorné pole** je ona část prostoru, které oko přehledne při fixování pohledu přímo vpřed.
- **Normální rozsah** zorného pole je temporálně 90-100 , nasálně a nahoře 60 , dole 70 .
Rozsah zorného pole je limitován očnicí, nosem, víčky.
- **Centrální zorné pole** slouží k ostrému vidění a k vidění barev (čípky)
- **Periferní zorné pole** slouží k orientaci v prostoru a ve tmě a je barvoslepé (tyčinky)
Nejdříve vnímá oko v zorném poli pohyb, potom postupně bílou, modrou, červenou a zelenou barvu



Perimetrie

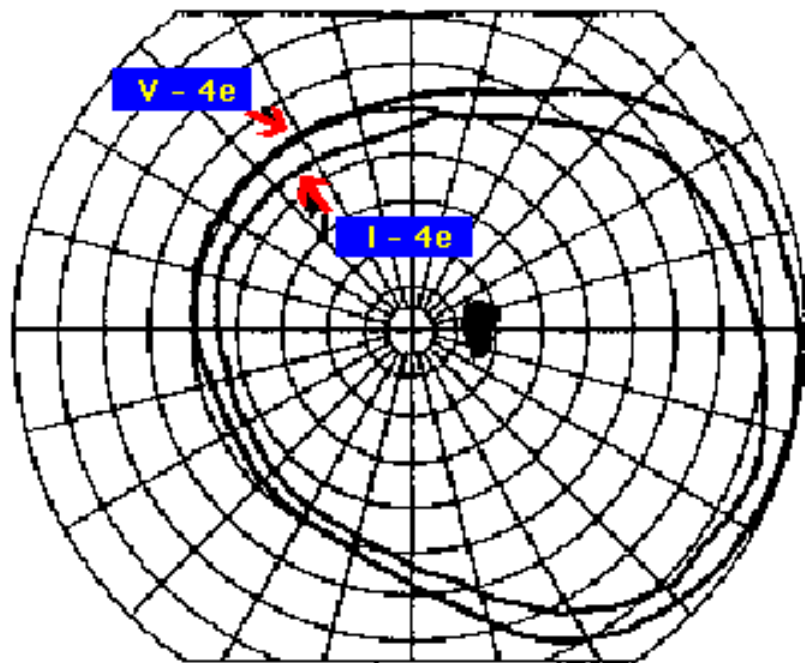
- **Kinetická (isopterová) perimetrie** vyšetřovaný fixuje centrální značku. Lékař pohybuje po oblouku v různých meridiánech z periferie do centra značkou (bílou, barevnými) a zaznamenejme okamžik, kdy pacient rozezná pohyb bílé značky nebo barvu a dále místa, kde „mu značka zmizí“. Spojením těchto bodů získáme izoptéru (vrstevnici) = místa na sítnici se stejným prahem citlivosti. Zjistíme rozsah zorného pole a výpadky v zorném poli = skotomy.



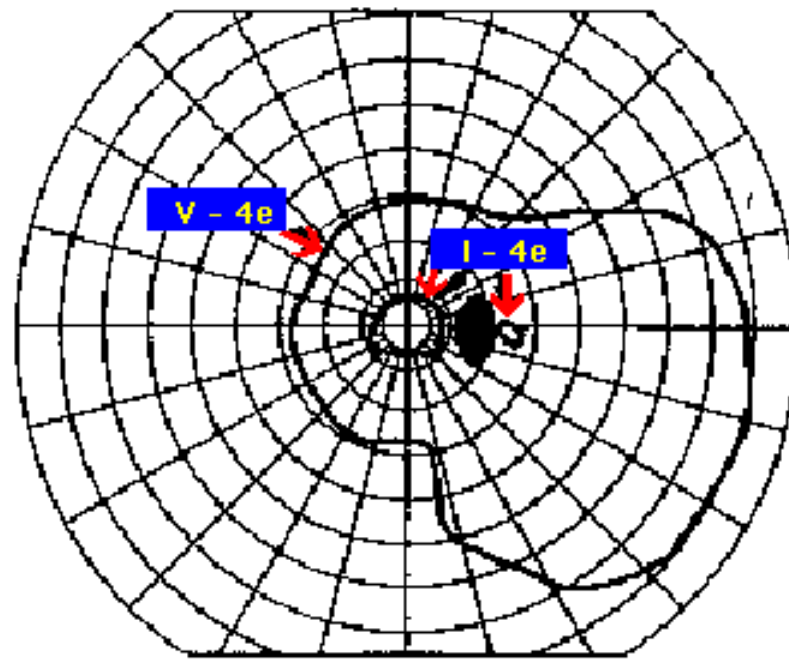
Goldmannův kulový kinetický perimetr



Normal



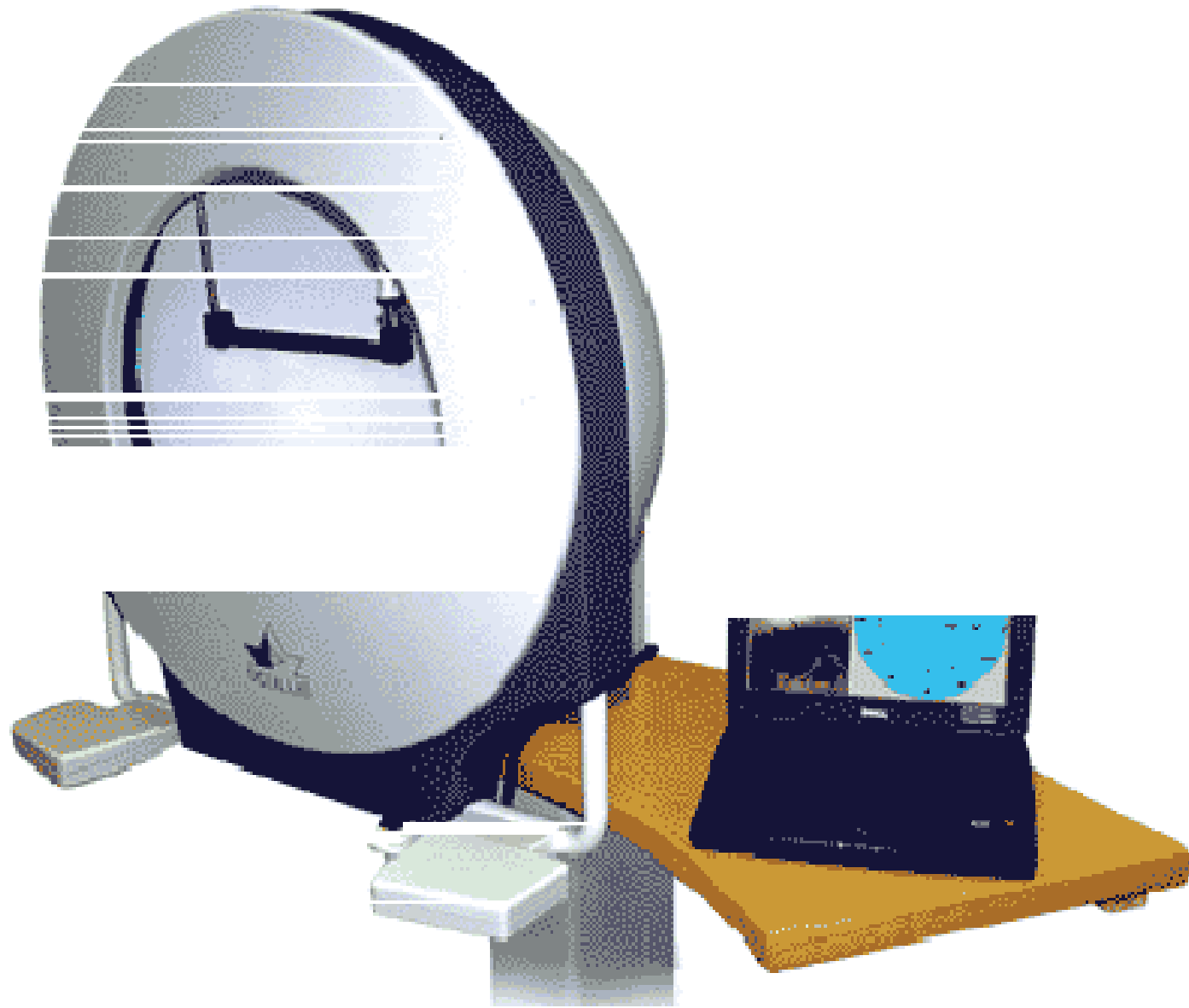
Patient



Perimetrie

- **Statická perimetrie** používá stacionární stimul proměnné intenzity (světelný bod). Zaznamenáváme prahovou intenzitu světelného stimulu v daném místě sítnice, kdy pacient ohlásí vjem. Zjišťujeme kvantitativní změny zorného pole - velikost, tvar a hloubku defektů (skotomů) zorného pole + hranice.
- **Mariottův bod** - fyziologický skotom - slepá skvrna. Odpovídá projekci terče zrakového nervu do prostoru (15° od bodu fixace)





Perimetrie

- **Skotomy** - výpadky v zorném poli
 - absolutní skotomy - týkají se všech kvalit vidění (barva, intenzita, pohyb)
 - relativní skotomy - týkají se jen některých podnětů (např. málo intenzivních.)
 - pozitivní skotom - pacient si výpad uvědomuje jako skvrnu v zorném poli
 - negativní skotom - výpad si neuvědomuje (Mariott)
- **Bjerrumův skotom** (glaukom), **hemianopsie** (adenom hypofýzy), **koncentrické zúžení zorného pole** (pigmentová degenerace sítnice), **centrální skotom** (neuritida n. II) ...



Základní světelné jednotky

- **Světelný tok** je podíl světelné energie, která projde danou plochou v okolí zdroje světla za jednotku času - $\Phi = \Delta E_s / \Delta t$ (**lumen**)
- **Svítivost** zdroje je dána podílem světelného toku vyzářeného zdrojem do prostorového úhlu $I = \Delta \Phi / \Delta \Omega$ (**kandela**) {např. plamen parafínové svíčky má svítivost asi 1cd}
- **Intenzita osvětlení** v daném bodě plochy je podíl světelného toku dopadajícího na jednotku této plochy $E_0 = \Delta \Phi / \Delta S$ (**lux**). Slunný letní den v poledne - 100 000 luxů, ve stínu 10 000 luxů, úplněk v noci 0,2 lux



Barvocit – historický přehled

Barva je do jisté míry předmětem zájmu jak *filozofie* tak i *vědy*. Teorií barev a barevného vidění se zabývali jak vědci, tak i význační filozofové

- Isaac Newton (1642-1727) prováděl pokusy s prismatickými čočkami, čímž převedl vědu o barvě ze zkoumání objektů ke zkoumání světla
- Johann Wolfgang von Goethe (1749-1832) – německý spisovatel, přírodovědec a filozof se intenzivně zabýval *vnímáním* barev a polemizoval s Newtonskou optikou – *Farbenlehre* (Nauka o barvách)



Barvocit – historický přehled

- Thomas Young (1773-1829) předložil teorii vnímání barev na základě existence tří druhů receptorů v sítnici, které jsou citlivé na různé oblasti světelného spektra.
- John Dalton (1766-1844) detailně popsal svou vlastní neschopnost rozpoznat červenou barvu – *Daltonismus* (= *barvoslepost* – tento termín zavedl později David Brewster). PCR analýza DNA, získané post mortem z jeho vlastního oka, prokázala, že šlo u Daltona o deuteranopii.



Barvocit – historický přehled

- Arthur Schopenhauer (1788-1860), německý filozof, metafyzický idealista, voluntarista a iracionalista, hlasatel pesimismu – *Svět jako vůle a představa* - pokračoval v práci Goetha a Immanuela Kanta.
- Joseph Antoine Ferdinand Plateau (1801-1883) studoval následné obrazy (afterimages) a míchání barev. Navrhl Talbot-Plateaův zákon vnímání intenzity barvy.



Barvocit – historický přehled

- Hermann Ludwig Ferdinand von Helmholtz (1821-1894) rozvinul teorii T.Younga – *Young-Helmholtzova hypotéza* a odvodil spektrální absorpční křivky tří fotoreceptorů.
- Herman Rudolf Aubert (1826-1892) prokázal, že vnímání barev je výrazně omezeno na foveolární oblast a v kontextu závisí na ostatních částech sítnice.
- James Clerk Maxwell (1831-1879) navrhl metody měření aditivního a subtrakčního míchání barev a dodnes užívaná klasifikační schémata

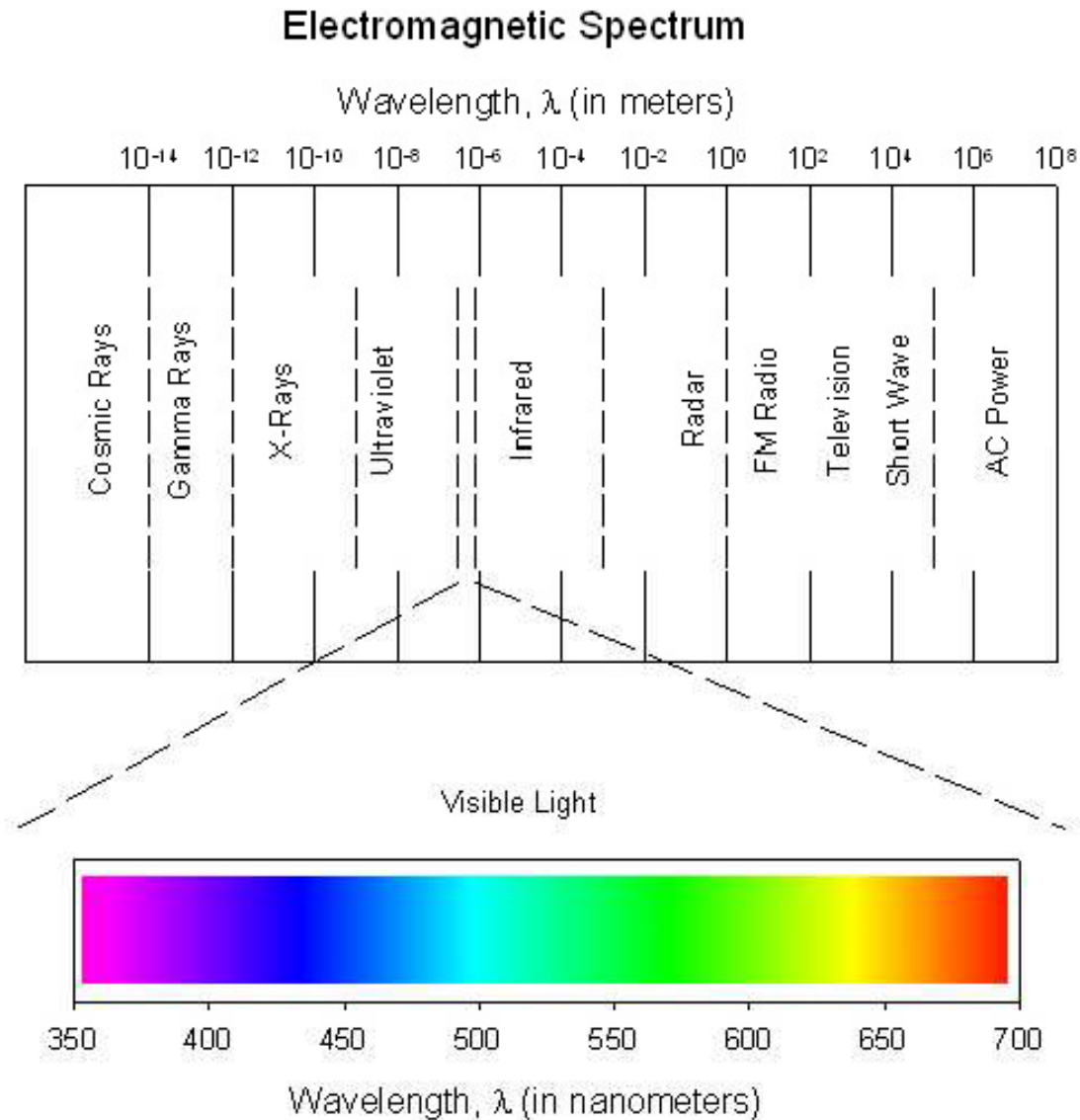


Barvocit

- Vnímání barev je schopnost rozlišit barvu pozorovaného předmětu = vlnovou délku té části spektra, které se od předmětu odráží nebo jím prochází.
- Oko je citlivé: 380 - 780nm
- Každá barva je charakterizována **fyzikálními pojmy** (definující charakteristiku světelného stimulu) a **subjektivním přívlastkem**, který se zabývá podstatou vnímání barvy člověkem.
- **Vlnová délka** světelného stimulu je jeho fyzikální charakteristika a jí odpovídá určitý **odstín barvy (barevný tón)** jako subjektivní vjem



Vlnová délka a barevný tón



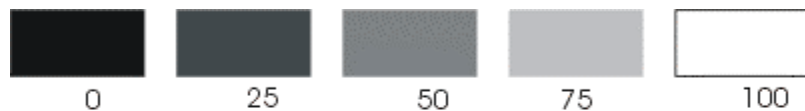
Sytost barvy

Sytost barvy znamená obsah bílé = množství bílého světla smíšeného s barvou. Udává se v % a jako fyzikální charakteristika jí odpovídá **čistota barvy**. S klesající sytostí je barva stále stejného tónu (stejně vlnové délky) stále bledší až se v přebytku bílé konečně ztratí. Bílá barva má 0 sytost. Všechny spektrální barvy mají 100% sytost.

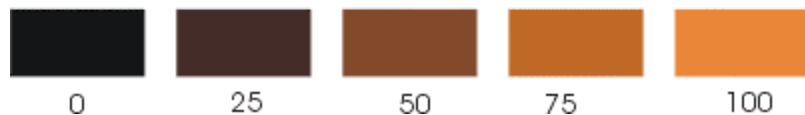


Jasnost barvy

Světelnost stimulu a **jas barvy** vystihuje intenzitu zrakového počítku. Lze ji charakterizovat přiřazením dané barvy ke stejné světlé šedé ploše bez barevného tónu. Bílá nebo černá mohou být smíchány s kteroukoliv barvou, aby změnily její jas.



Změna jasu barvy neutrální (bez barevného tónu)



Změna jasu barvy chromatické

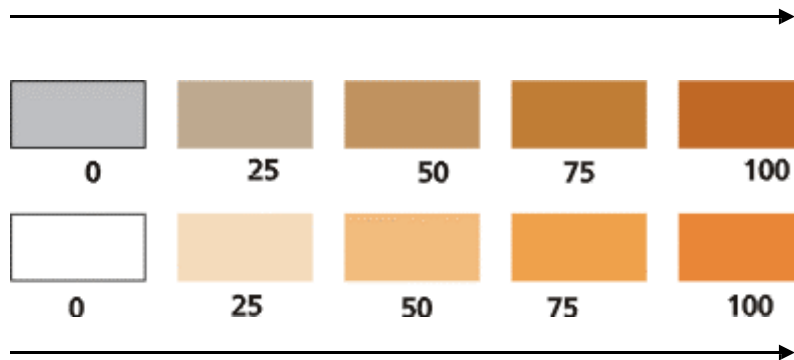
Jas vlastně popisuje vlastnost barvy podle měřítka „tmavá - světlá“



Jas barvy

Dvě barvy stejného odstínu (= stejné vlnové délky = stejného barevného tónu) a stejné sytosti se mohou lišit jasem v závislosti na jejich relativní příměsi bílé nebo černé.

Změna sytosti barvy, tentýž odstín, jas 75%

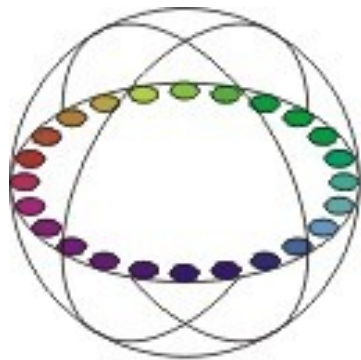


Barvy stejného odstínu a stejné sytosti lišící se jasem (75 a 100%)

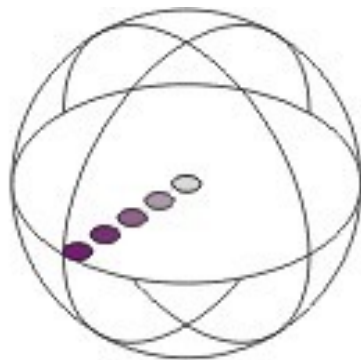
Změna sytosti barvy, tentýž odstín, jas 100%



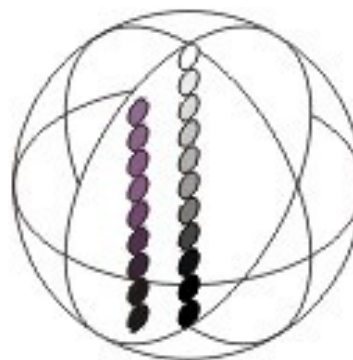
Barvy v modelu odstín - sytost - jas



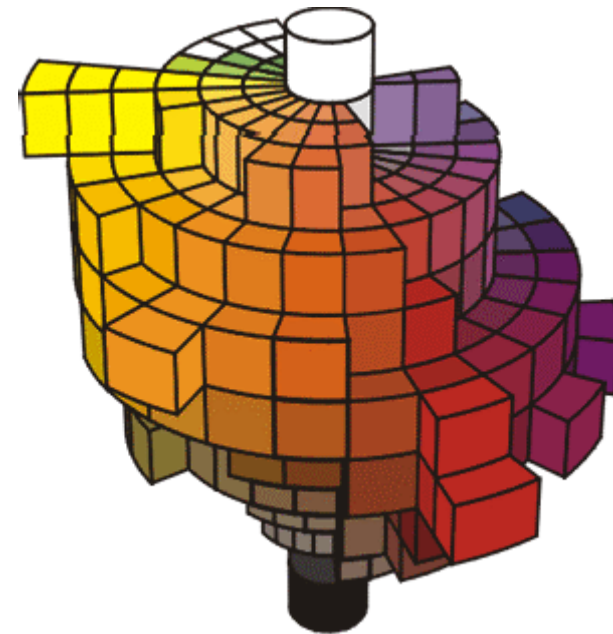
Odstín



Sytost



Jas



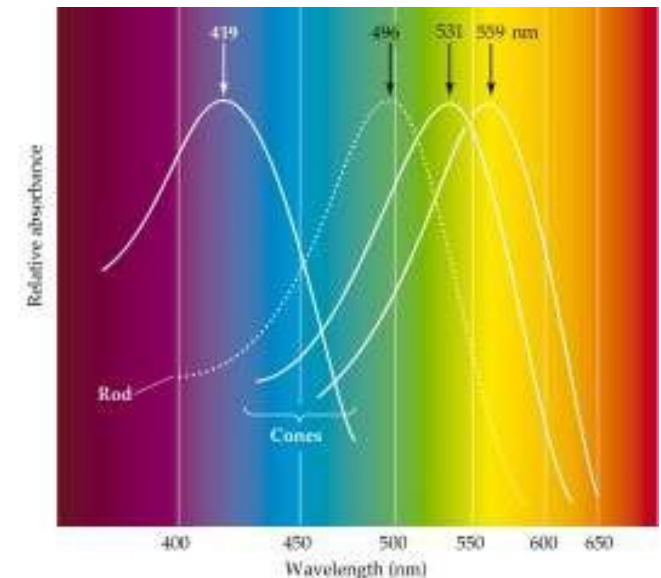
Barevné vidění

- **Sítnice** je místo, kde dochází ke kontaktu mezi světelnou energií a nervovým systémem. Dochází zde ve fotoreceptorech ke konverzi světelné energie na neurochemický signál.
- Oko odliší dva monochromatické světelné paprsky lišící se přibližně o 2nm, což umožňuje odlišit až 300 spektrálních barev.



Černobílé vidění

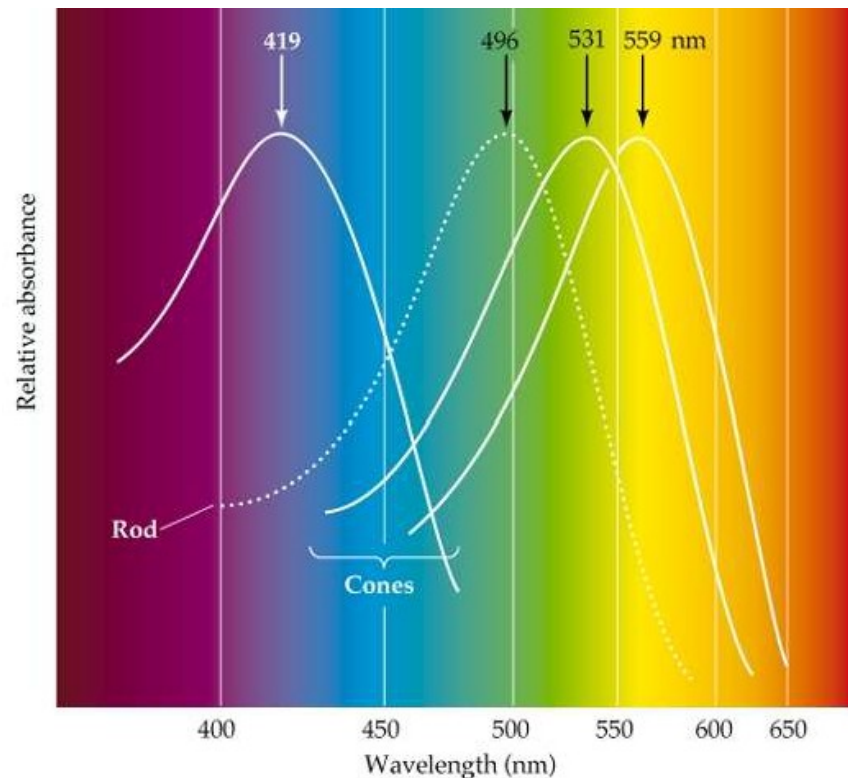
- Pro barevné vidění je zapotřebí jistá hladina osvětlení. Při poklesu osvětlení pod určitou hranici čípky již nereagují a oko nevnímá barvy - **skotopické pásmo vidění**. V něm přejímají funkci receptorů **tyčinky**.
- Ve foveole jsou jen čípky 🕒 při skotopickém vidění vzniká **centrální skotom** (není možné čtení, je orientace v prostoru).
- Je patrný posun maxima citlivosti sítnice k **495nm** (505nm) (nejvyšší senzitivita tyčinek)



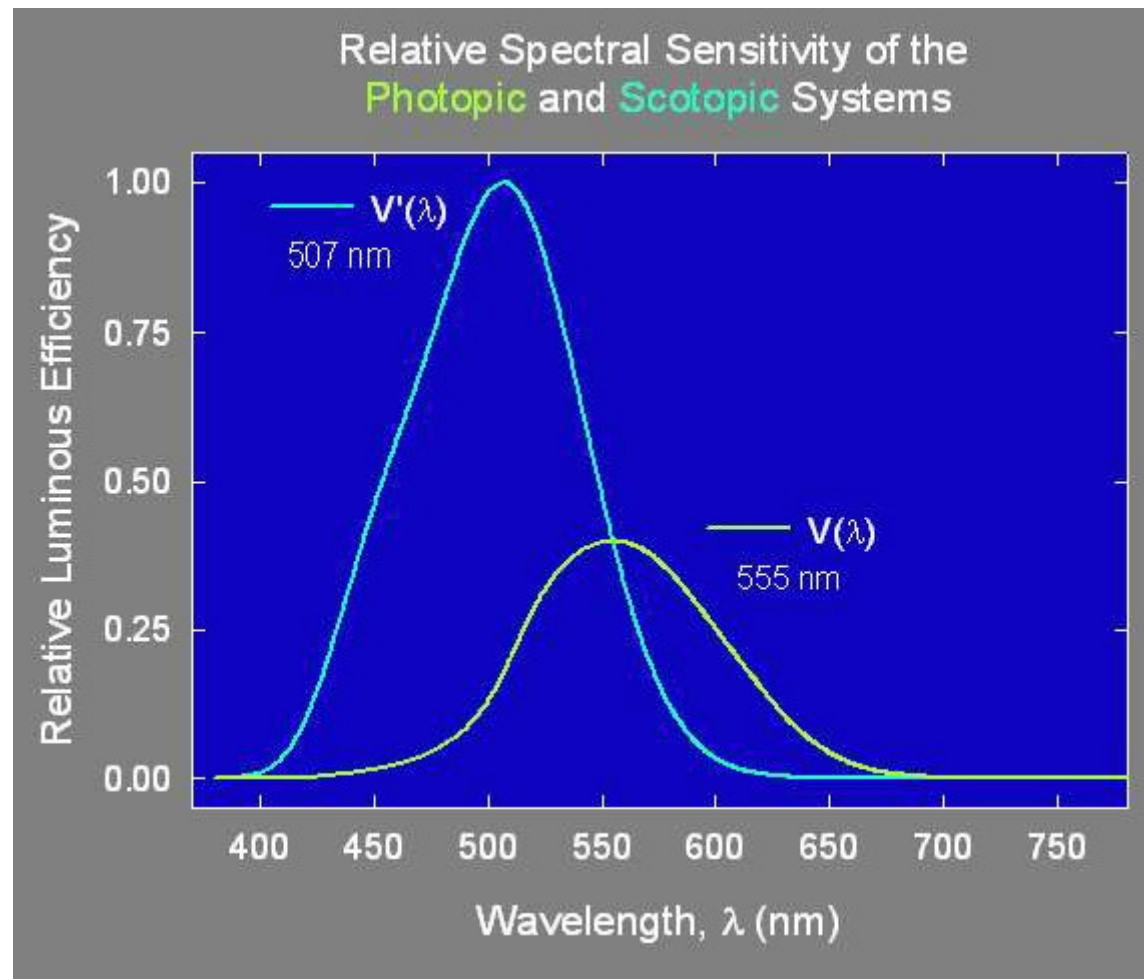
Pásmo vidění

- Pásmo, ve kterém převládá funkce čípků (za dobrého osvětlení) je **pásmo fotopické** - maximální citlivost sítnice je při 555nm.
- Úzké pásmo osvětlení, kde ještě fungují oba druhy receptorů je **pásmo mezopické**

Oko je nejcitlivější pro žlutozelenou barvu spektra (555nm), ve skotopickém pásmu je maximální citlivost pro modrozelenou barvu (495nm)



Graf relativní spektrální senzitivity skotopického a ftopického pásma vidění



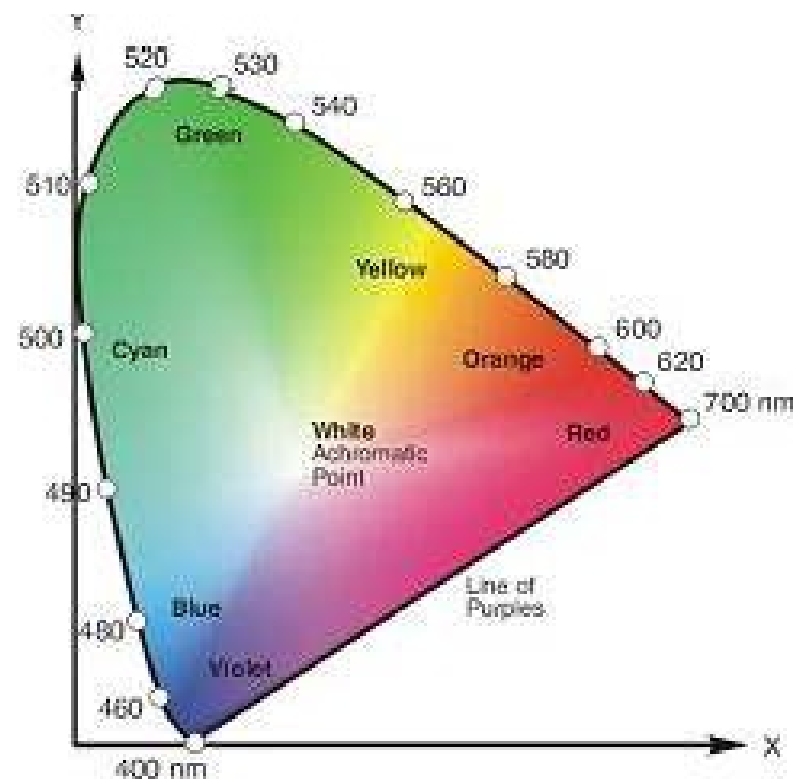
Mísení barev – trichromatická teorie

- Jakýkoliv barevný odstín lze získat smíšením tří **základních barev (additive primary colors)**: **červené**, **zelené** a **modré** (violet-blue) ve vhodných intenzitách ($B = \alpha\check{C} + \beta Z + \gamma M$). Bílé světlo vznikne smíšením základních tří barev ve stejném poměru
- Lze najít dvojici spektrálních barev, které dají smíšením vjem bílého světla = **komplementární (doplňkové) barvy**
- Trichromatická teorie barevného vidění je dána fyziologií sítnice, nejedná se o fyzikální vlastnost světla



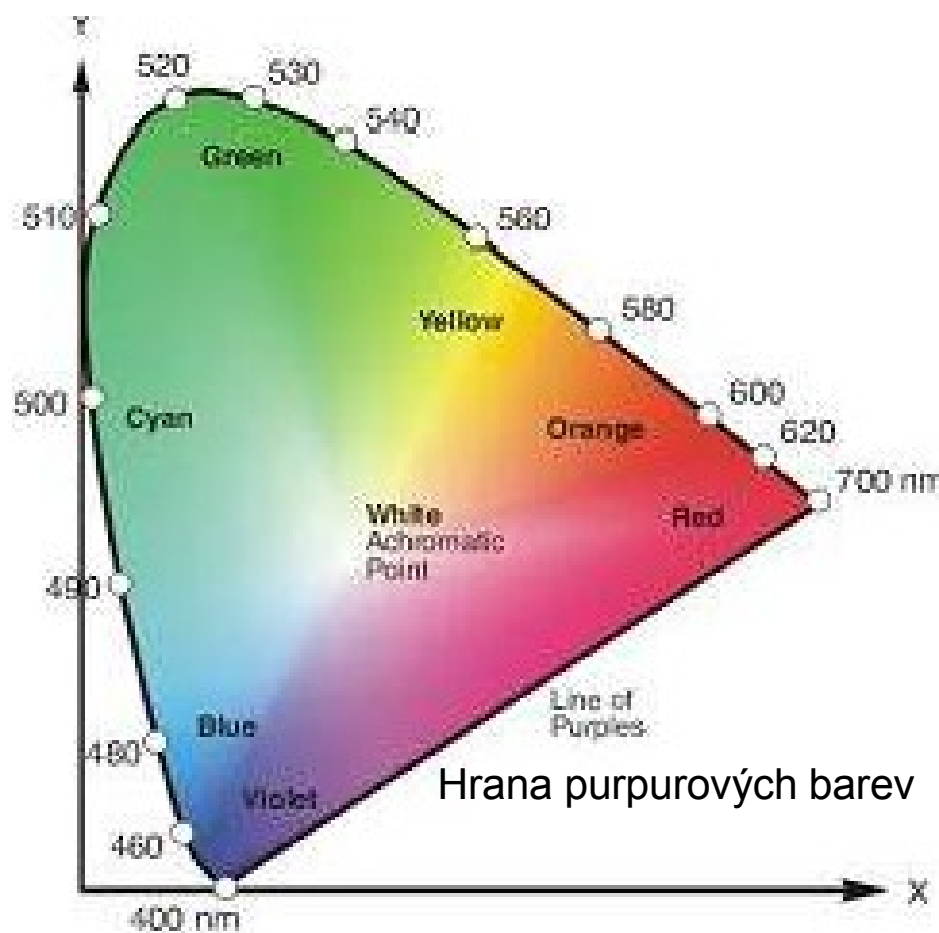
Heringův kruh

- Jde o diagram spektrálních oblastí pro mísení barev
- Podél obvodu kruhu jsou zaneseny „čisté“ spektrální barvy. Ostatní barvy (nespektrální) vznikají mísením různého podílu rozličných vlnových délek spektrálních barev.



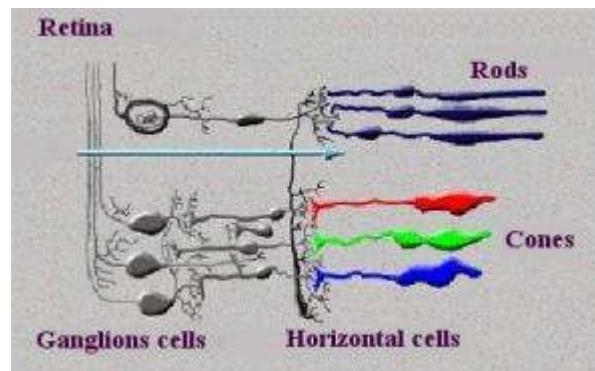
Heringův kruh

- Purpurovým barvám v dolní části kruhu nejsou přiřazeny vlnové délky – jedná se o barvy, které **nejsou spektrální** – mohou vzniknout pouze mísením vlnových délek z obou konců spektra (obdobně jako bílé světlo – v Heringově kruhu uprostřed).



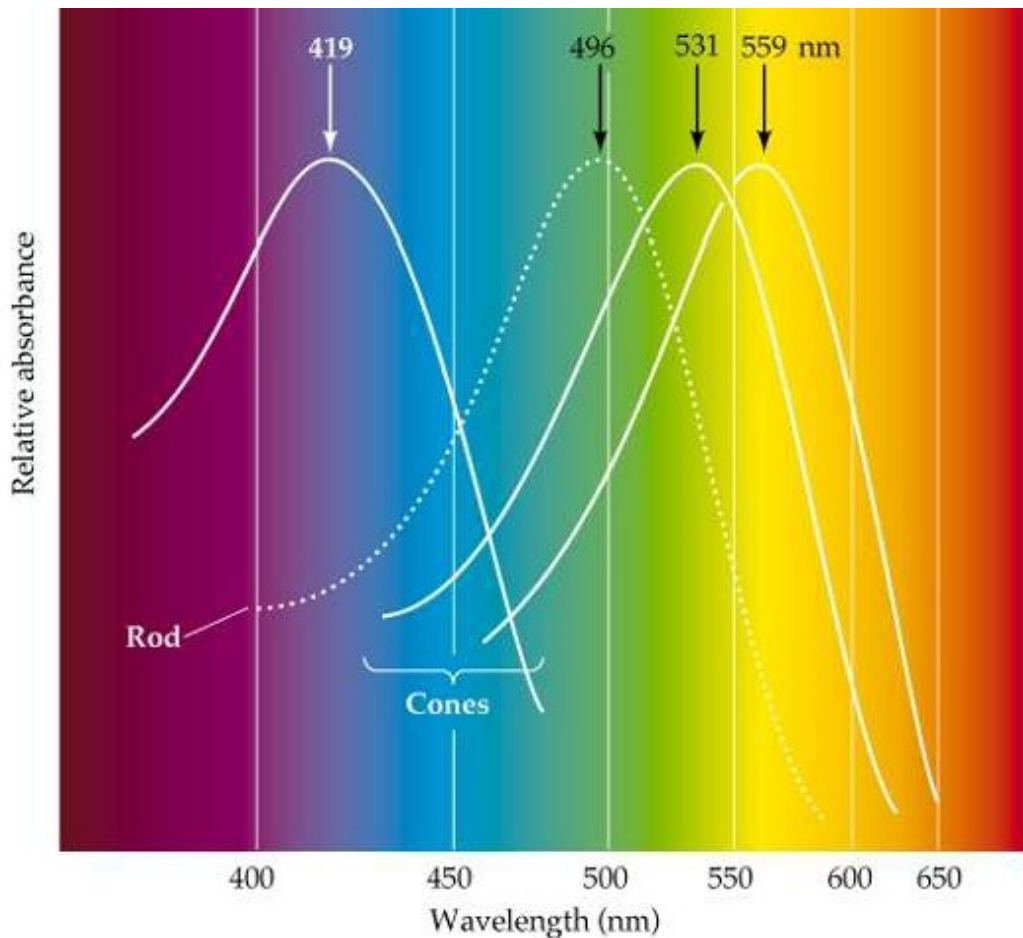
Young-Helmholtzova teorie barevného vidění

- Každou barvu spektra lze rozložit na určitý poměr tří základních (primárních) barev
- 🕒 existence tří typů receptorů v oku (každý pro jednu základní barvu).
- Existují tři ftopigmenty čípků (opsiny) s maximy absorpcí v oblasti modré = 419 nm, zelené = 531 nm a červené = 560 nm a rhodopsin tyčinek s absorpčním maximem 495nm



Typy čípků a tyčinek a jejich spektrální maxima

Absorpční maxima se liší, ale absorpční spektra se překrývají \Rightarrow na daný barevný stimul reaguje více či méně intenzivně jeden, kombinace dvou nebo tří typů čípků

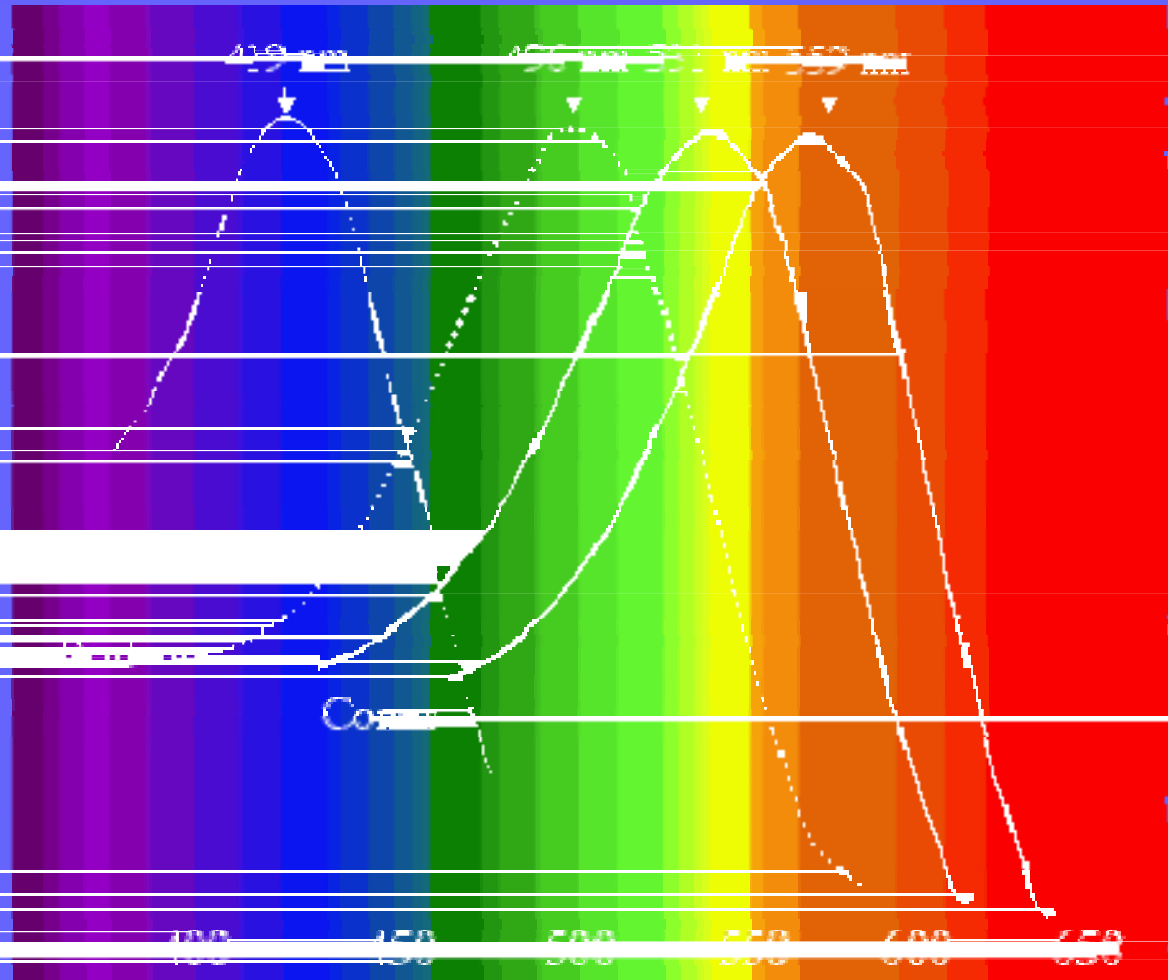


Color Vision

Cones provide color vision

Cones opsins:

Relative Absorbance



Wavelength (nm)



Zastoupení tří typů čípků není rovnoměrné. Nejméně čípků je v oblasti modré absorpce (S čípky), více v zelené (M čípky) a nejvíce v červené oblasti (L čípky) a to v poměru 1:16:32 (7%: 37%: 56%)

S čípky (S= short – senzitivita na krátké vlnové délky - modrou)

M čípky (M= middle – senzitivní na střední vlnové délky - zelenou)

L čípky (L= long – senzitivita na dlouhé vlnové délky – červenou)

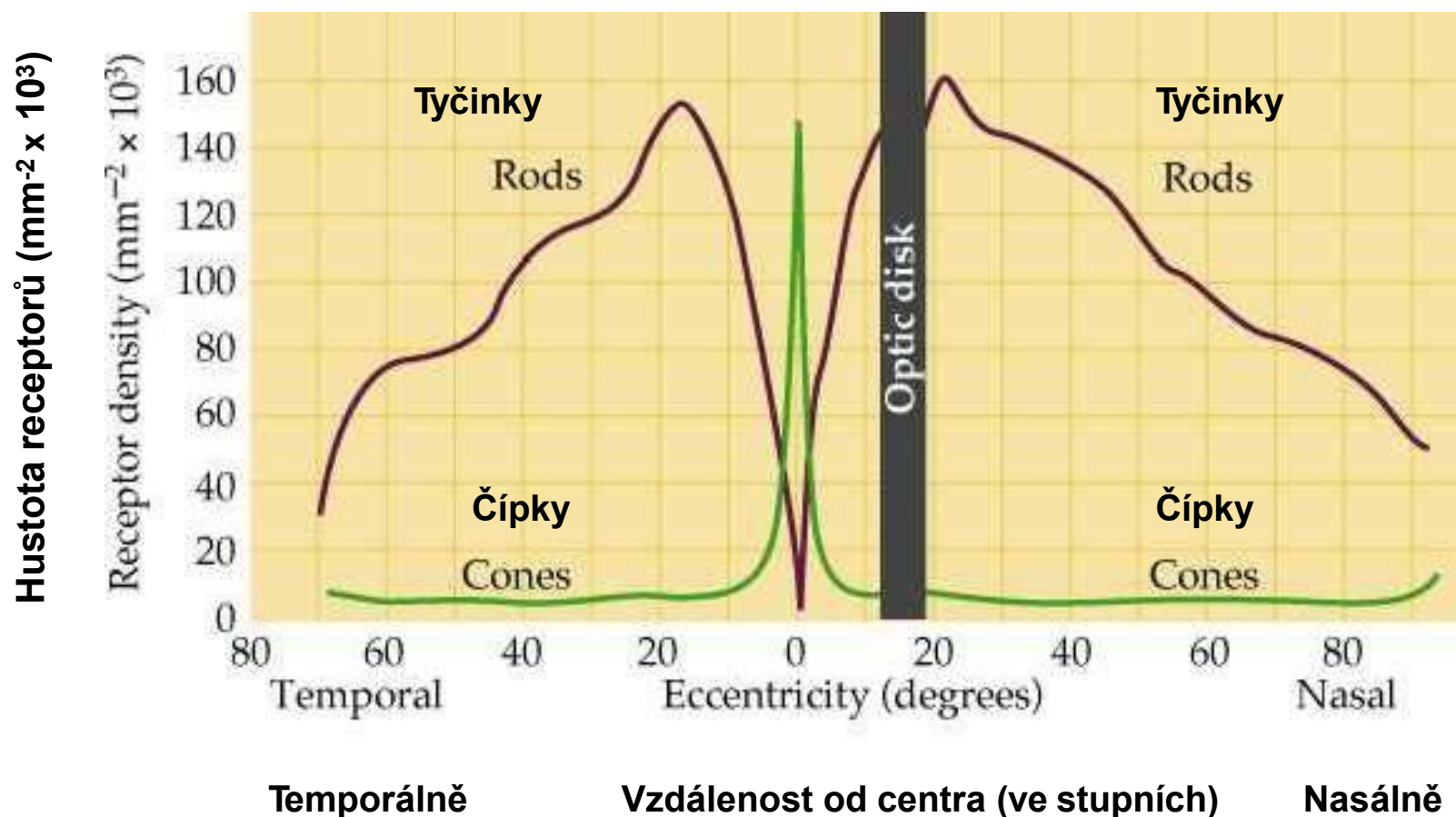


Kvalita barevného vjemu



- Kvalita barevného vnímání u osob s normálním barvocitem je ovlivněna *velikostí stimulu* (je-li velikost stimulu < 15 , je barevná odpověď výrazně snížena), jeho *trváním, intenzitou* (při zvyšování intenzity světla nad prahovou hodnotu se objevují barvy postupně od krátkovlnného konce spektra k dlouhovlnnému konci), *lokalizací stimulu na sítnici* (čípků od fovey progresivně ubývá) a také *úrovní adaptace sítnice*.



Hustota fotoreceptorů v závislosti na vzdálenosti od fovey



Poruchy barvocitu

- **Normální trichromat** – člověk s normálním barvocitem
- **Vrozené poruchy barvocitu** - heredita,
8%  0,5%  (anomální trichromázie, dichromázie, monochromázie)
- **Získané poruchy barvocitu**
 - **Katarakta** (čočka se stává více žlutou, čímž brání krátkovlnnému světlu dopadat na sítnici)
 - **Hemofthalmus** („červený filtr“)
 - **Onemocnění zřakového nervu** (neuritida optiku – porucha barvocitu v oblasti červené a zelené)
 - **Onemocnění sítnice** (chlorochinová retinopatie)



Vrozené poruchy barvocitu

- **Anomální trichromat** má 3 typy čípků, ale jsou používány v jiném poměru. Jedna ze tří složek je vnímána nedokonale. Aby anomální trichromat vnímal složenou barvu jako člověk s normálním barvocitem, musí být postižená barva přidána. Takto složenou barvu vnímá zdravý člověk jako s nádechem přidané barvy.



Podskupiny anomální trichromazie

Fyziologický barvocit (normální trichromazie)



Protanomalie (porucha vnímání červené barvy)



Deuteranomalie (porucha vnímání zelené barvy)



Tritanomalie (porucha vnímání modré barvy)



Vrozené poruchy barvocitu

- **Dichromasie** je nejčastější poruchou barvocitu. Postižený vnímá pouze odstíny dvou barev. Má tedy jen dva typy receptorů, ze kterých vytváří všechny barvy. Dokáží některé barevné odstíny rozeznat, jiné vidí jen v odstínech hnědé. Dichromat se orientuje podle jasů, nikoliv podle barevných tónů.



Dichromasie

Fyziologický barvocit



Protanopie (slepota pro červenou barvu)



Deuteranopie (slepota pro zelenou barvu)



Tritanopie (slepota pro modrou barvu)



Vrozené poruchy barvocitu

- **Monochromati** nemají žádnou rozlišovací schopnost pro barvy. Rozlišují jen rozdíly jasu jako na černobílé fotografii.



Monochromazie

Fyziologický barvocit



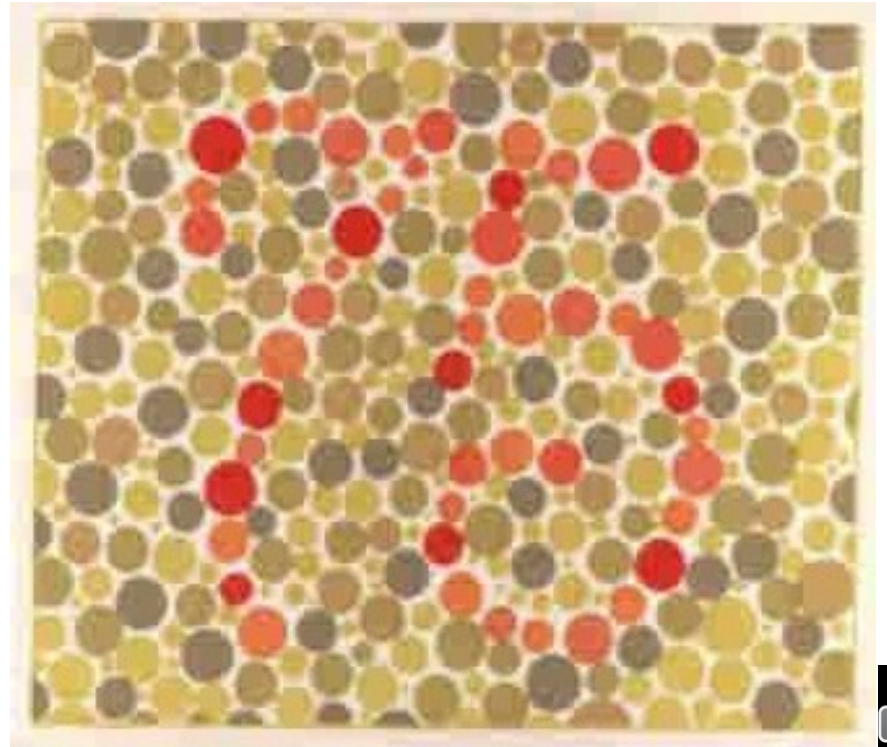
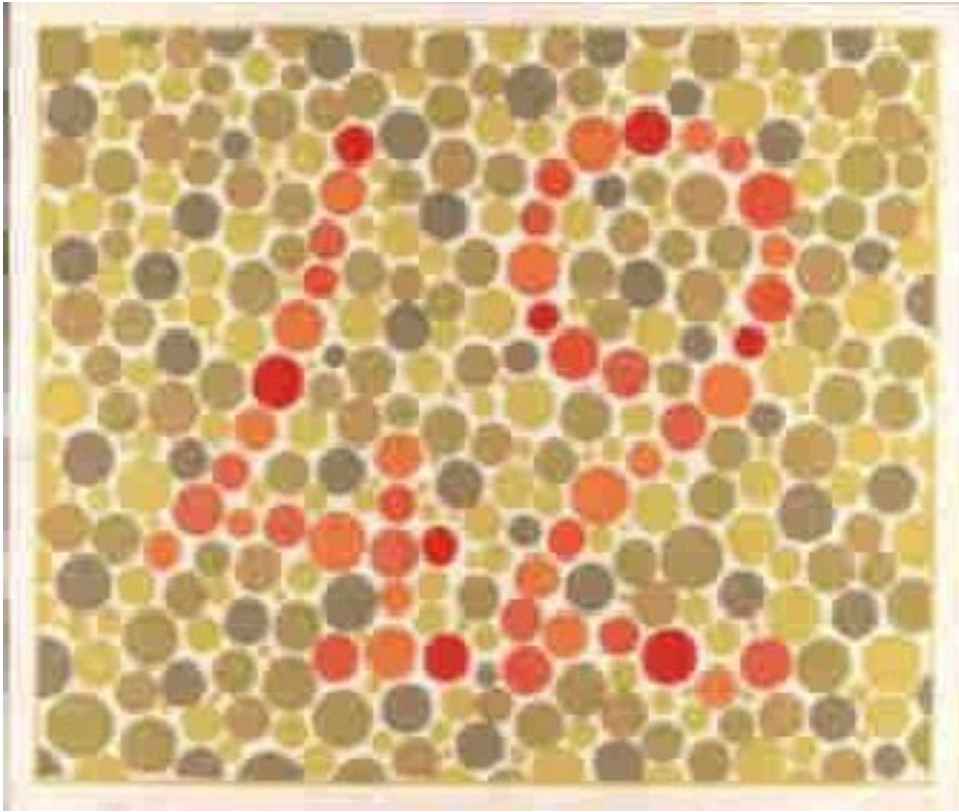
Monochromazie (úplná barvoslepost)

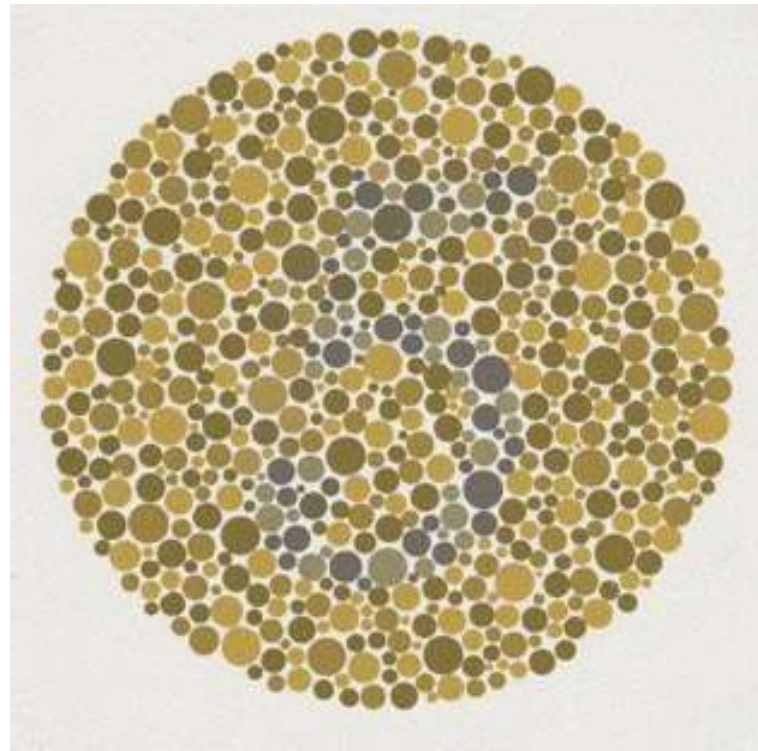
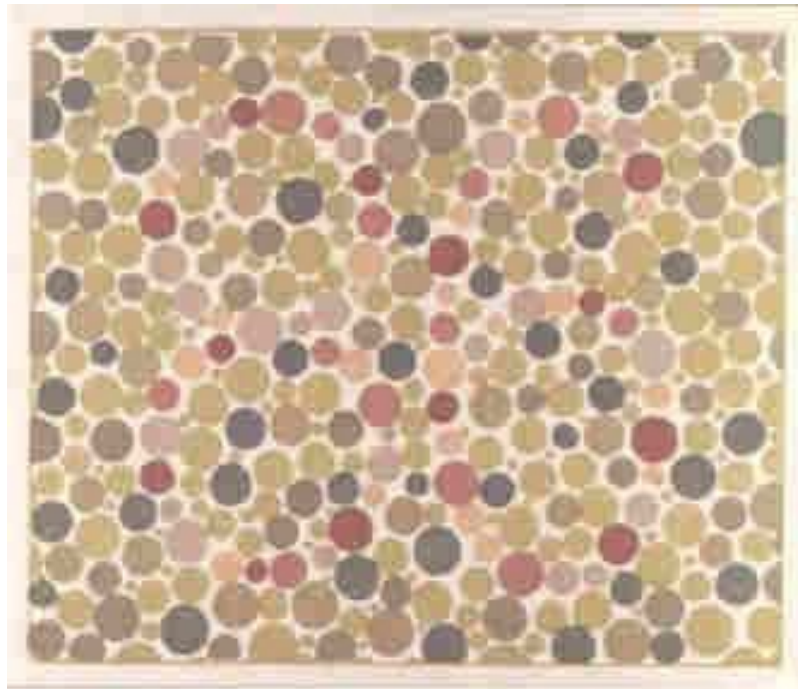
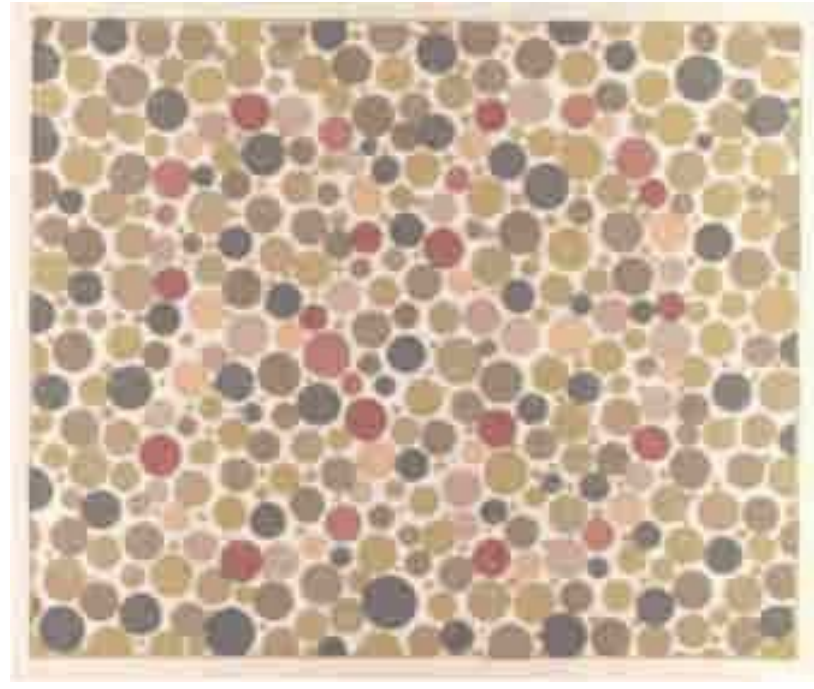
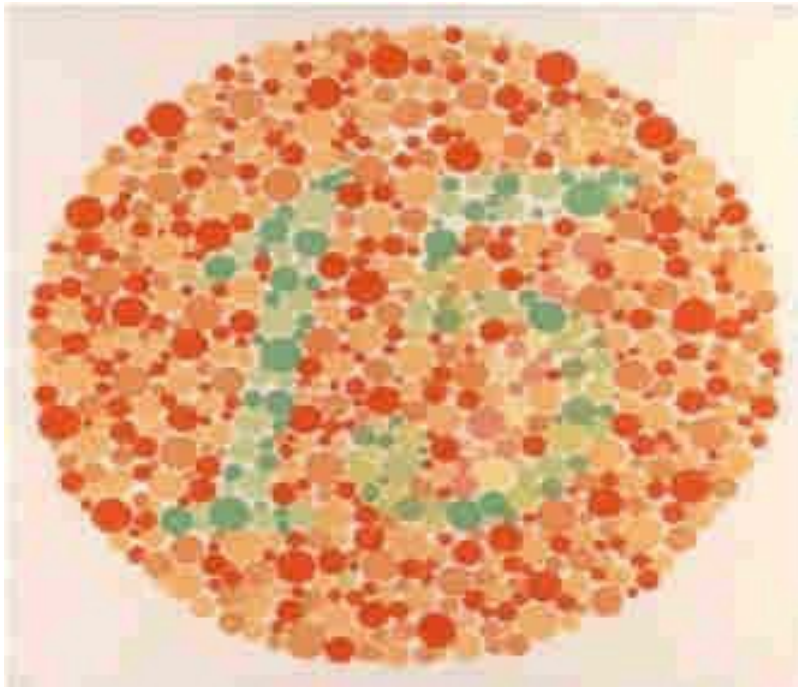


Vyšetřování barvocitu

- **Pseudoisochromatické taulky:** do tabulek jsou vepsány symboly (písmena, číslice.) složené ze skvrn, které mají různý barevný odstín, ale stejný jas. Osoba s poruchou barvocitu nerozezná barvy, a proto nemůže z důvodu stejného jasu rozeznat ani symboly do tabulek vepsané. Tabulky odhalí existenci a charakter poruchy, nedovolí její přesné kvantitativní určení (Stillingovy, Ishiharovy, Rabkinovy tabulky)







Vyšetřování barvocitu

- **Farnsworth-Munsell 100-Hue test:** Barevné terče se od sebe liší odstíny, ale mají stejný jas a stejnou sytost. Úkolem vyšetřovaného je seřadit terče v barevné posloupnosti, která stimuluje spektrální sekvenci. Test je vhodný pro diagnostiku vrozených a získaných poruch i pro kvantifikaci poruchy.
- **Lanthony desaturovaný panel D15:** jedná se o modifikaci výše uvedeného seřazovacího testu



Farnsworth D15 test results

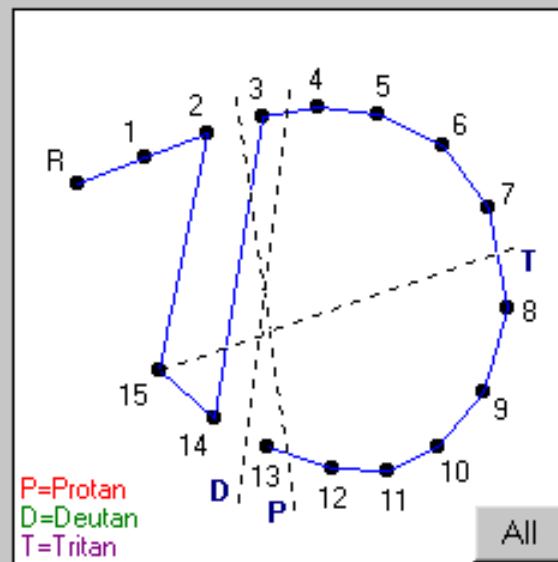
Eye

OD OS OU

Arrange caps of

Test Re-test

(*) Suggestion made by Optical Diagnostics. Final diagnosis is physician's responsibility.



Diagnosis

Color deficiency

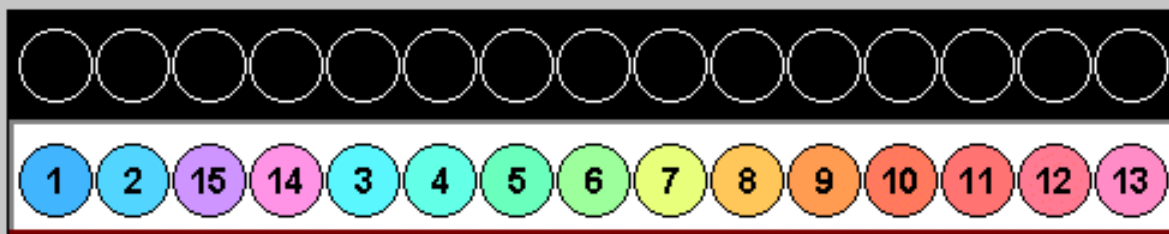
OD	Deutan *
	Deutan *
OS	Deutan *
	Deutan *
OU	Deutan *
	Deutan *

CCI

OD	1.434	1.622
OS	3.591	NA
OU	2.220	2.225

AC-CCI

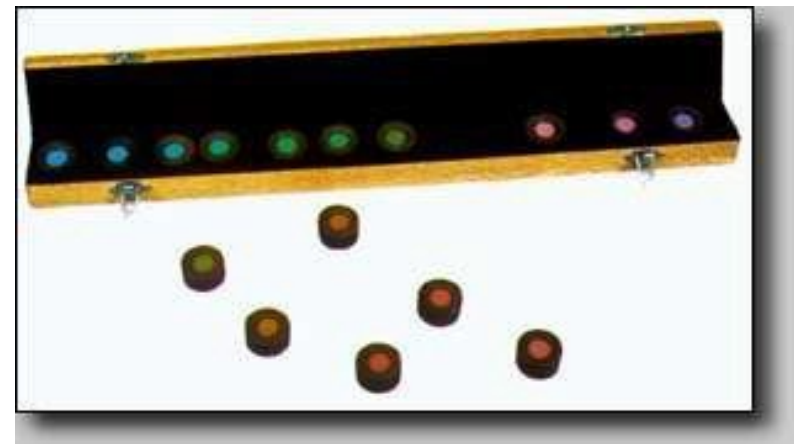
OD	1.361	1.539
OS	3.408	NA
OU	2.107	2.111



Farnsworth 100-Hue test



Lanthonyho desaturovaný panel D15





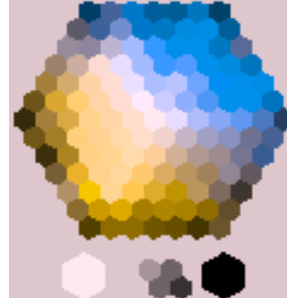
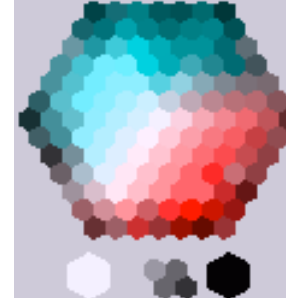
Vyšetřování barvocitu





- **Anomaloskop:** je optický přístroj na principu mísení spektrálních světél. Vyšetřovaný porovnává dvě poloviny zorného pole. V jedné z nich je čistá žlutá barva a v druhé směs barvy červené a zelené v libovolně měnitelném poměru. Pacient mění pomocí šroubů směs barev v druhém políčku s cílem dosáhnout stejného barevného tónu v obou polích (protanomalové k tomu potřebují více červené, deuteranomálové více zelené).






Anomaloskop



Normálně	Protanopia	Deutanopia	Tritanoptia
			

Normálně	Protanopia	Deutanopia	Tritanoptia
			

Normálně	Částečná Protanopia	Částečná Deutanopia	Částečná Tritanoptia
			



Adaptace

- **Schopnost zraku přizpůsobit se různým hladinám osvětlení** (od 0,003 do 80 000 lx)
 - 0,1 lx - pomezí tmy; 1,0 lx - pomezí šera
 - osvětlení při měsíci v úplňku je 0,25 - 0,5 lx
 - barevné vidění začíná při osvětlení >1 lx
 - zimní den při zatažené obloze ~ 5000 lx
 - letní den na slunci $\geq 70\ 000$ lx
- Jedná se jak o **adaptaci na světlo**, tak o **adaptaci na tmu** (tato je klinicky významnější)
- Schopnost měnit práh citlivosti na světlo zajišťují oku fotopigmenty tyčinek a čípků



Adaptace sítnice

- **Adaptace čípků** je rychlá (v prvních minutách), ale málo vydatná.
- **Adaptace tyčinek** trvá mnohem déle (20-40 min), ale je mnohonásobně vydatnější. Za 3/4 hodiny je dosažena maximální adaptace na tmou.
- **Fotopické vidění** je vidění okem adaptovaným na světlo (jde o ostré, barevné, denní vidění zajišťované především čípkami)
- **Skotopické vidění** je vidění okem adaptovaným na tmou (tyčinky; nebarevné, neostré vidění s centrálním skotomem, ale s velkou citlivostí k nízkým intenzitám světla)

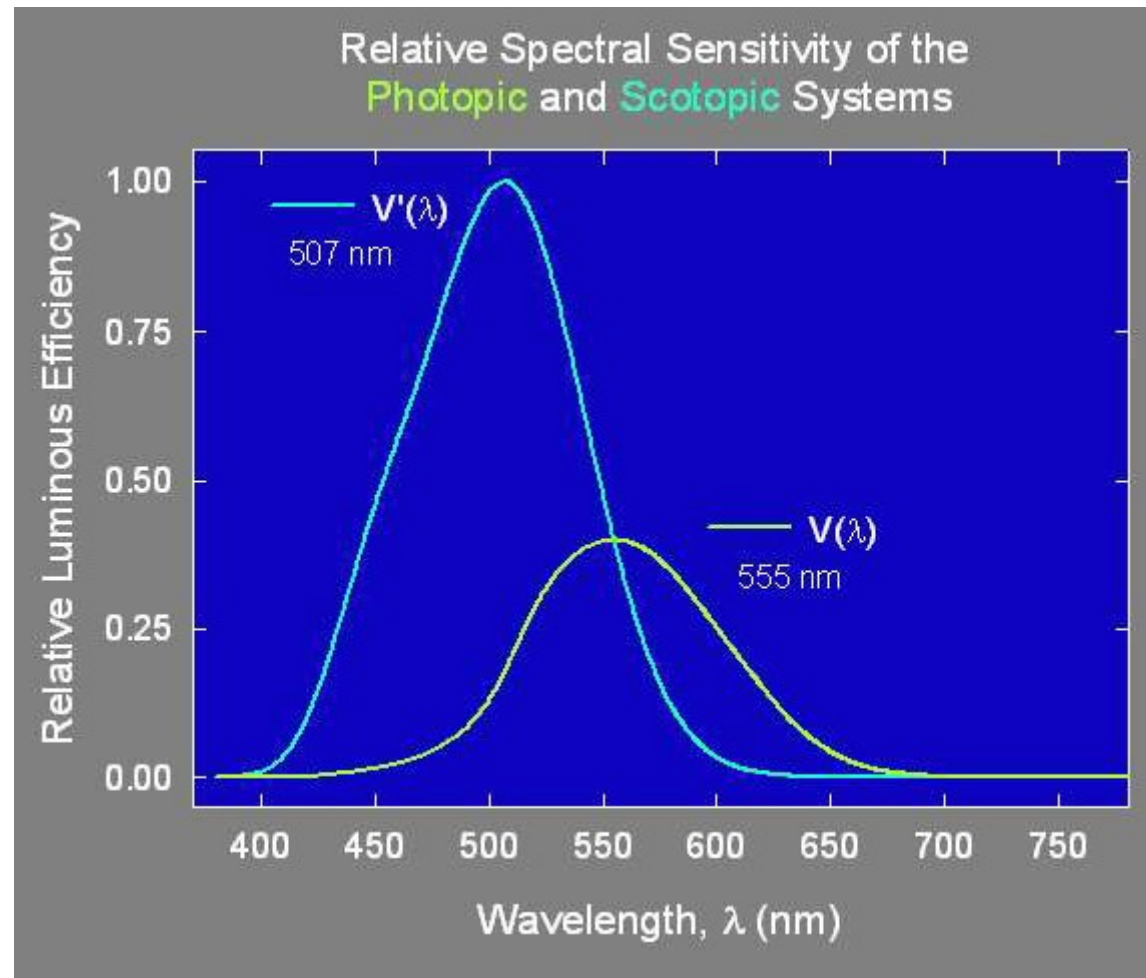


Adaptace na tmu

- Důsledkem adaptace oka na tmu je i posun spektrální citlivosti sítnice ke kratší vlnové délce (z oblasti 550nm do oblasti 505nm) = **Purkyňův jev**. Proto se barvy z krátkovlnného úseku spektra (modrá) jeví za šera světlejší než barvy z úseku dlouhovlnného (červená)
- Červená je pro tyčinky neviditelná a nenarušuje adaptaci na tmu 🕒 ke čtení lze užít červené světlo, aniž by adaptace na tmu byla narušena.



Purkyňův jev posunu spektrální citlivosti sítnice při adaptaci na tmu



Porucha adaptace na tmu

- **Šeroslepost (hemeralopie)** - porucha adaptace na tmu
 - **1) vrozená** (vzácná kongenitální stacionární noční slepota)
 - **2) získaná** (hypovitaminóza A 🕒 porucha resyntézy rhodopsinu)
 - **3) poruchy pigmentového a smyslového epitelu sítnice** (tapetoretinální degenerace, degenerativní myopie)



Porucha adaptace na světlo

- **Oslnění** - jedná se o poruchu adaptace na světlo, je-li zrak náhle vystaven tak vysokému jasů, že se na něj není schopen ihned adaptovat. Při nižších stupních oslnění může vzniknou bolest očí a hlavy, při vyšších stupních oslnění se vidění zhoršuje až znemožňuje - oslepující oslnění.

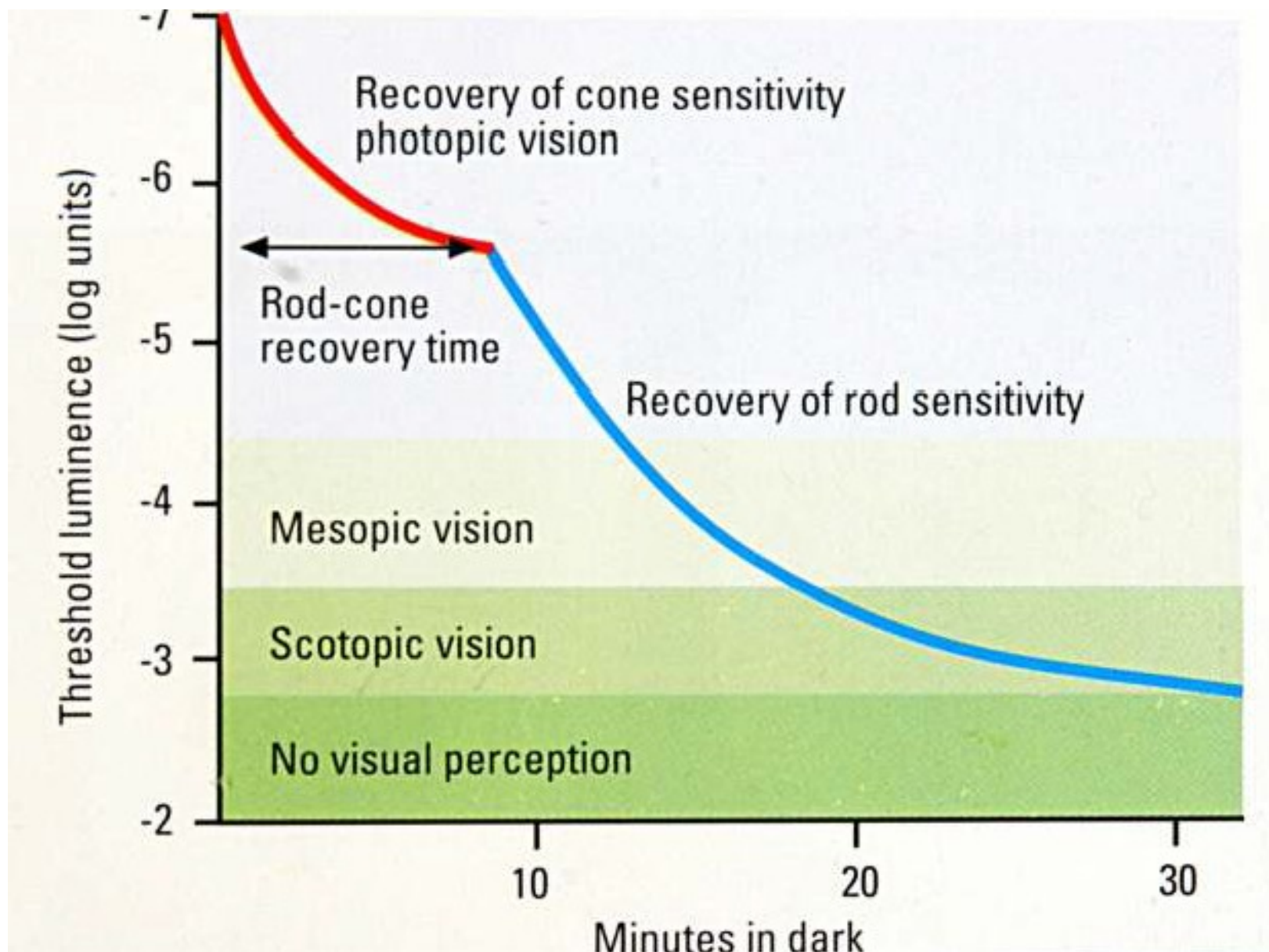


Adaptometr

- **Hartingerův adaptometr** - slouží ke zjištění nejnižšího osvětlení, který vyšetřovaný právě odliší od tmy. Nejprve adaptujeme pacienta na světlo (dívá se 10 min. na jasně osvětlenou plochu standardního jasu). Poté za úplné tmy v krátkých intervalech nabízíme hraniční osvětlení, které vyšetřovaný právě odliší od tmy - získáme *adaptační křivku* ukazující závislost narůstající citlivosti sítnice na délce pobytu ve tmě. V prvních min. adaptace citlivost rychle roste, až se mezi 3.-8. min. na křivce objeví Kohlrauschův zářez, který odděluje rychlejší adaptaci čípků od pomalé adaptace tyčinek. Křivka pak už jen zvolna stoupá do 40 min.



Adaptační křivka na tmu



Fyziologie zrakové dráhy



Zraková dráha

- **Tříneuronová**

- smyslové receptory (tyčinky a čípky)
- 1. neuron: bipolární buňky (ganglion retinae)
- 2. neuron: gangliové buňky (ganglion opticum)
- 3. neuron: buňky v corpus geniculatum laterale diencefala



Sítnice

- **Pars optica retinae** - od ora serrata k papile n.II
- **Pars coeca retinae** - od ora serrata k epitelu řasnatého tělíska a duhovky - sítnice zde má charakter jednovrstevného nepigmentového epitelu
- Sítnice je jen **volně** přiložena k cévnatce (hraje úlohu při patofyziologii odchlípení sítnice). **Pevně** je retina fixována pouze k papile a k ora serrata.



Sítnice

Tří vertikální neurony

smyslové receptory - tyčinky a čípky

bipolární buňky

gangliové buňky

Dva druhy horizontálních neuronů

Horizontální bb. (zevní plexiformní vrstva)

Amakrinní bb. (vnitřní plexiformní vrstva)

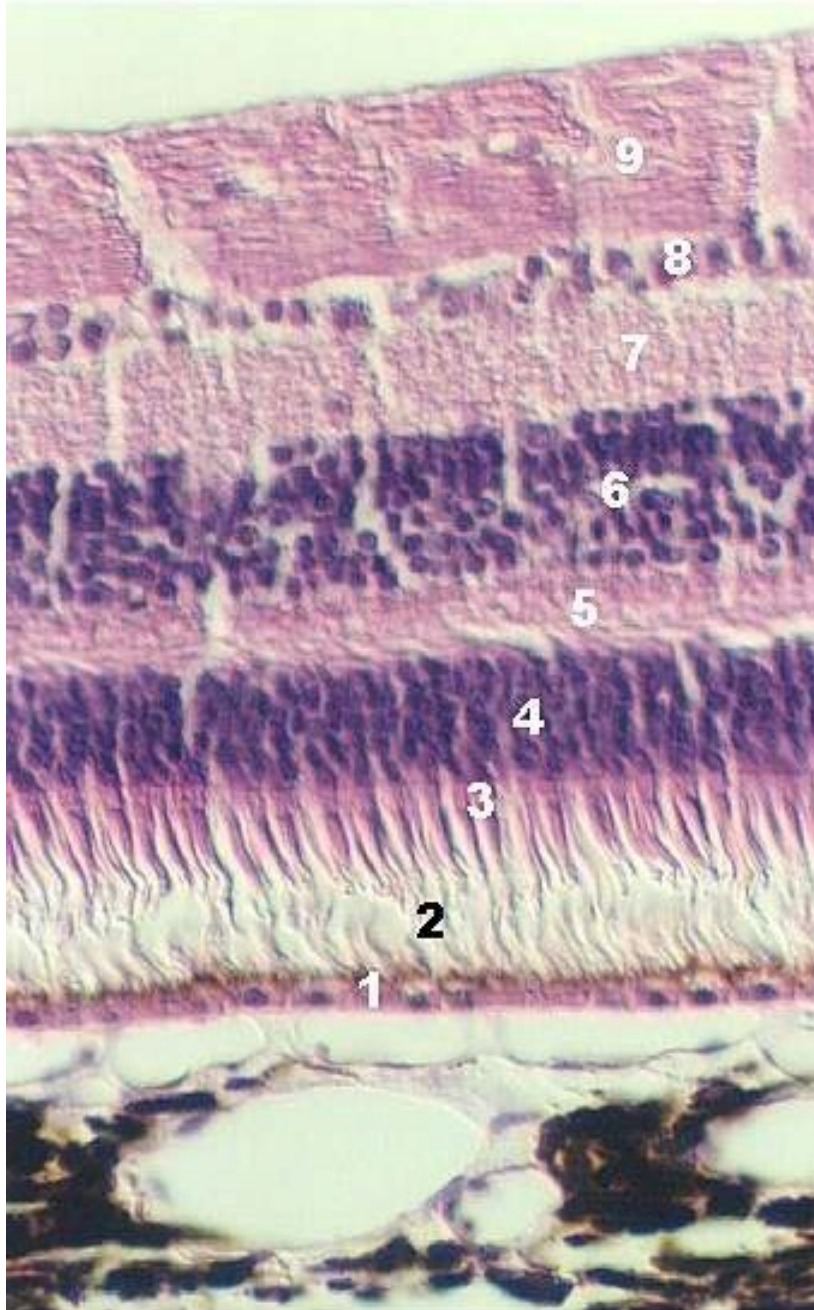


Vrstvy sítnice

1. Pigmentový epitel sítnice (RPE)
2. Vrstva zevních výběžků tyčinek a čípků
3. Membrana limitans externa (horizontálně probíhající výběžky Müllerových bb.)
4. Vnější vrstva jader světločivých elementů (tyčinky a čípky)
5. Vnější plexiformní vrstva - spoje mezi receptory a bipol. bb.
6. Vnitřní jádrová vrstva (jádra bipolárních, horizontálních, amakrinních a Müllerových buněk)
7. Vnitřní plexiformní vrstva -neurity bipol., dendrity gangl. b.
8. Vrstva gangliových buněk (ganglion opticum)
9. Vrstva zrakových nervových vláken
10. Membrana limitans interna (MLI- ohraničení proti sklivci)



Vrstvy sítnice



1. Pigmentový epitel sítnice (RPE)
2. Vrstva zevních výběžků tyčinek a čípků
3. Membrana limitans externa
4. Vnější vrstva jader světločivných elementů
5. Vnější plexiformní vrstva vláken
6. Vnitřní jádrová vrstva
7. Vnitřní plexiformní vrstva vláken
8. Vrstva gangliových buněk
9. Vrstva zrakových nervových vláken
10. Membrana limitans interna (MLI)



Sítnice

- Čípky 6 - 7 000 000 (tři typy pigmentu)
- Tyčinky 130 000 000
- Bipolární bb.
- Gangliové bb.
- Podpůrné bb.
(Mullerovy podpůrné bb., neuroglie)

Asociační bb. ve vnitřní jádrové
vrstvě sítnice

- Horizontální bb.
- Amakrinní bb.

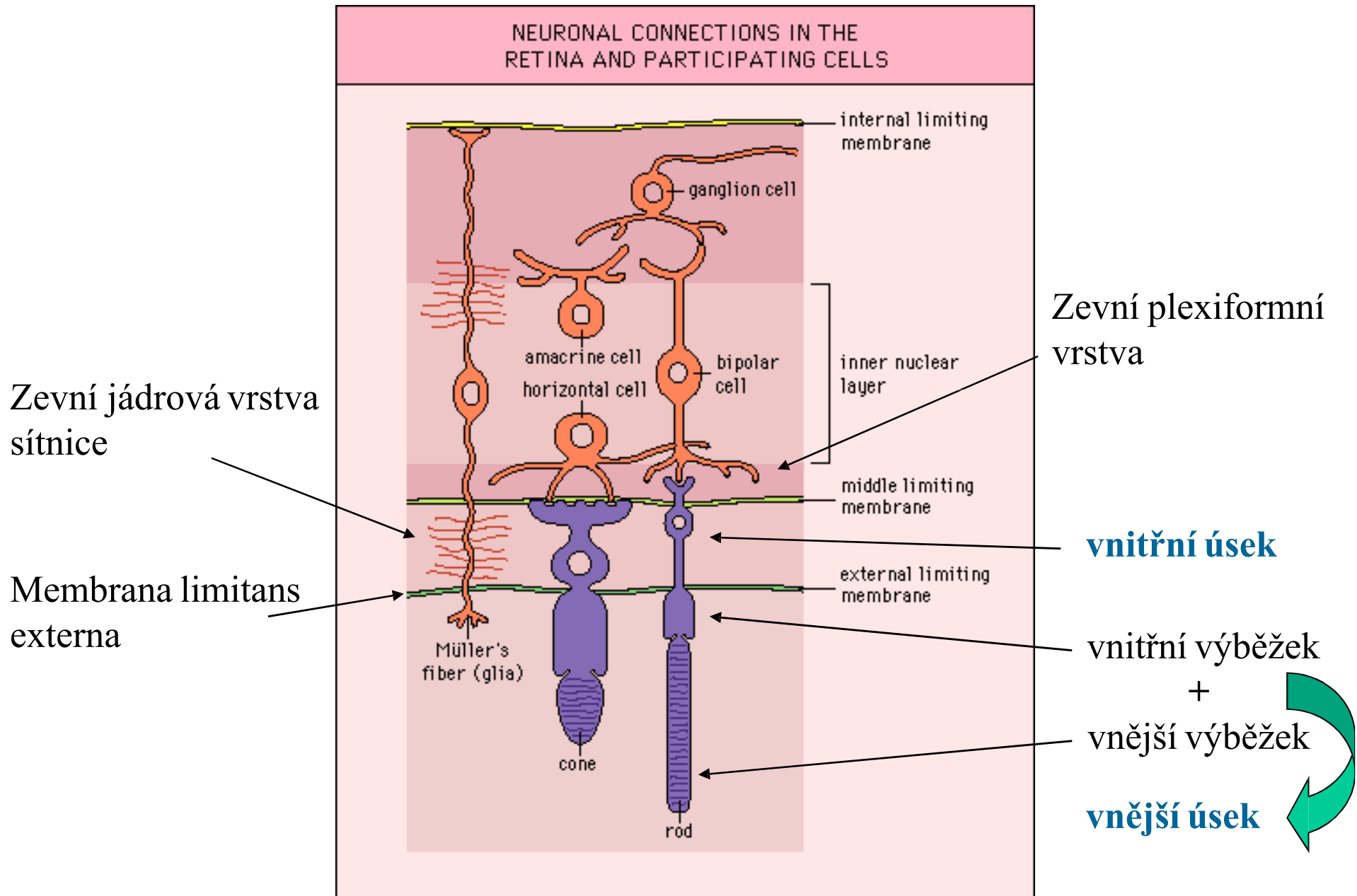


Struktura tyčinek a čípků

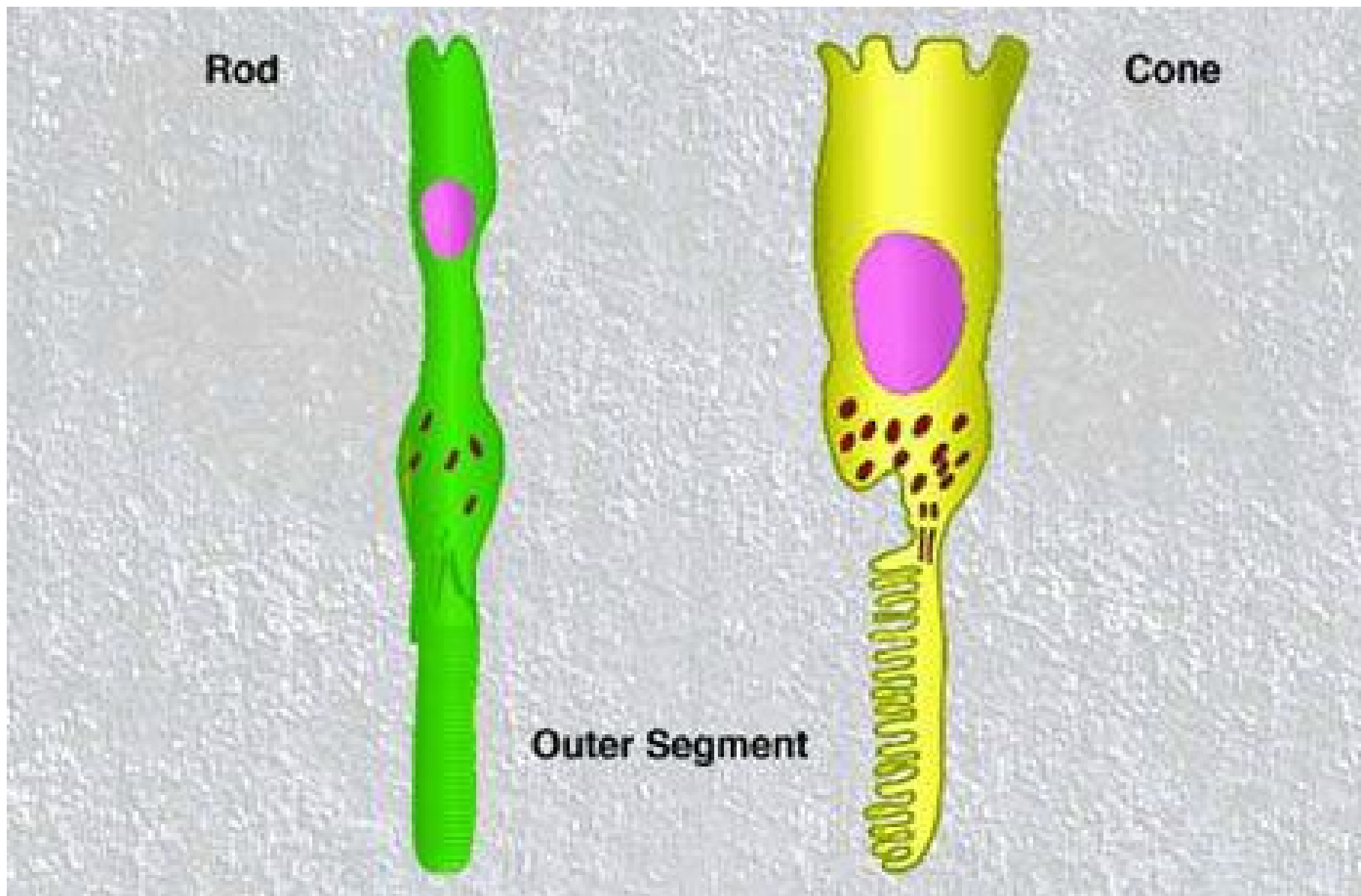
- **Tyčinky** - vnější úsek (obsahuje světločivý pigment)
 - zevní segment (disky s rhodopsinem)
 - přechodná zóna
 - vnitřní segment (elipsoid; mitochondrie)
 - vnitřní úsek (buněčné jádro a nervové vlákno)
- **Čípky** - obdobná struktura jako u tyčinek. Ve vnějším výběžku vnějšího úseku obsahují Jodopsin
- Vnější výběžky tyčinek a čípků se zabořují do RPE



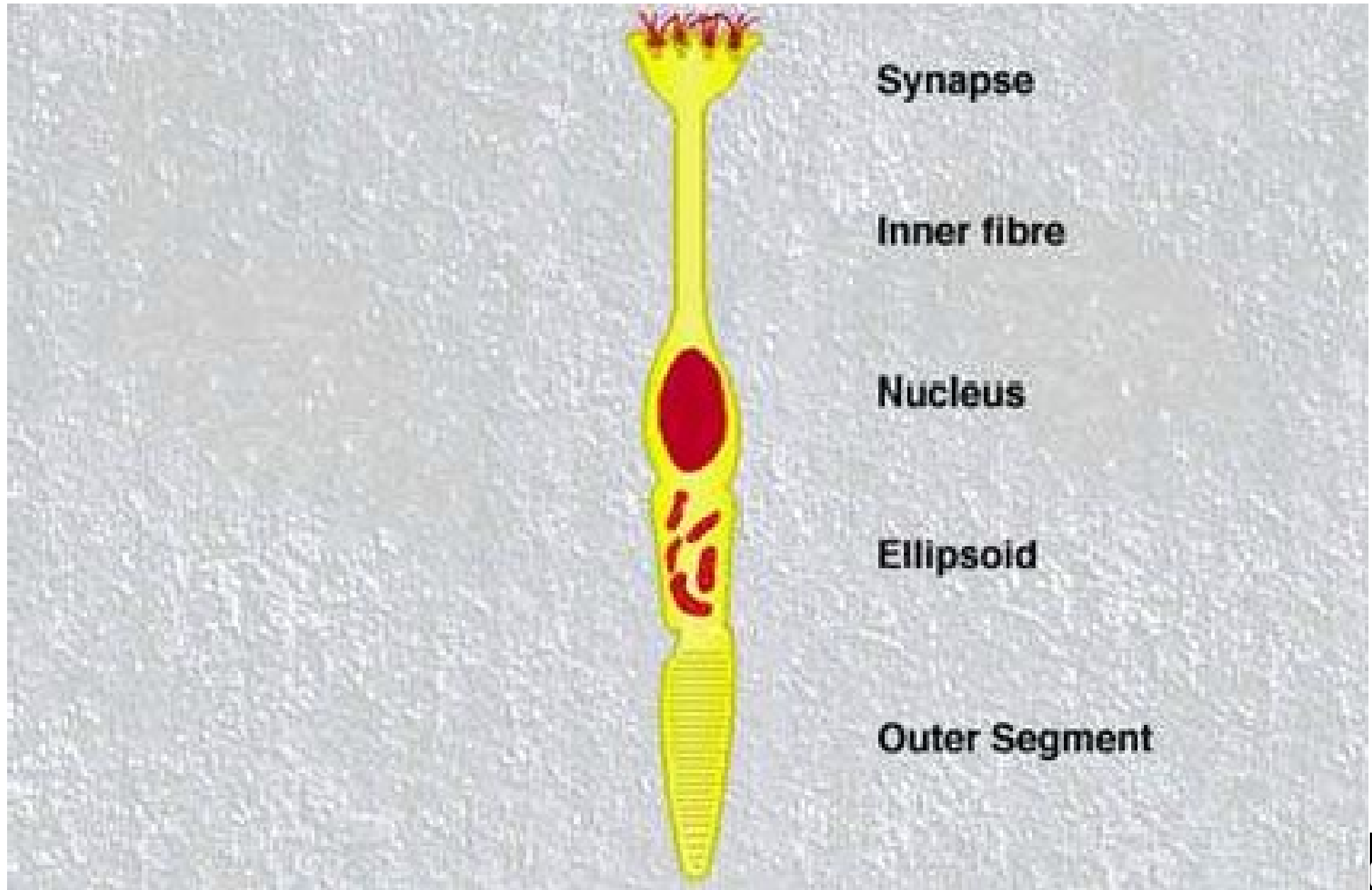
Neuroretinální synapse



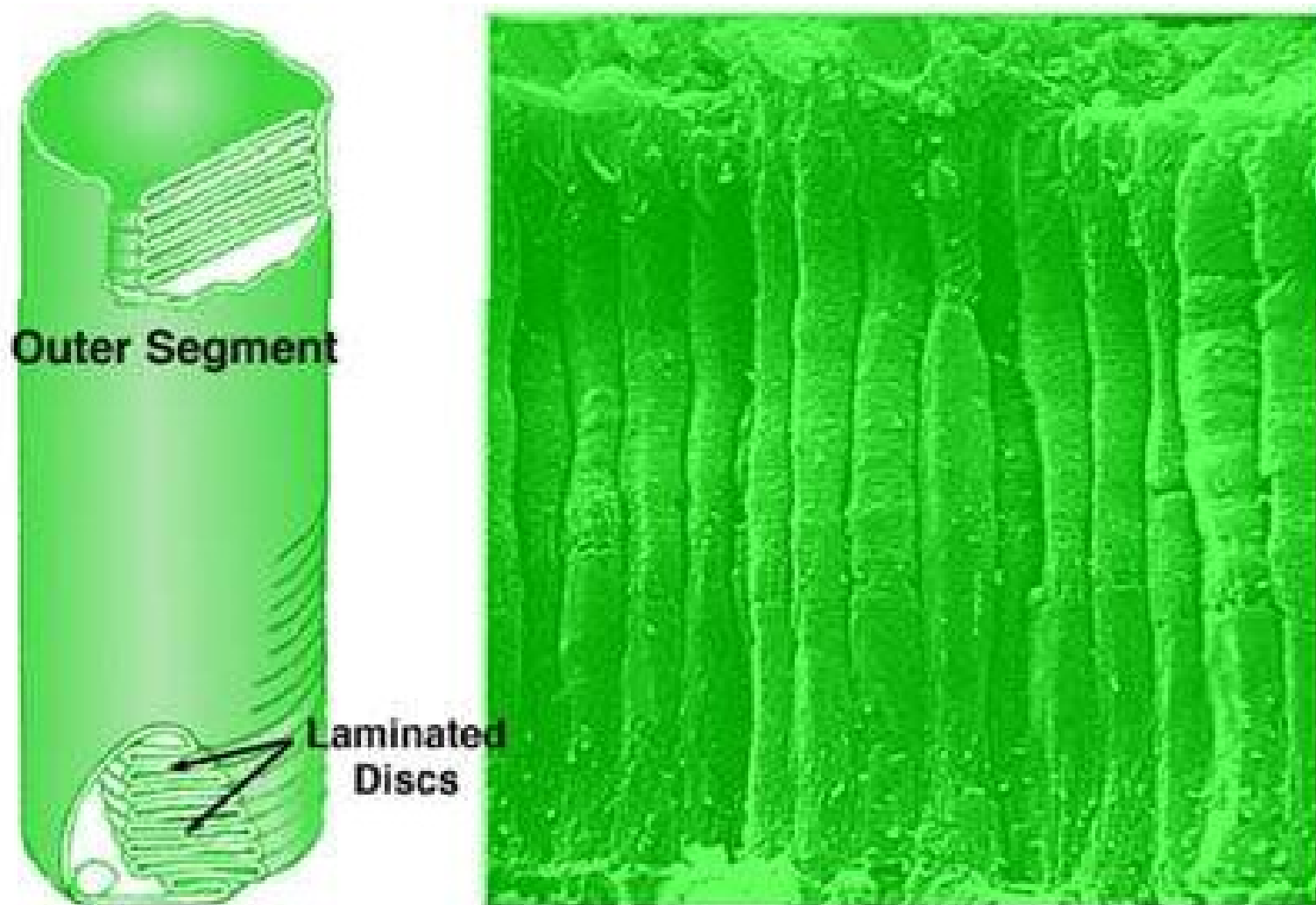
Tyčinky a čípky



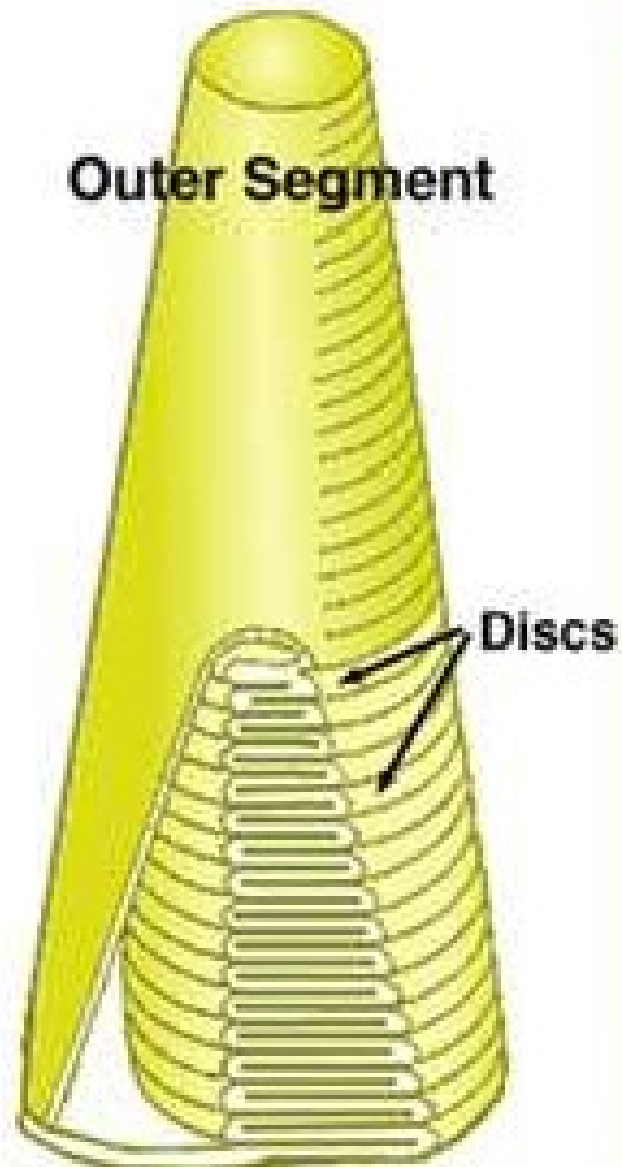
Struktura čípků



Zevní segment tyčinek

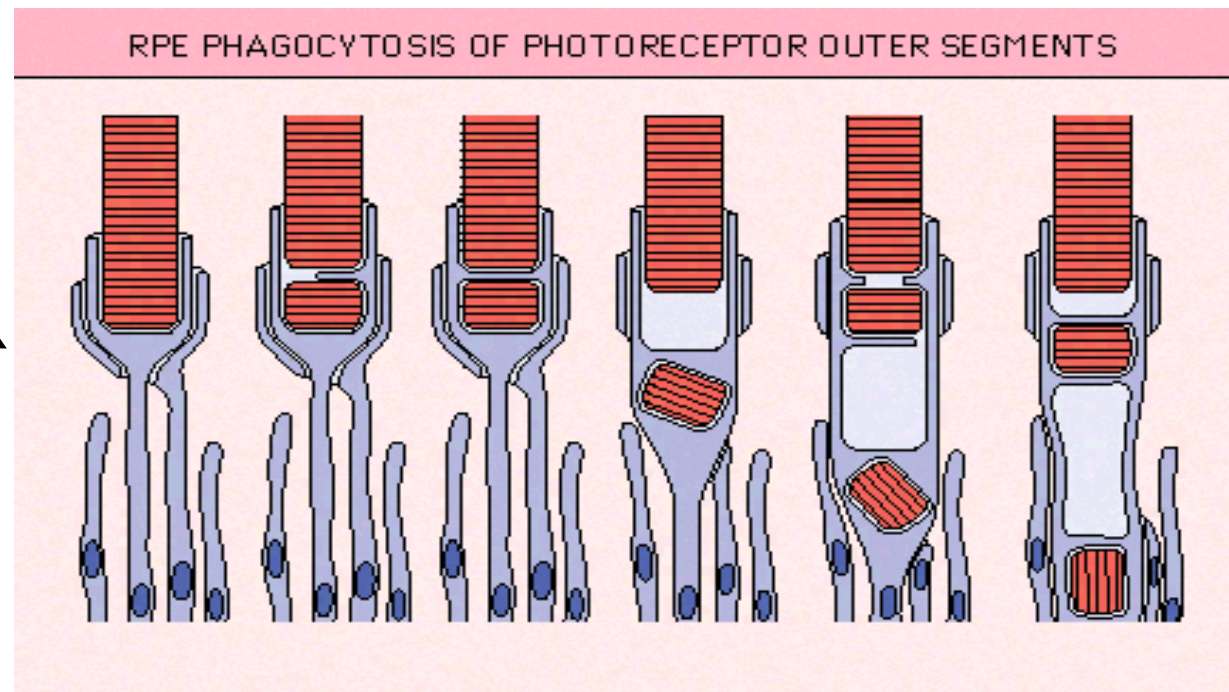


Zevní segment čípků



Fagocytóza zevních segmentů fotoreceptorů prostřednictvím RPE

Výběžky apikální zóny
RPE mezi vnější
segmenty fotoreceptorů



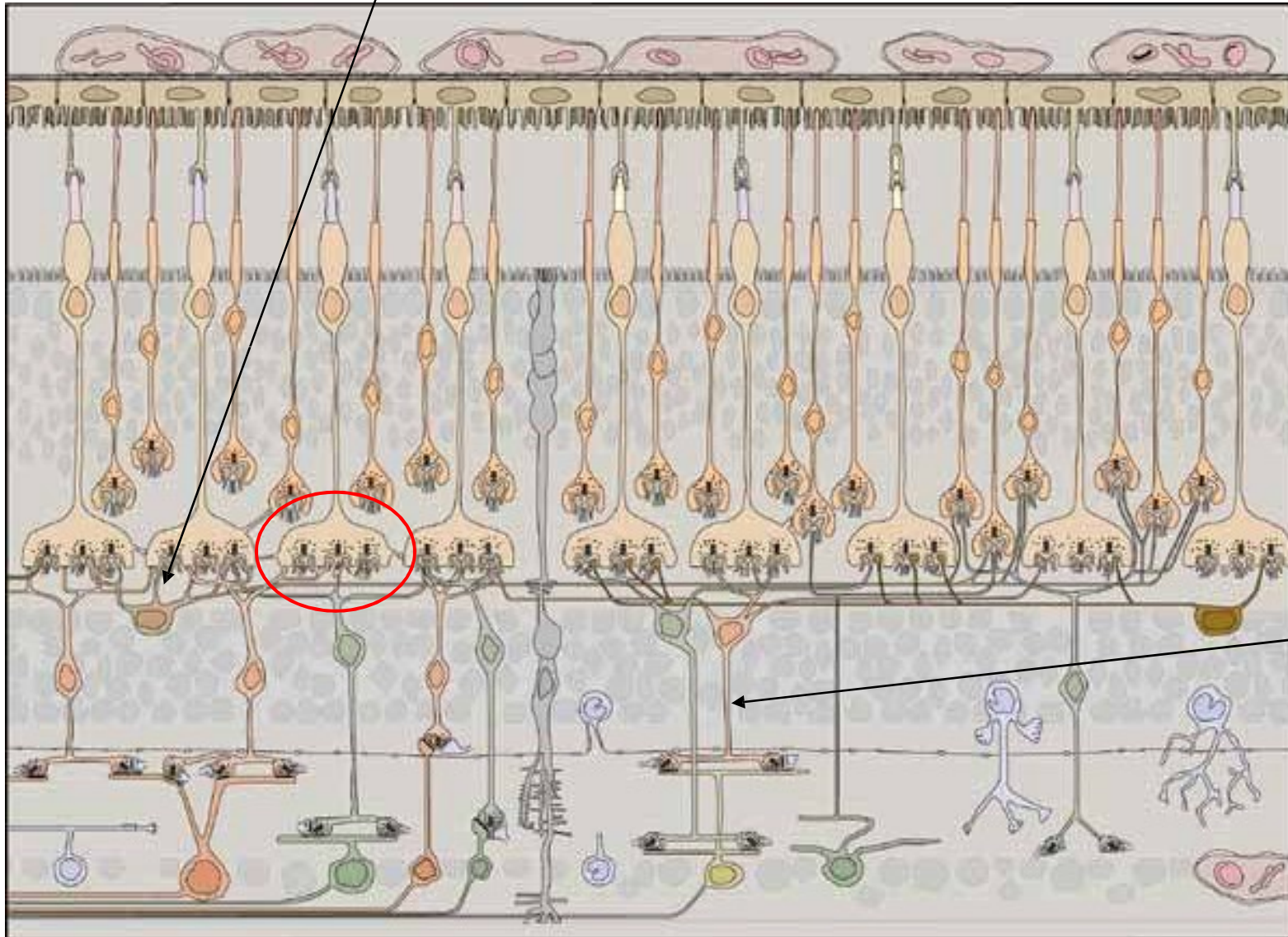
Synapse zevní plexiformní vrstvy

- Synapse mezi fotoreceptory, bipolárními buňkami a horizontálními bb.
- **Triáda:** typické synaptické zakončení fotoreceptoru: uprostřed je jeden výběžek bipolární buňky a po jeho stranách dva výběžky horizontálních buněk.
- Uvnitř jednoho zakončení čípku je až 25 invaginovaných triád



Synapse zevní plexiformní vrstvy

Horizontální buňka



triáda

Bipolární buňka



Bipolární buňky

Monosynaptické bipolární bb.:

Monosynaptický přenos impulzů z jednoho čípku na jednu gangliovou buňku - důležité pro zrakovou ostrost (makula)

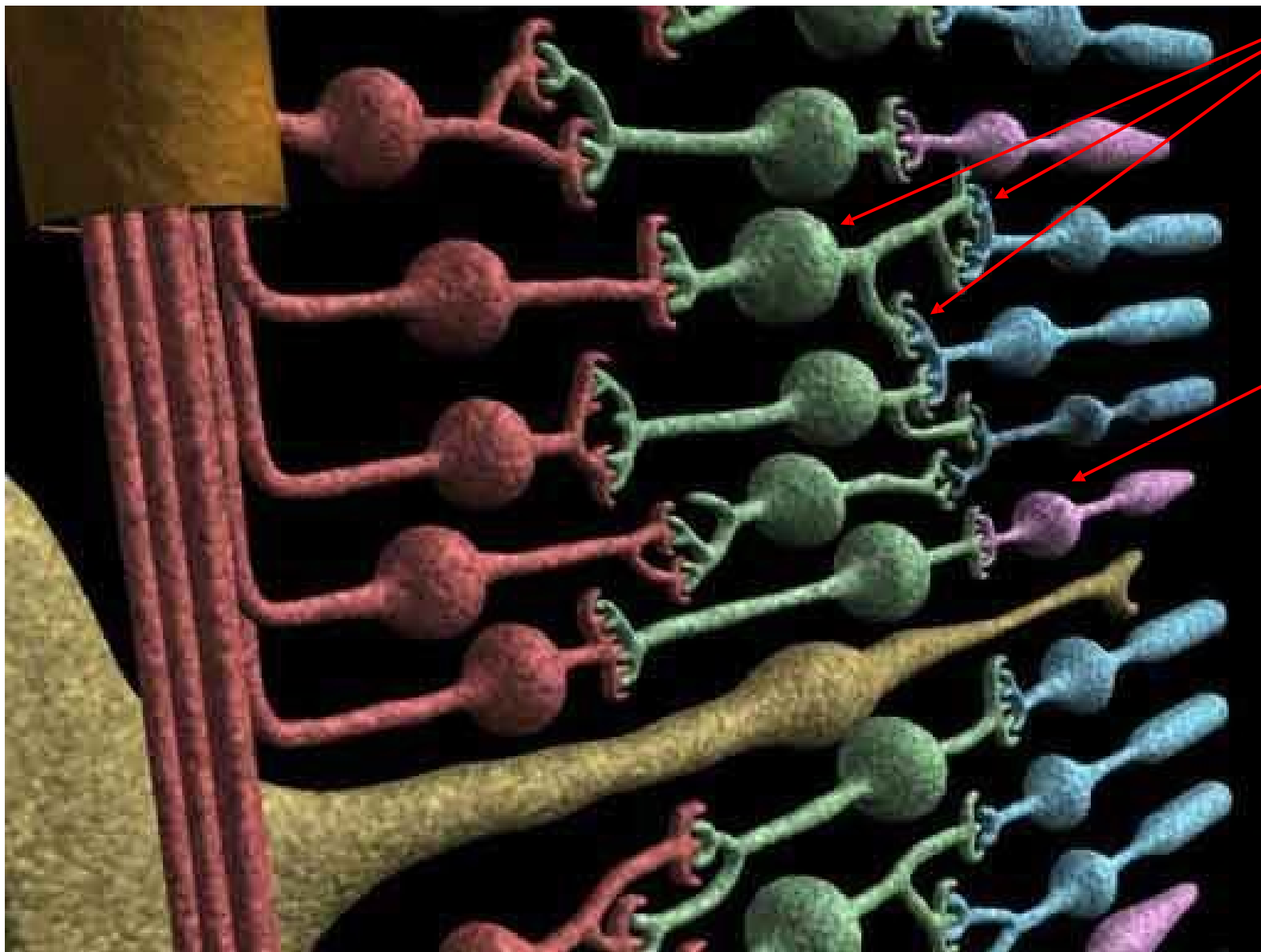
Polysynaptické bipolární bb.:

Potenciály z více receptorů se sumují na jedné bipolární buňce. Obdobná **sumace** je i při přenosu signálu z bipolárních bb. na gangliové bb. (tyčinek je 130 milionů, ale počet vláken zrakového nervu jen 1milion!!)



Sumace

**Individuální
přepojení**



Sumace

Umožňuje zvýšení citlivosti sítnice za nižších hladin osvětlení

Snižuje rozlišovací schopnost tím, že se zvětší okrsky sítnice převáděné na jedinou buňku a vlákno optického nervu



Gangliové buňky

**III. vertikální neuron (2. neuron zrakové dráhy)
Axony se sbíhají na papile zrakového nervu a tvoří jej**

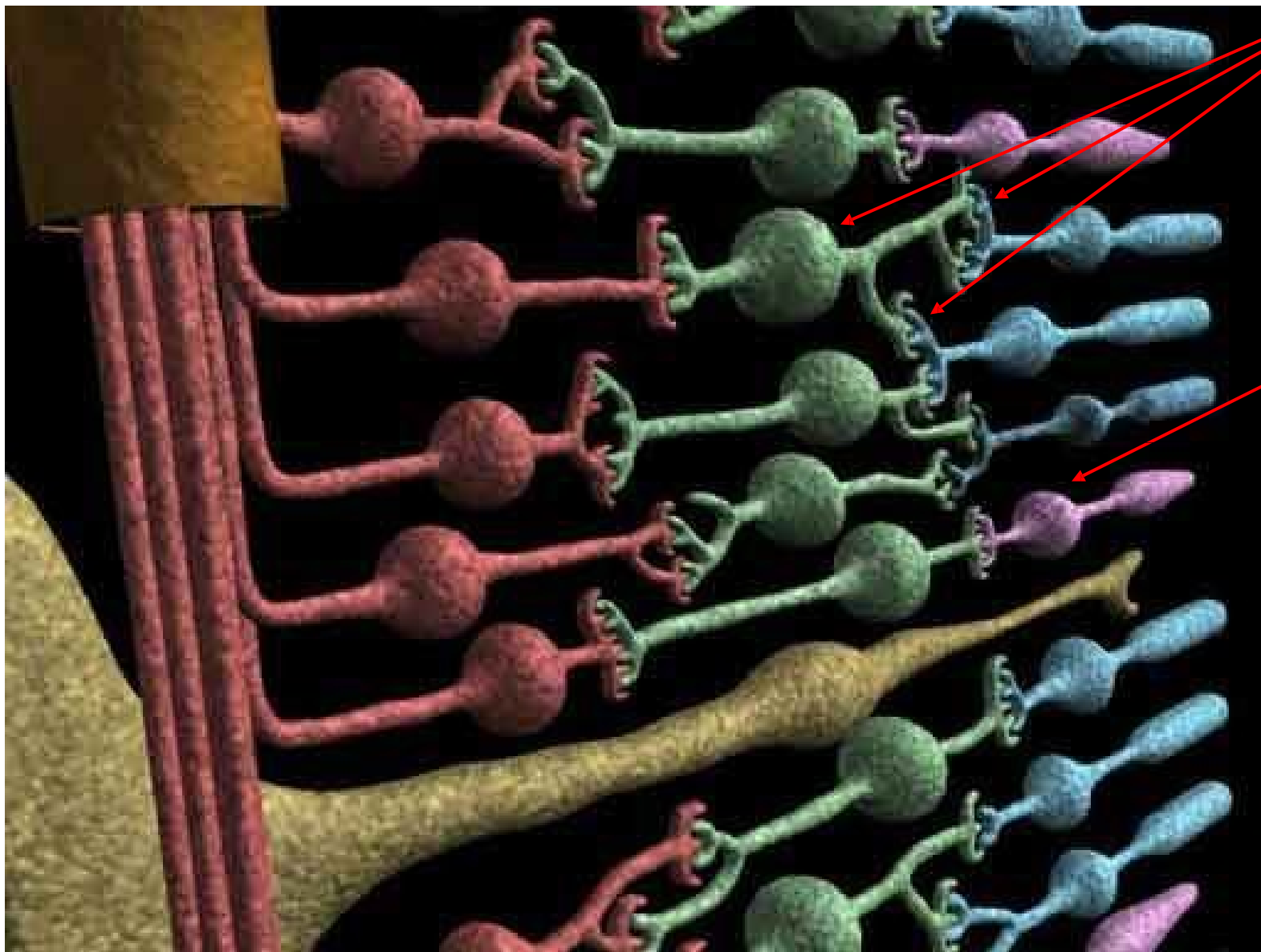
Monosynaptické gangliové buňky - jsou spojené s jednou monosynaptickou bipolární buňkou a uskutečňují převod z jednoho čípku

Polysynaptické gangliové bb. - sumace



Sumace

**Individuální
přepojení**

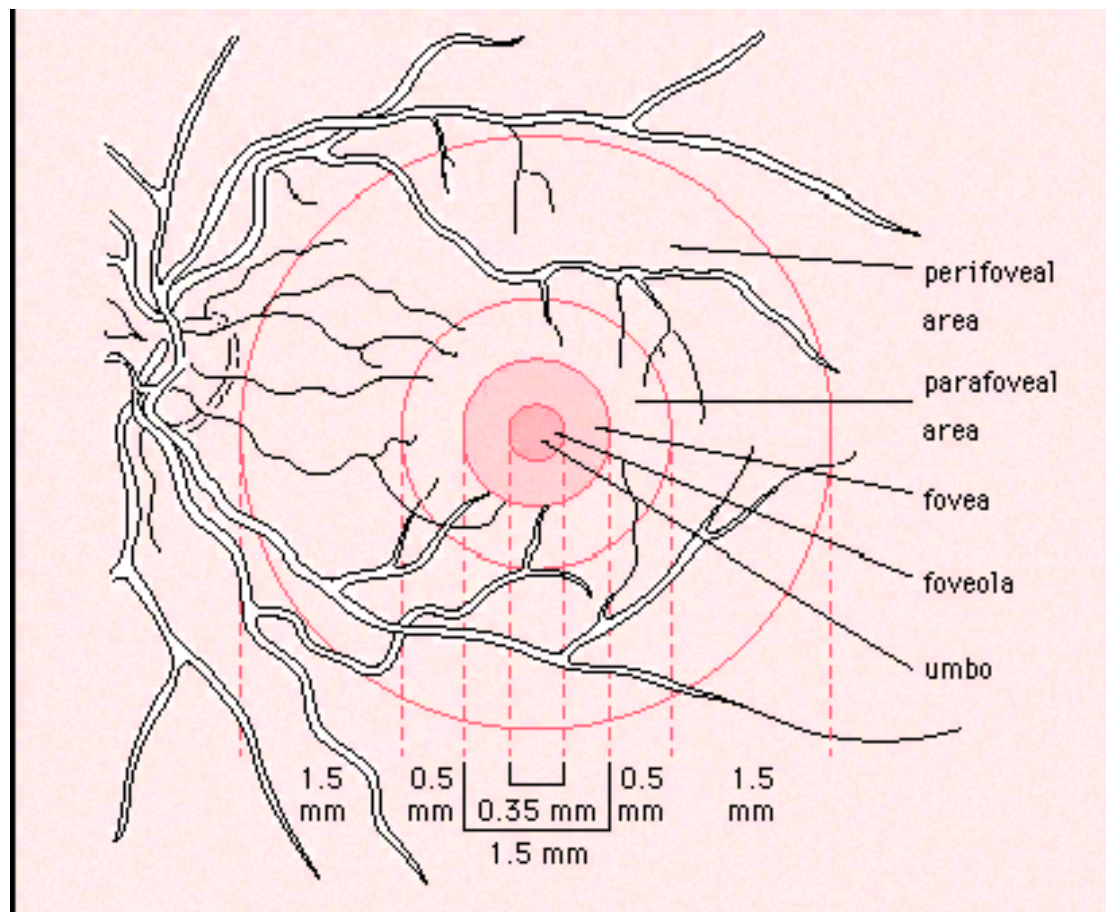


Topografie retinálních okrsků



Specifické úseky sítnice

- **Fovea centralis** – foveola obsahuje jen čípky, vnitřní vrstvy sítnice jsou odtlačeny do stran
- **Macula lutea** – nemá cévy, pigment xantofylin

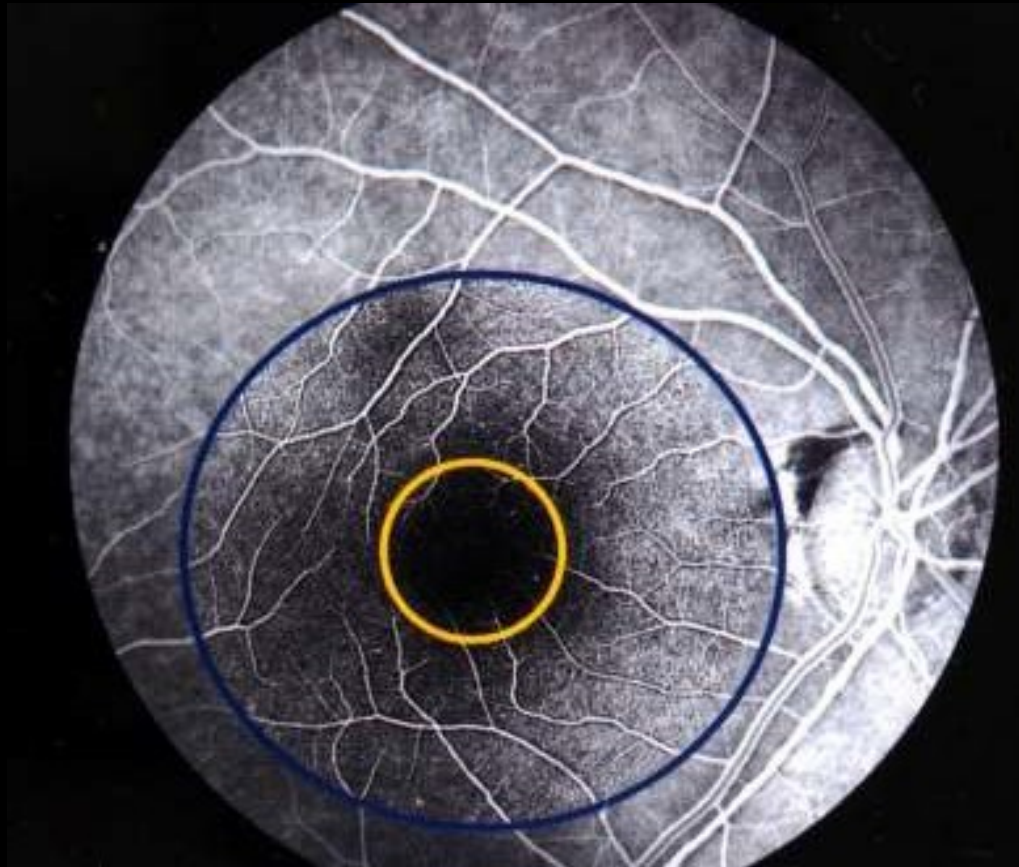


- Sítnice je zde velmi tenká, projekce obrazu nezkreslená



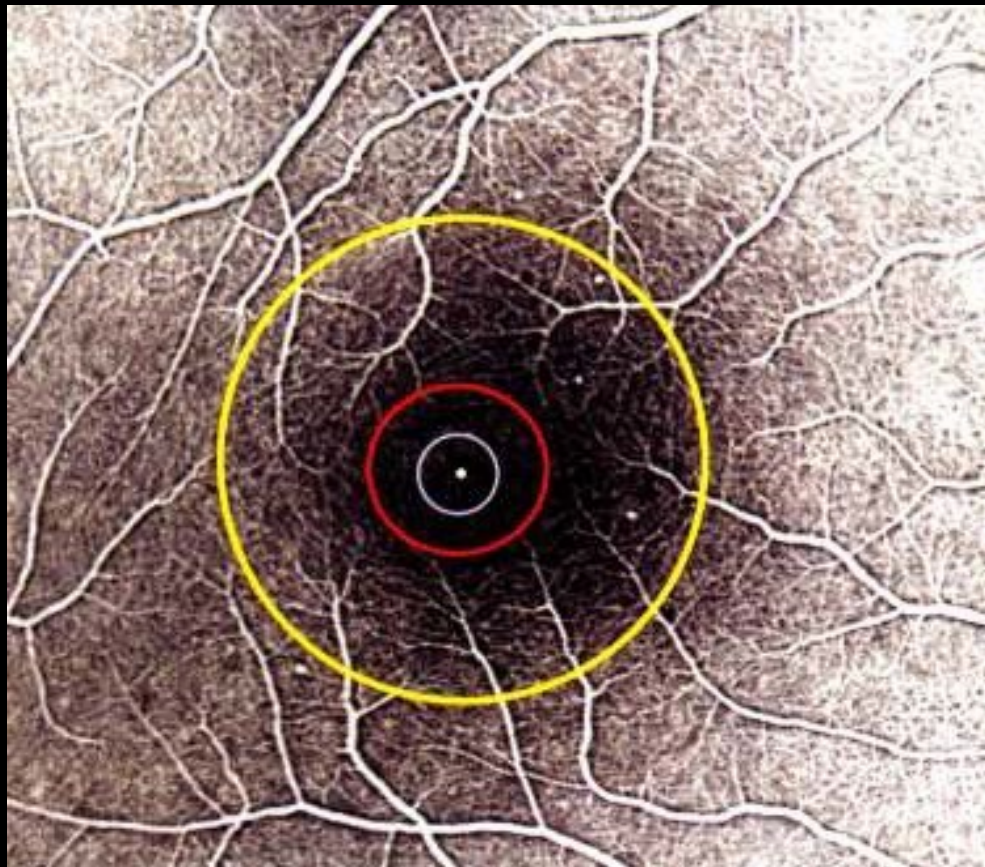
FAG snímek zadního pólu oka

- Rozsah MAKULY zobrazuje modrá kružnice
- Oblast FOVEY ohraničuje žlutá kružnice



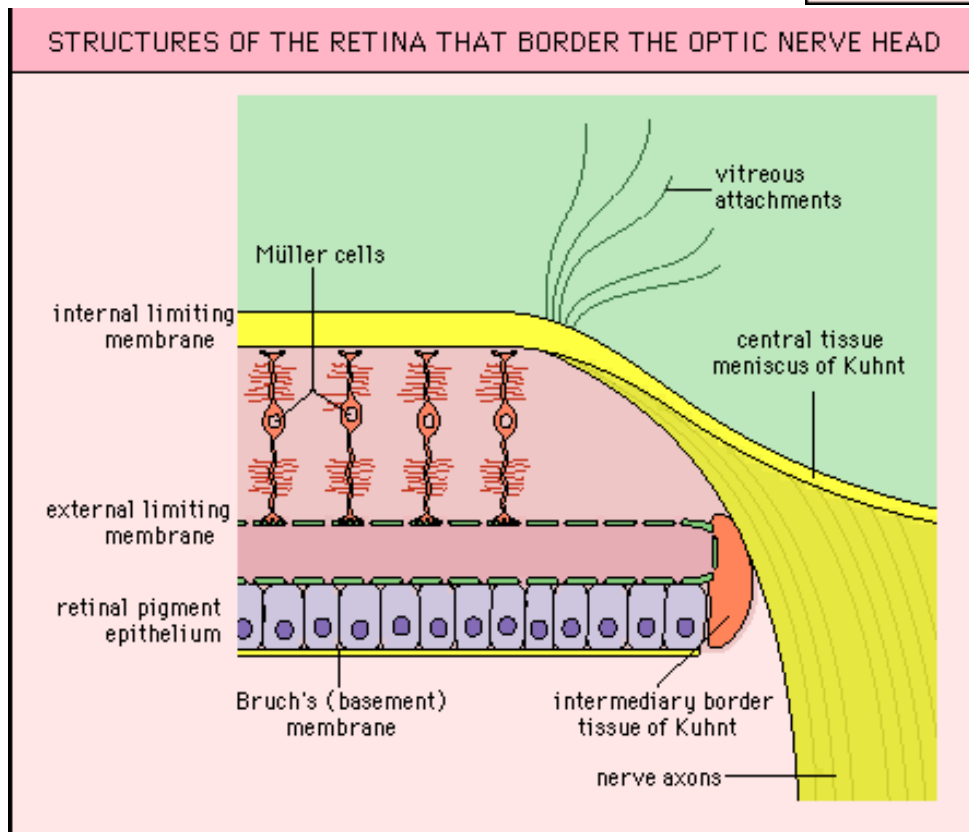
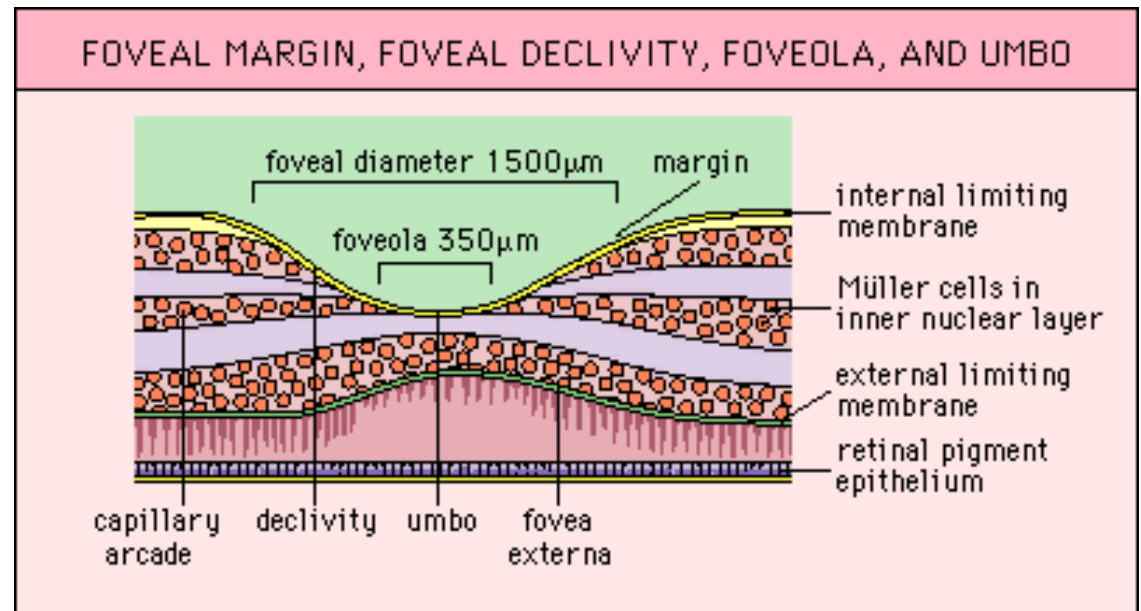
Oblast fovea centralis

- Oblast **FOVEY** ohraničuje žlutá kružnice
- **FOVEÁLNÍ AVASKULÁRNÍ ZÓNA** – červená kružnice
- **FOVEOLA** – světle fialová kružnice
- **UMBO** – centrální bílá tečka



Struktura sítnice v makule

- ve foveola centralis jsou jen čípky, tyčinky se objevují až ve vzdálenosti 0,13mm od centrální jamky.

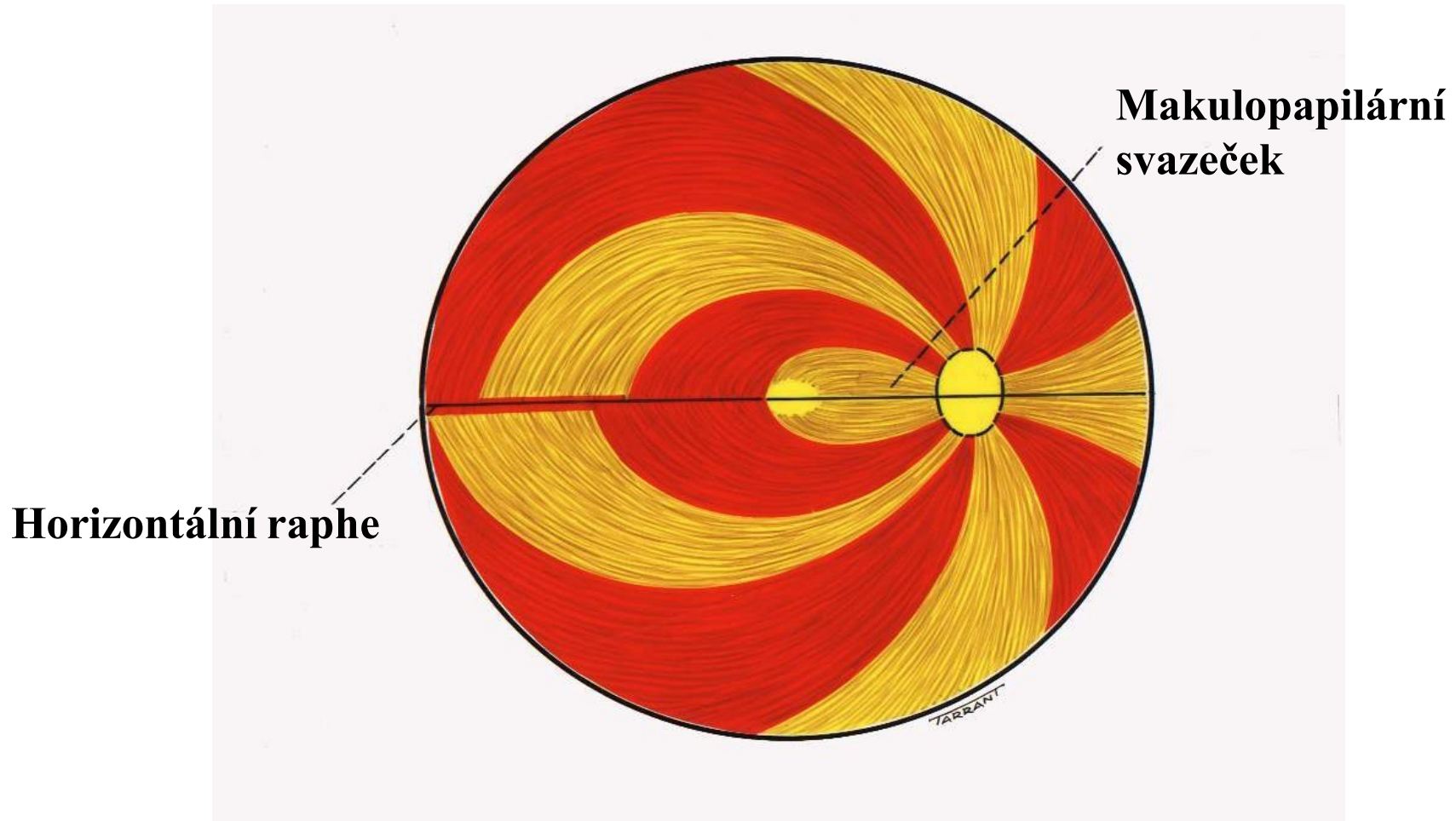


Struktura sítnice při
okraji terče zrakového
nervu



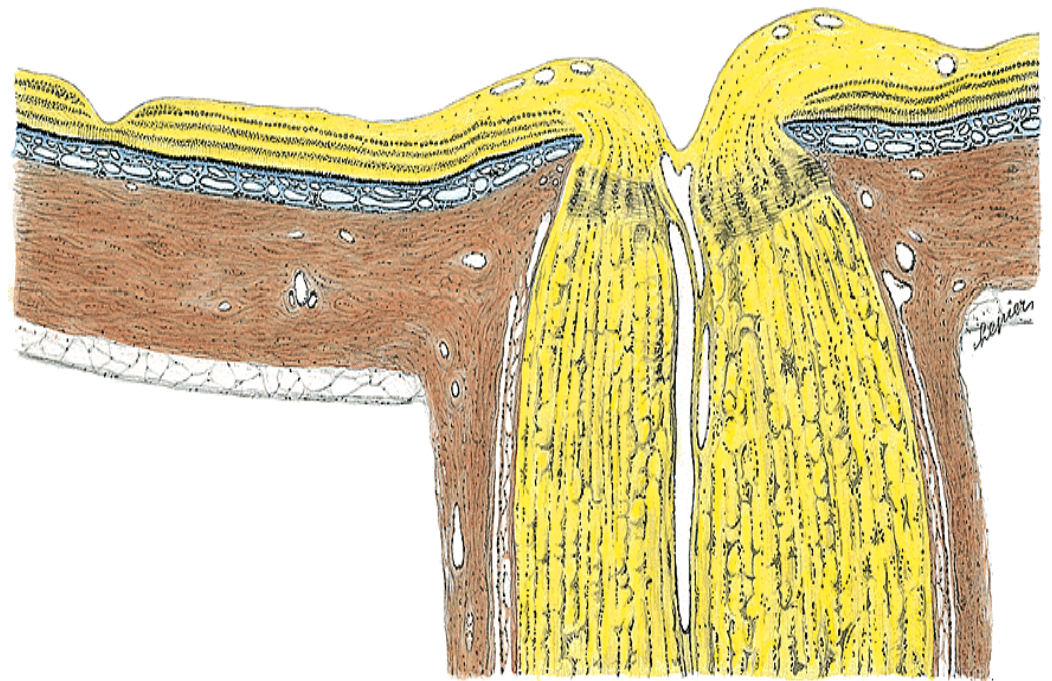
Papilomakulární svazek

-Více než 1/3 všech axonů sítnice, ve zrakovém nervu se přesouvá centrálně



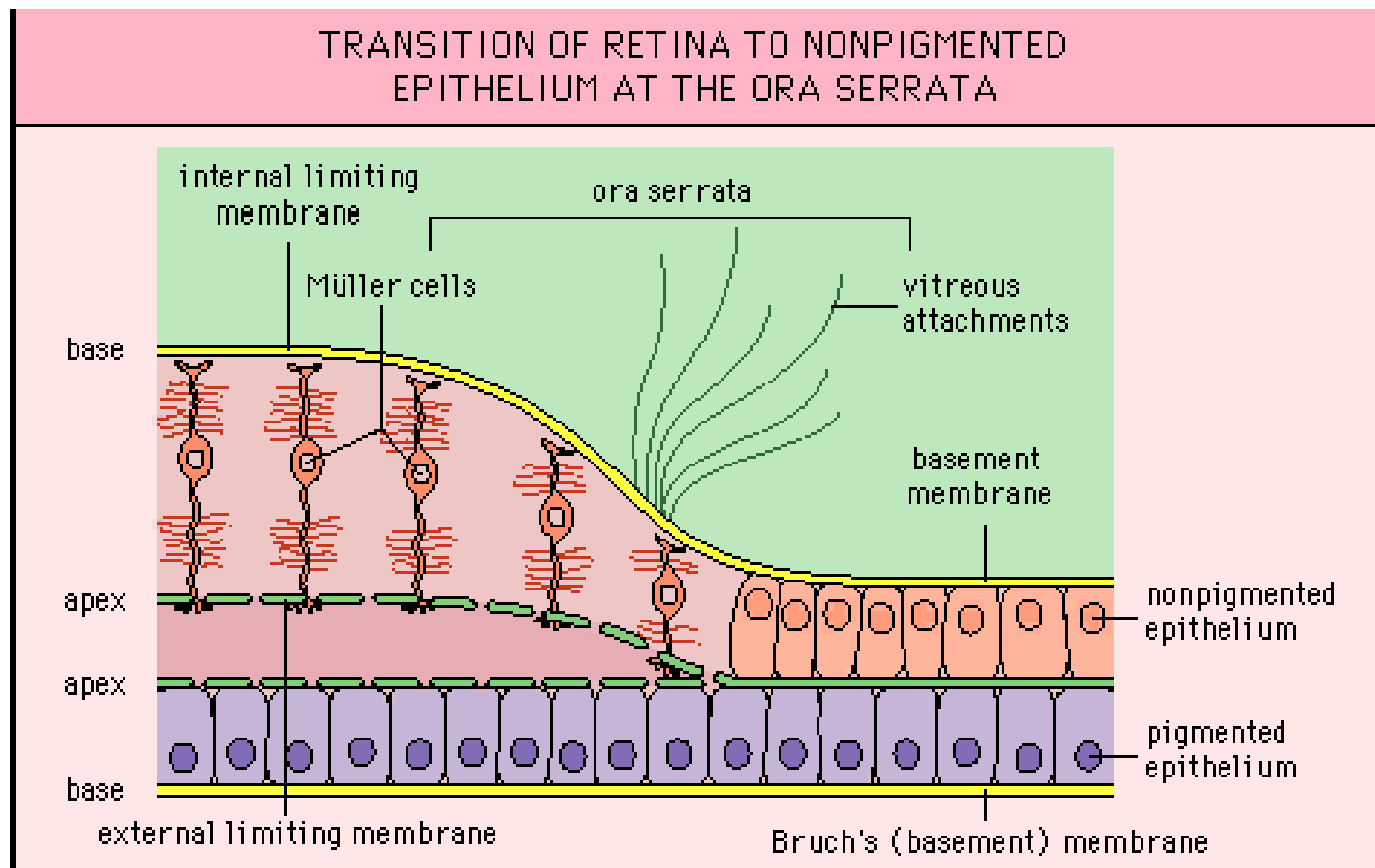
Specifické úseky sítnice

- **Papilla n. optici** – jen MLI, fyziologická exkavace



Specifické úseky sítnice

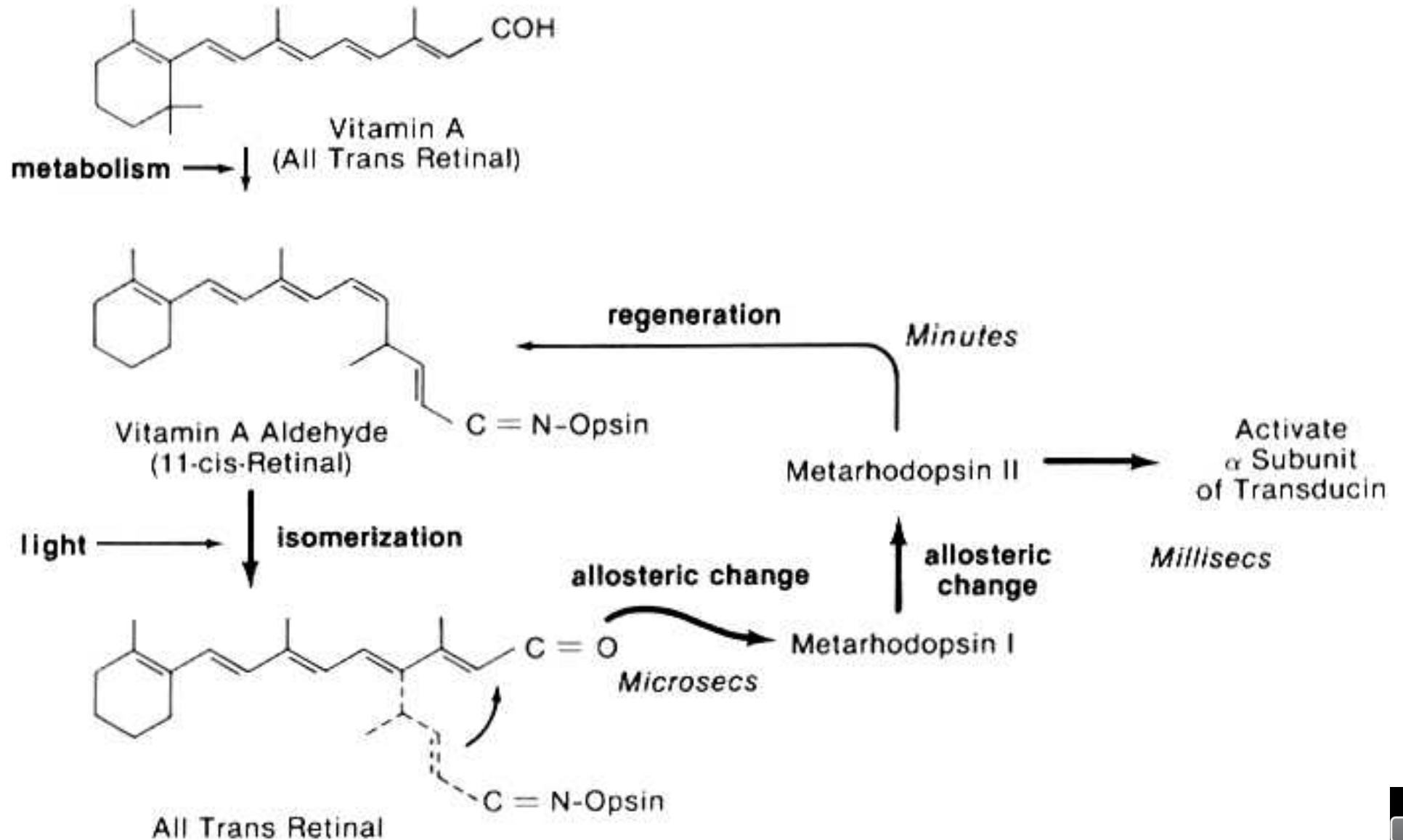
- **Ora serrata** – přechod optické části sítnice ve slepou, redukce vrstev sítnice, MLI pokračuje na iris



Působení světla na sítnici



Cyklus rhodopsinu



***Aktivita horizontálních,
bipolárních a amakrinních buněk***



Horizontální buňky

- Vytvářejí s fotoreceptory synapse v **triádách**
- Činností horizontálních bb. vznikají **negativní S-potenciály**
- Horizontální bb. odpovídají na osvětlení **hyperpolarizací** (ve tmě jsou depolarizovány)
- **L-typ** horizontálních bb. reaguje hyperpolarizací na všechny barvy spektra rovnoměrně a jeho odpověď se zvyšuje úměrně s intenzitou osvětlení
- **C-typ** bb. reaguje specificky na určité složky spektra



C-typ horizontálních buněk

- Jedna skupina C-bb. je max. depolarizována **červenou** složkou spektra a maximálně hyperpolarizována **zelenou** složkou
- Druhá skupina C-bb. reaguje maximální depolarizací na **žlutou** barvu a maximální hyperpolarizací na barvu **modrou**.

Informace o barvě světla se přenáší ze tří typů čípků na dva typy tzv. oponentně reagujících buněk horizontálních



Oponentní princip kódování barev pomocí S- potenciálů horizontálních buněk

- **R-G systém:** červená barva (red) způsobí hyperpolarizaci, barva oponentní, zelená (green), způsobí depolarizaci.
- **Y-B systém:** oponentní systém žluté (yellow) a modré (blue) barvy
- Informace ze 3 typů čípků se převádí na kód, který je nervovému systému vlastní – na hyperpolarizaci a depolarizaci



Bipolární a amakrinní buňky

- **Bipolární bb.** reagují na osvětlení buď hyperpolarizací nebo depolarizací podle toho, jaká část jejich receptivního pole byla osvětlena
- **Receptivní pole** = část prostoru, na jejíž osvětlení buňka reaguje.
- **Amakrinní bb.** nejspíše signalizují změnu v úrovni osvětlení sítnice. Jako první z bb. sítnice generují akční potenciál
- **Bipolární a amakrinní bb. vytvářejí jakýsi předstupeň zpracování informace o prostorových a intenzitních parametrech světelného podnětu.** K dalšímu zpracování dochází v gangliových bb.



Gangliové buňky sítnice

- Při řezu n.II bychom dostali zorné pole rozdělené na mozaiku asi 1 mil. receptivních polí
- **Kruhová receptivní pole** gangliových bb. $0,5^\circ$ - 2° mají *centrum a periferii*
- Jeden typ bb. reaguje na začátek osvětlení centra excitací – **on reakce**, naopak v periferním pruhu receptivního pole je excitací signalizováno skončení osvětlení – **off reakce**. Druhý typ bb. má opačný výskyt odpovědí (v centru off reakci a v periferii on reakci)

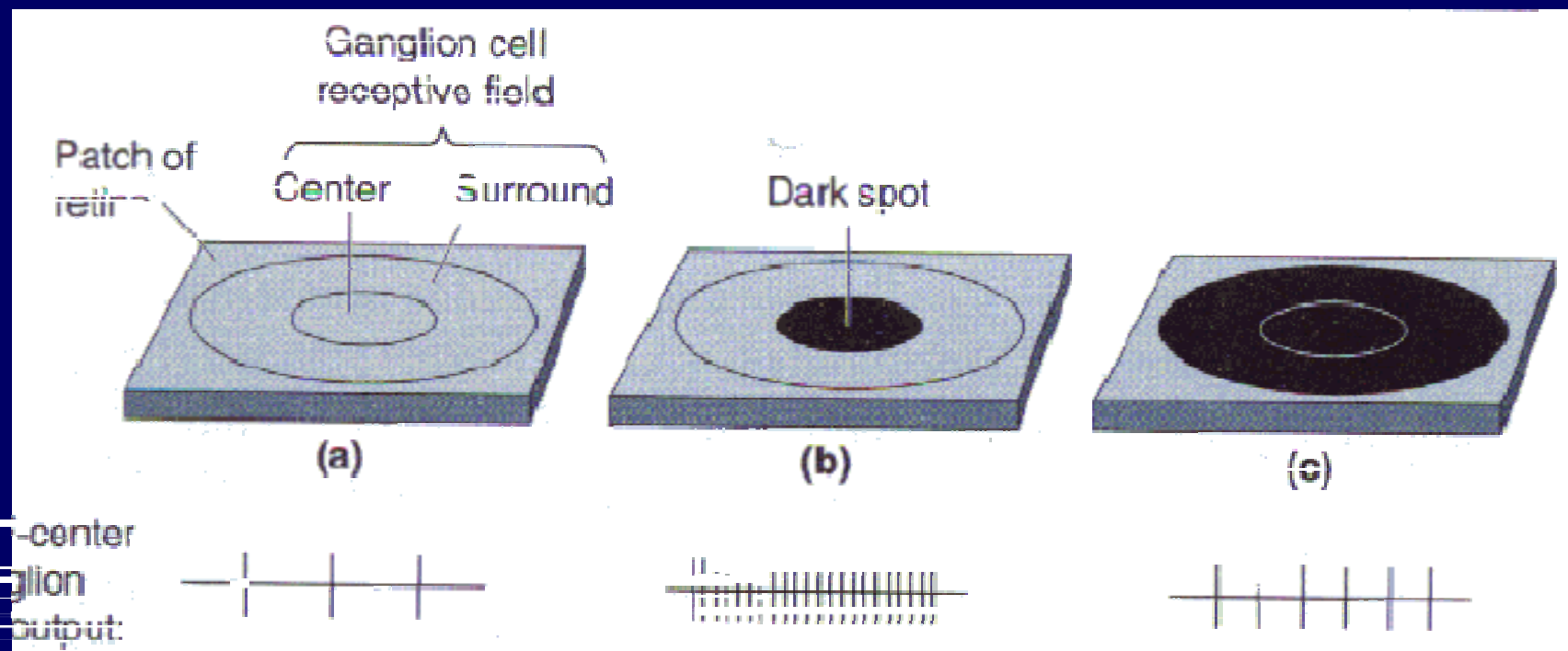


Gangliové buňky sítnice

- Současné osvětlené obou částí receptivního pole zablokuje zcela aktivitu buňky – periferie a centrum se navzájem tlumí.
- On- reakce (odpověď na začátek osvětlení) je způsobena *depolarizací* membrány b.
- Podstatou Off- reakce je *hyperpolarizace*



'Off-center' receptive field



System X, Y a W gangliových buněk sítnice

- **Buňky systému Y** mají největší tělo, největší průměr axonu, rychlost vedení $>40\text{ms}^{-1}$, jsou po celé retině homogenně rozptýleny, mají koncentrická receptivní pole on a off. Na osvětlení části receptivního pole reagují jen krátkým přechodným výbojem aktivity. Je jich jen málo a další vlastností je nelineární sumace vlivů z centra a z periferie. V Corpus geniculatum laterale odpovídají magnocelulárnímu systému



System X, Y a W gangliových buněk sítnice

- **Buňky systému X** mají menší tělo, menší průměr axonu, rychlost vedení $>20\text{ms}^{-1}$, představují více než $\frac{1}{2}$ gangliových bb. sítnice a jsou zastoupeny zejména v centru sítnice. Jejich vlastností je i lineární efekt sumace vlivů centra a periferie, která při současné stimulaci zcela zablokuje aktivitu buňky.



System X, Y a W gangliových buněk sítnice

- **Buňky systému W** mají malé rozměry těla i axonů a vedou vzruch velmi pomalu- 10ms^{-1} . Reagují na rozdíl od neuronů X a Y na pohyb a na směr pohybu předmětu v receptivním poli.
- Gangliové bb. mají také spektrální senzitivitu – bb. sítnice (čípky, horizontální bb., gangliové bb.) tedy předzpracovávají barevnou informaci.



Pigmentový epitel sítnice a jeho funkce



Pigmentový epitel sítnice

- Obsahuje **antioxidační enzymy** *superoxiddismutázu a katalázu*, které vychytávají volné radikály a tím chrání lipidové membrány před poškozením (VPMD)
- Produkuje **růstové faktory**, které modulují nejen činnost RPE, ale ovlivňují také činnost okolních tkání ⇒ RPE je součástí komplexního systému interakcí na celulární úrovni, které řídí cévní zásobení, permeabilitu, růst, reparační pochody a další pochody nezbytné pro zachování funkce retiny



RPE - růstové faktory

- PDGF - platelet-derived growth factor (ovlivňuje buněčný růst a hojení)
- PEDF - pigment epithelium-derived factor (působí neuroprotektivně a inhibuje vaskulární růst)
- VEGF - vascular endothelial growth factor (je schopen stimulace růstu cév i novotvorby patologických cév)
- FGF - fibroblast growth factor (má neurotropní vlastnosti)
- TGF - transforming growth factor (ovlivňuje= moduluje zánětlivou reakci)



RPE a elektrická aktivita

- RPE negeneruje žádnou přímou elektrickou odpověď na světelný stimul
- Existuje však ***transepiteliální napětí*** napříč buňkou RPE, které může být sekundárně modifikováno např. činností fotoreceptoru po jeho osvitu (klinický korelát v C- vlně ERG a rychlé oscilaci EOG...)
- Bazální membrána RPE může být hyperpolarizována nezávisle na světle např. po i.v. injekci acetazolamidu či hyperosmotické látky a depolarizována např. po perorálním požití alkoholu. Klinický význam těchto reakcí však ještě nebyl objasněn



RPE a regenerace zrakového pigmentu

- Po absorpci světla rhodopsinem a jeho přeměně na all trans formu začíná série regeneračních pochodů nezávislých na zrakovém vjemu
- Vitamin A je odštěpen od molekuly opsinu a přenesen prostřednictvím transportních proteinů do RPE
- V RPE může být vitamin A uchován ve formě esteru nebo isomerizován zpět do cis formy a rekombinován s molekulou opsinu
- RPE je také nepostradatelný pro vychytávání vitamínu A z krve a udržování jeho koncentrace v oku



RPE a regenerace fotoreceptorů

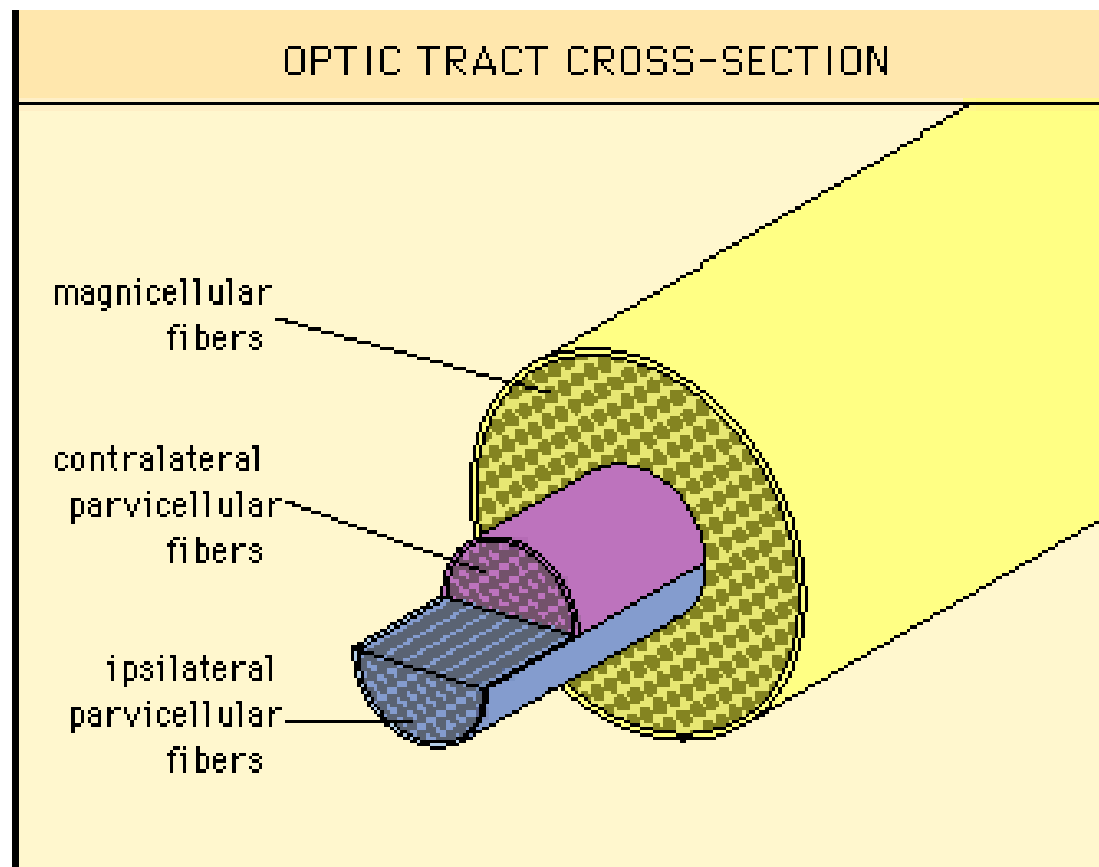
- RPE denně fagocytuje až 100 disků zevního segmentu fotoreceptorů, zatímco dochází k syntéze nových disků
- Proces buněčné obnovy fotoreceptorů podléhá cirkadiálnímu rytmu:
 - tyčinky uvolňují disky zejména ráno při zahájení osvitu
 - čípky uvolňují disky spíše při stmívání
- Zevní segmenty fotoreceptorů se kompletně obnoví přibližně každé 2 týdny
- VPMD



Receptivní pole zrakové dráhy

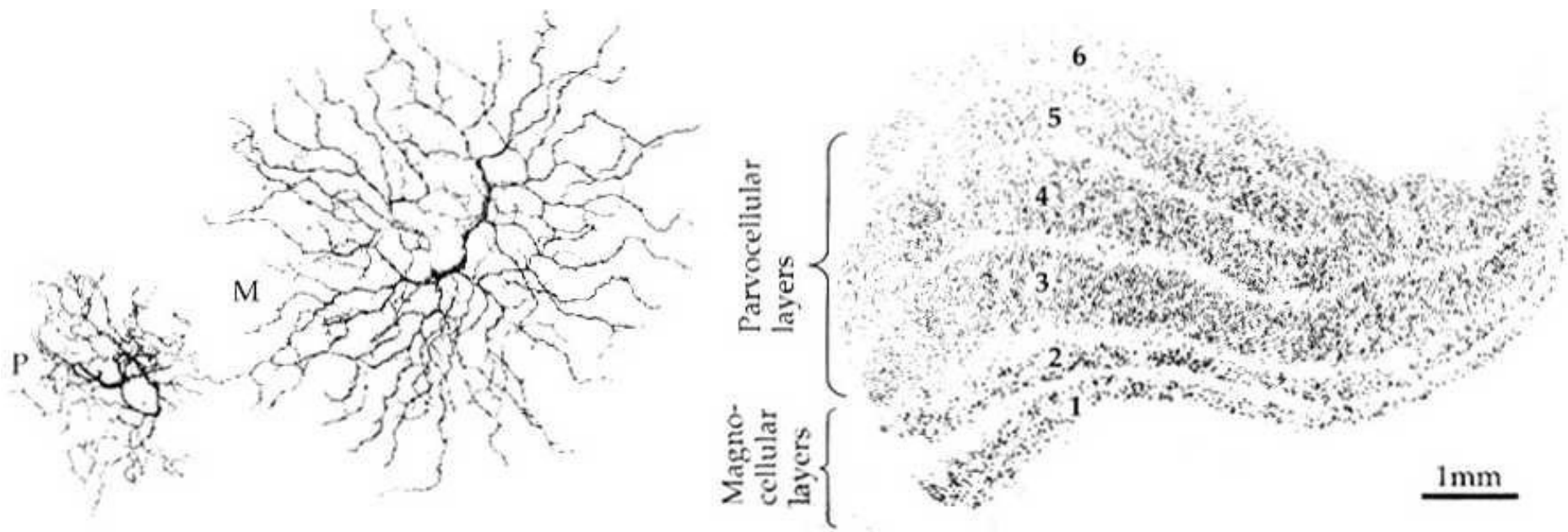


Příčný řez optickým traktem



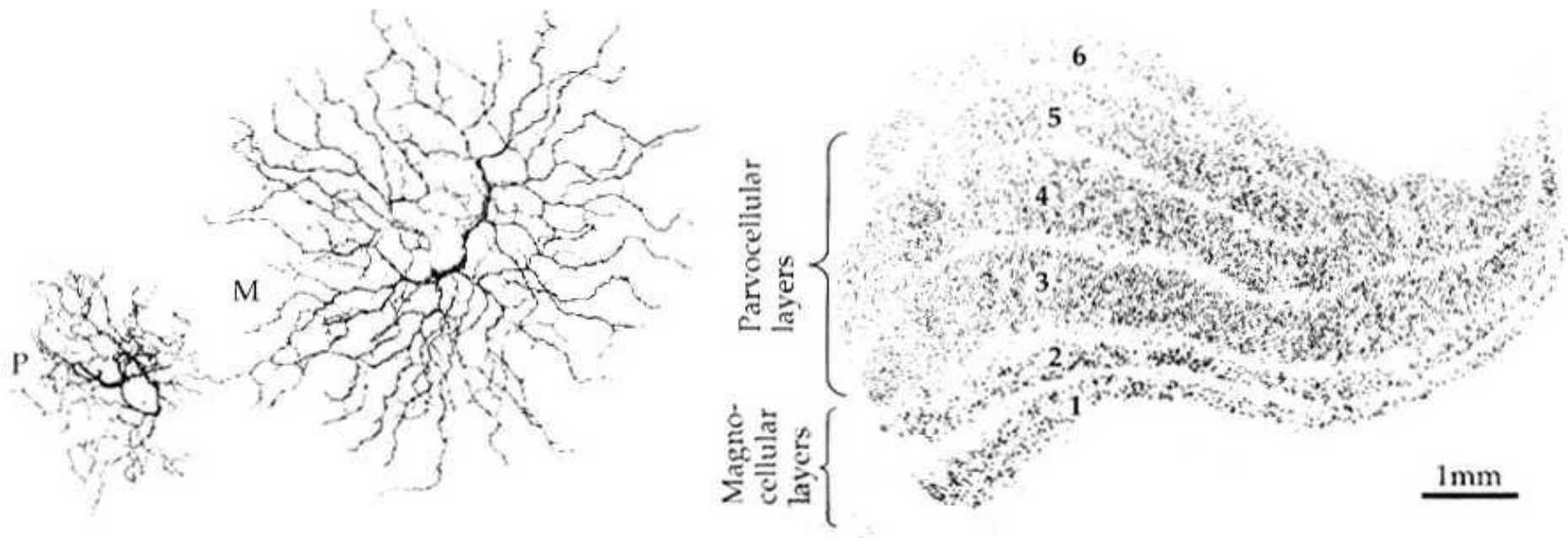
Corpus geniculatum laterale

- **Nezkřížená vlákna** (z ipsilaterální temporální poloviny sítnice) končí ve vrstvách 2,3,5
- **Zkřížená vlákna** (kontralaterální nasální poloviny sítnice) končí ve vrstvách 1,4 a 6



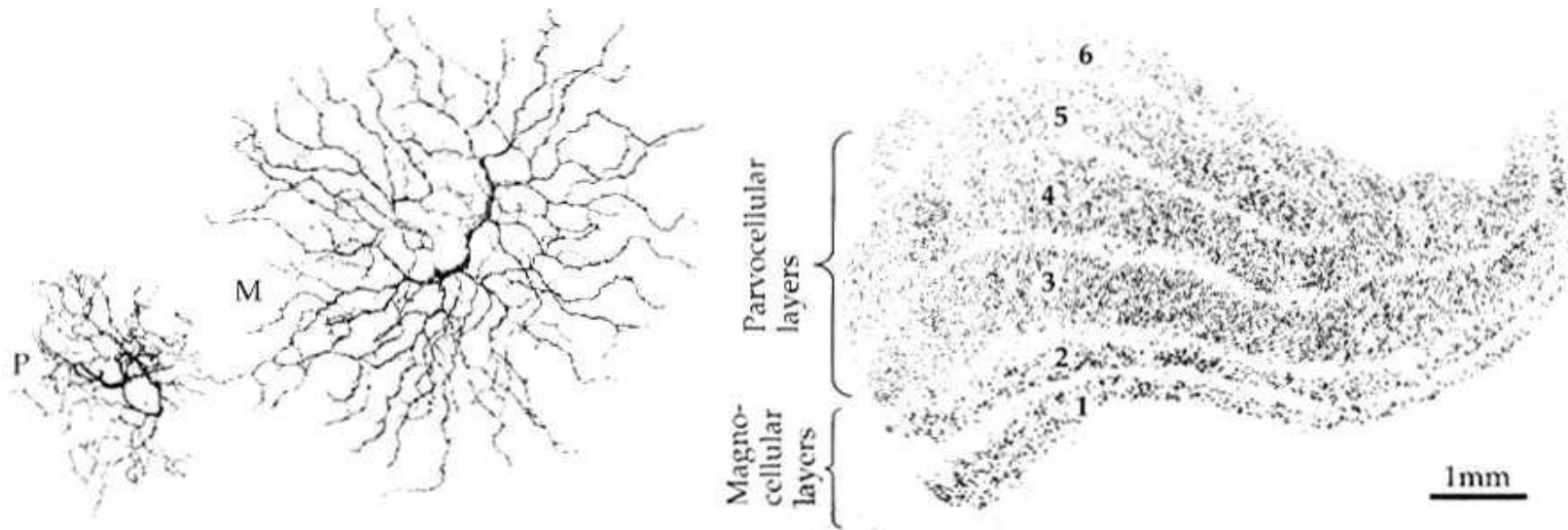
Corpus geniculatum laterale

- Vrstvy corpus geniculatum lat. lze také dělit dle velikosti neuronů:
 - Magnocelulární neurony (M) se nacházejí zejména ve vrstvách 1 a 2
 - Parvocelulární neurony (P) utvářejí vrstvy 3 - 6



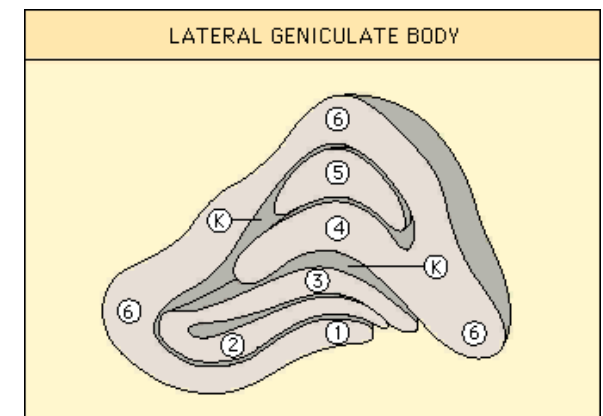
Corpus geniculatum laterale

Studie na primátech naznačují, že **parvocelulární dráha** vede informace týkající se *barvocitu a rozlišovací schopnosti* (kontrastní senzitivita vyšších prostorových frekvencí). **Magnocelulární dráha** vede zřejmě informace týkající se *pohybu* a kontrastní senzitivity nižších prostorových frekvencí.



Corpus geniculatum laterale

- **Receptivní pole** genikulátových neuronů jsou koncentrická s antagonistickou centrální a periferní oblastí (obdobně jako u gangliových neuronů)
- **On a off reakce** je buď na začátek nebo na konec osvětlení (obdobně jako u gangliových neuronů)
- **K buňky (koniocelulární neurony)** jsou malé bb. v corpus geniculatum laterale; nejspíše modulují informace obou hlavních drah (magno a parvocelulární)



Radiatio optica - tractus geniculocalcarinus

- **Nejdelší a nejzranitelnější úsek zrakové dráhy !**
- **Probíhá v dorzální části capsula interna, za ní se rozvine do plochy, obchází postranní mozkovou komoru temporálním a parietálním lalokem do laloku okcipitálního**



Radiatio optica - tractus geniculocalcarinus

- Optická radiace vytváří ve svém průběhu **tři hlavní svazky**
- **Horní svazek** vede impulsy z horních retinálních kvadrantů, jde v hloubce temporoparietálního laloku celkem přímo dozadu a končí v horním rtu fissura calcarina
- **Střední svazek** představuje téměř 1/2 všech vláken radiace, je tvořen *makulárními vlákny* a jde k zadnímu pólu týlního laloku, kde končí jak nad kalkarinou tak pod ní.

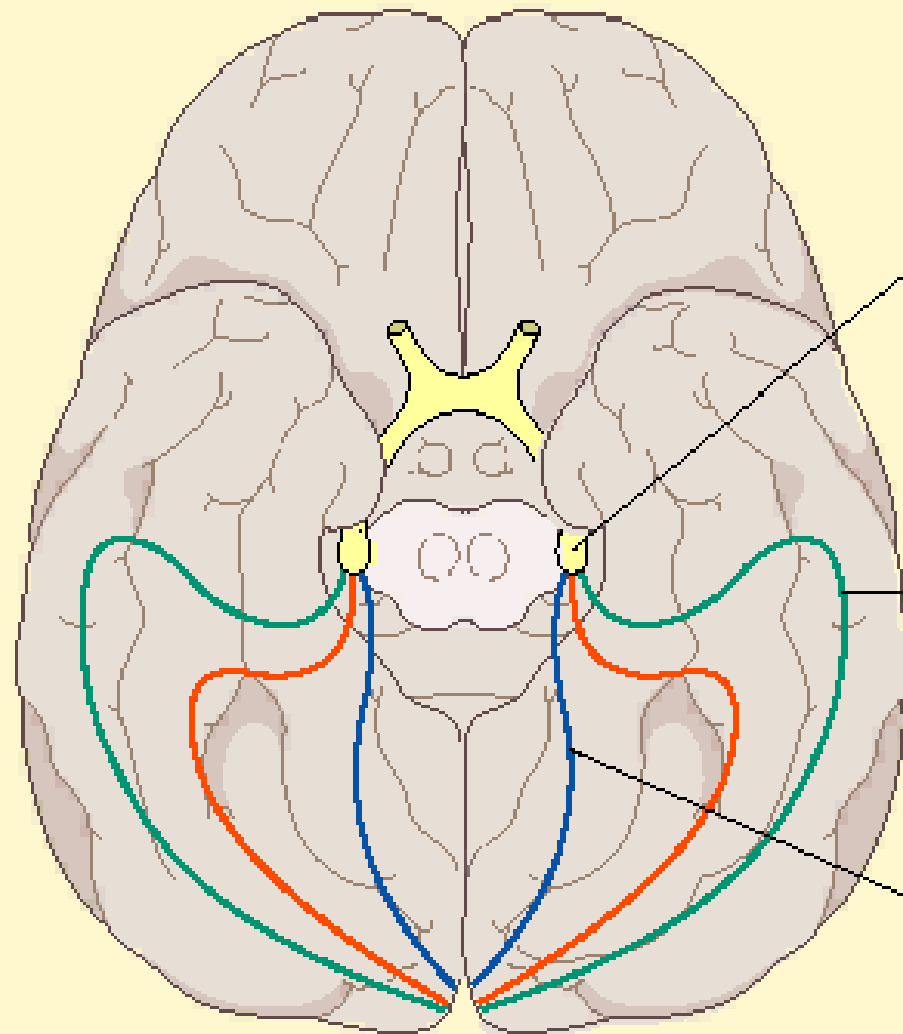


Radiatio optica - tractus geniculocalcarinus

- **Dolní svazek** vede impulsy z dolních kvadrantů sítnice. Vytváří kolem temporálního rohu postranní komory dopředu konvexní **Meyerovu kličku** končící v dolním rtu kalkariny
- Spojení vláken z korespondujících míst obou sítnic je v průběhu radiace stále těsnější a tím i kongruence event. hemianopických výpadů stále dokonalejší



OPTIC TRACT PATHS



lateral geniculate nucleus

Dolní svazek

inferior retinal fibers

Meyerova klička

Horní svazek

superior retinal fibers



Korová zraková centra okcipitálního laloku

- **area striata (17; V1)**
area parastriata (18; V2, V3, VP)
area peristriata (19; V4, V5, LO, V7, V8)
- V area striata končí vlákna zrakové dráhy
- Area striata - informace z makuly se projikují do kaudální poloviny zrakového kortexu, informace z periferie zorného pole se projikují rostrálně
- Začíná zde zpracování zrakového vjemu: barvy, pohybu a tvaru a příprava informací pro detailní analýzu v různých částech mozku

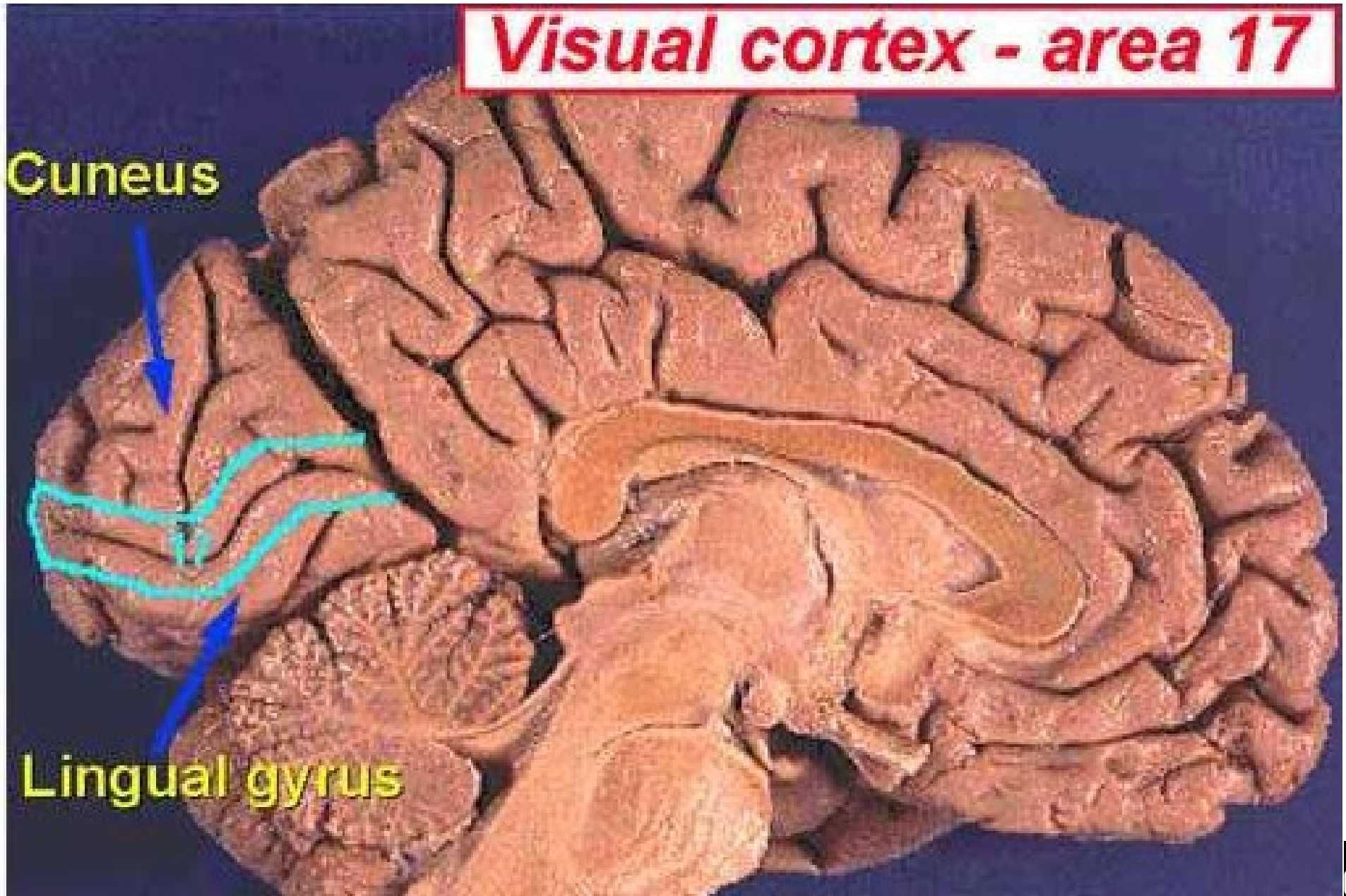


V area striata končí vlákna zrakové dráhy

Visual cortex - area 17

Cuneus

Lingual gyrus



Okcipitální korové zrkové centrum - area 17

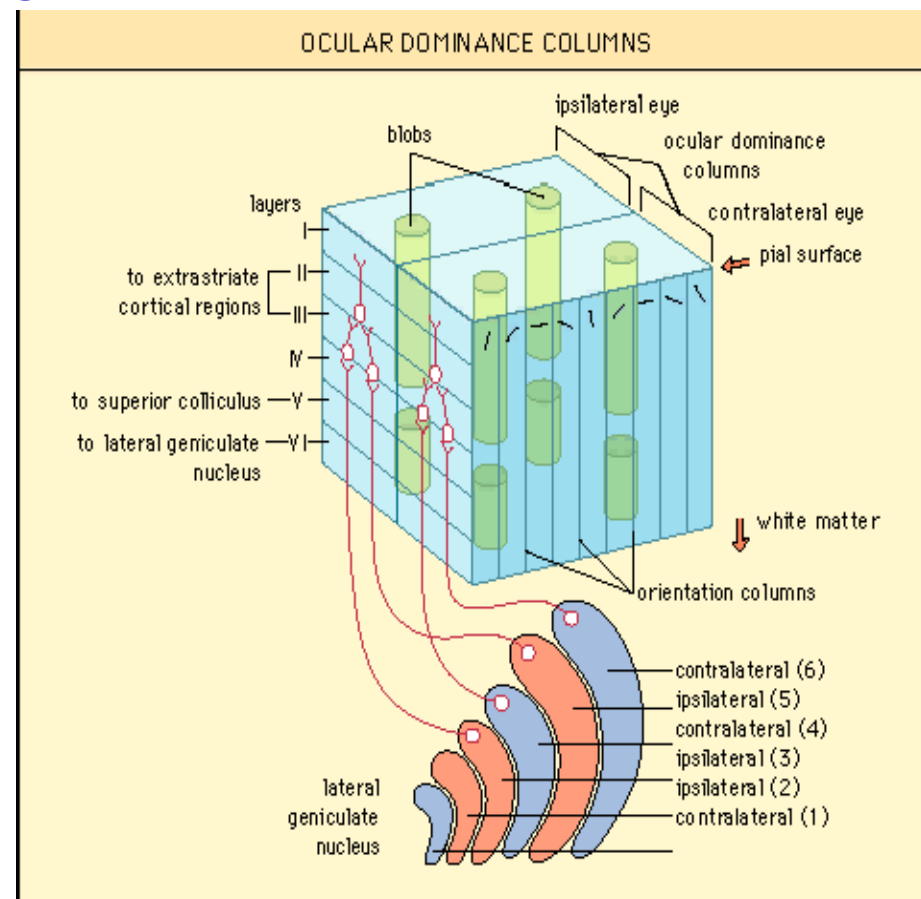
- Povrch zrkového kortexu činí 20-25 cm², což odpovídá asi 3,5% povrchu mozku.
- Zrkový kortex obsahuje 6 histologicky identifikovatelných vrstev lišících se zastoupením buněčných typů.
- IV. vrstva se dále dělí na tři podskupiny IVa, IVb, IVc. Neurony vstupující do zrkového kortexu cestou radiace se zakončují zejména ve vrstvě IVc.



Okcipitální korové zrakové centrum - area 17

- Zdá se, že okcipitální korové zrakové centrum hraje méně důležitou roli ve zpracování zrakového vjemu, než se dříve mínilo

- Jedná se spíše o koordinační centrum, kde jsou informace z obou polovin zorného pole párovány do paralelních, vertikálně orientovaných sloupců zrakové dominance



Okcipitální korová zraková centra

- **area parastriata a peristriata** slouží k integraci zrakových vjemů s dalšími korovými centry a funkcemi a k dalšímu zpracování zrakového vjemu.
- **Area parastriata** je vyhrazena optomotorické koordinaci očí
- **Area peristriata** slouží pro integraci zrakových informací s ostatními smyslovými, fatickými a mentálními aktivitami
- **V8** zpracování vnímání barev; **V3A** zpracování vnímání pohybu; **LO** percepce velkých objektů



Korová zraková centra okcipitálního laloku

- Je-li porušena funkce area 18 (parastriata) při zachování funkce area 17, pak má pacient **zrakovou agnózi** = vidí předmět, ale neumí jej pojmenovat nebo použít
- **Area parastriata** má dále vliv na rozlišení jasu, barvy a pohybů



Korové zvětšení

- Při projekci sítnice do zrakové kůry je zachováno rozlišení, které vzniklo již v sítnici. Jedné buňce corpus geniculatum laterale odpovídá více buněk kůry = **korové zvětšení**
- 1 mil. nervových vláken n. opticus odpovídá 1 mil. nervových buněk corpus geniculatum laterale, ale tomuto počtu neuronů odpovídá v mozkové kůře 145 milionů buněk !



Receptivní pole neuronů zrakové kůry

- Tvarem nejsou pole koncentrická, ale *elipsoidní, oválná a i nepravidelného tvaru*
- V kůře je odpověď neuronů na kruhovou a nepohyblivou skvrnu (čili na začátek a konec stimulace) nepatrná (na rozdíl od corpus geniculatum laterale).
- Optimální podnět pro korové neurony je **podélný kontrastní podnět** (světlý nebo tmavý pruh), který má **určitou orientaci a pohybuje se určitým směrem a určitou rychlostí** přes receptivní pole neuronu.



Receptivní pole neuronů zrakové kůry

- Korové bb. vyžadují **podnět o určité orientaci**, jsou tedy analytickými jednotkami vyššího stupně, které v zorném poli rozeznávají tvar podnětu, event. pohyb podnětu o určitém tvaru
- Podle vlastností receptivních polí a složitosti podnětu, které vyvolají reakci neuronů dělíme korové neurony na tři základní skupiny:

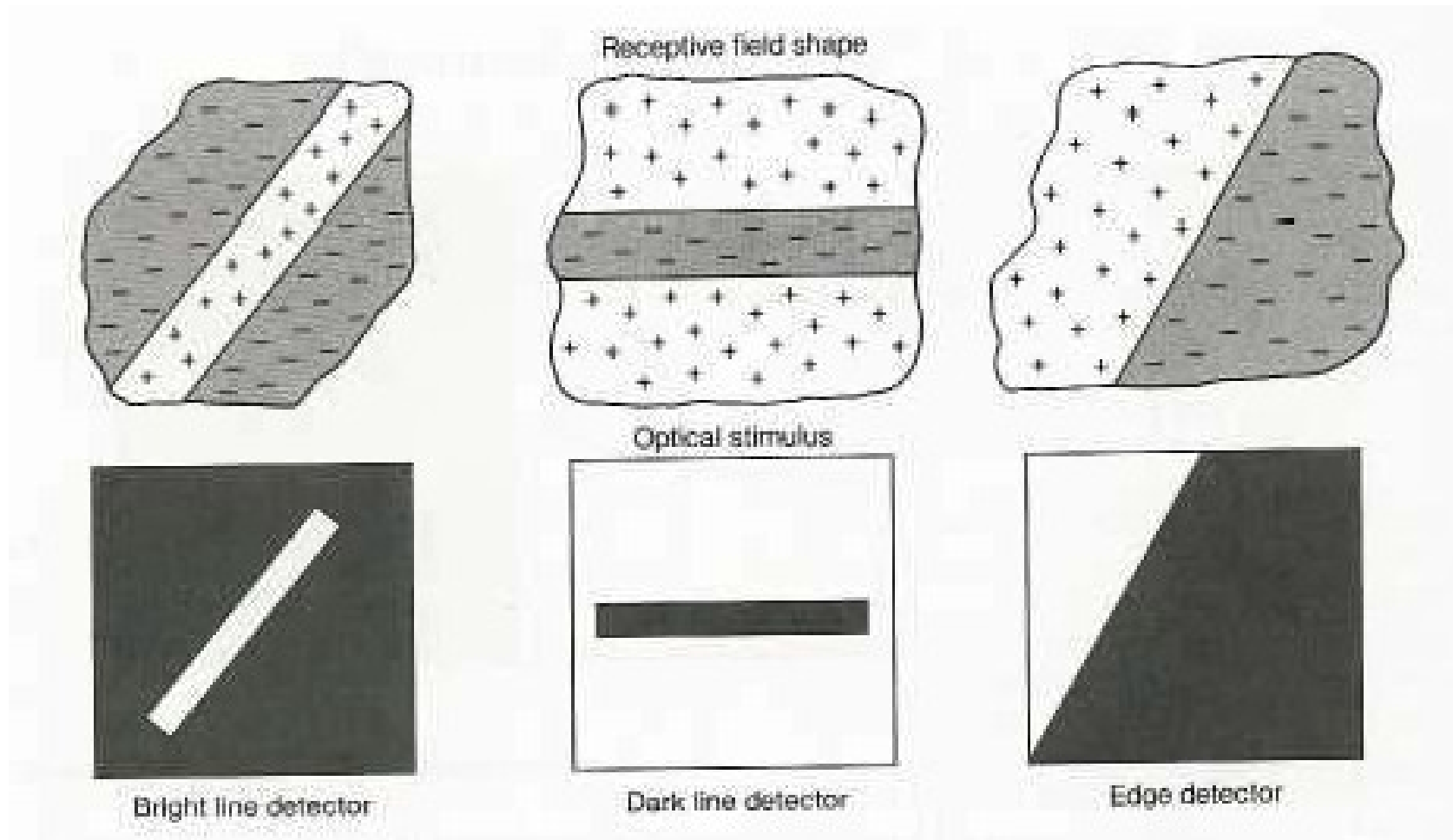


1. Jednoduchá receptivní pole

- Mají podélná až elipsovité tvar, skládají se z centrální a periferní části, které na sebe působí navzájem antagonisticky (excitace – inhibice)
- Optimální pro podráždění je podnět podlouhlého tvaru jehož orientace v prostoru je souhlasná s podélnou osou receptivního pole - rozhodující je ***orientace podnětu***
- Optimální odpověď: pohybuje-li se podnět při konstantní orientaci receptivním polem pomalu



1. Jednoduchá receptivní pole a jejich stimulace

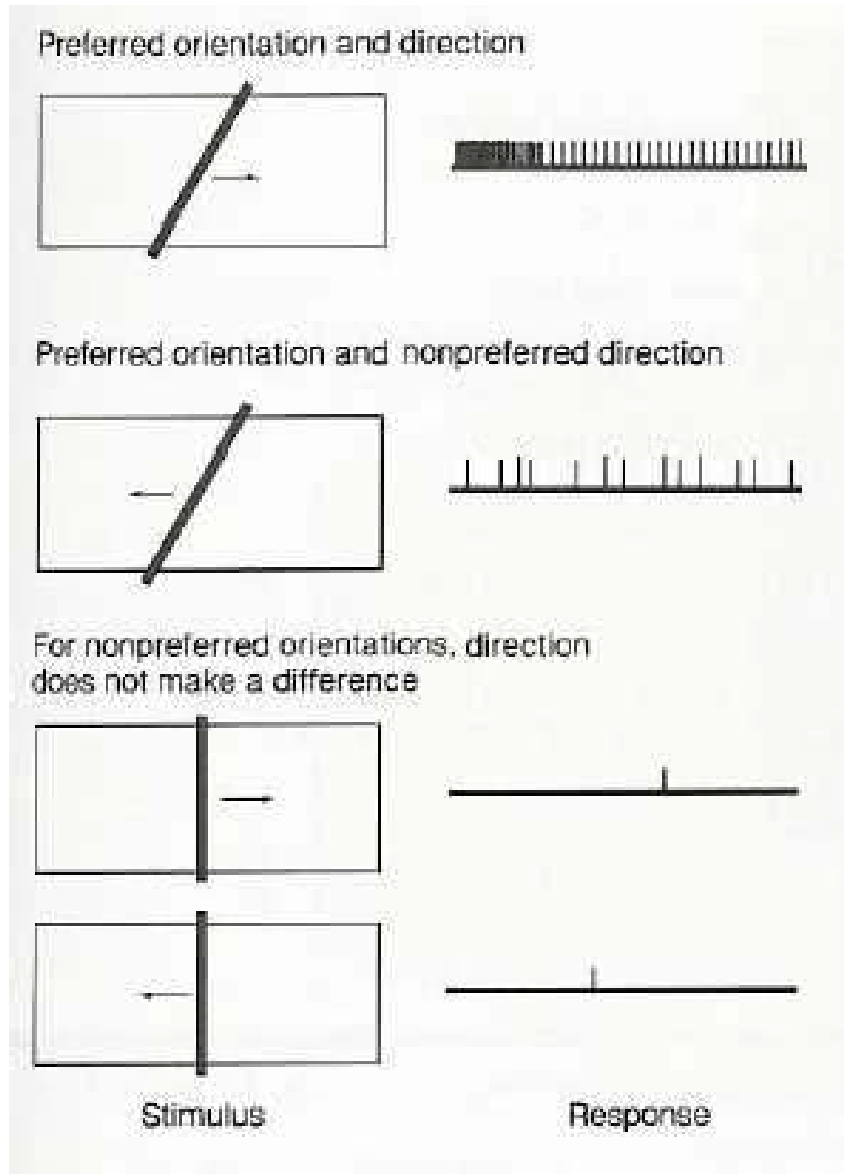


2. Komplexní receptivní pole

- Rozměrnější, nemají excitační a inhibiční oblast.
- Buňka je podrážděna pouze při ***určité orientaci podnětu***
- Statické osvětlení receptivního pole je zcela neúčinné, je nutný ***pohyblivý podnět***
- Rychlost pohybu podnětu je vyšší než u jednoduchých polí a roli hraje i ***směr pohybu podnětu*** (pohyb podnětu v jednom směru vyvolá max. odpověď, v opačném směru je neúčinný nebo i tlumí spontánní aktivitu)



2. Komplexní receptivní pole a jejich stimulace



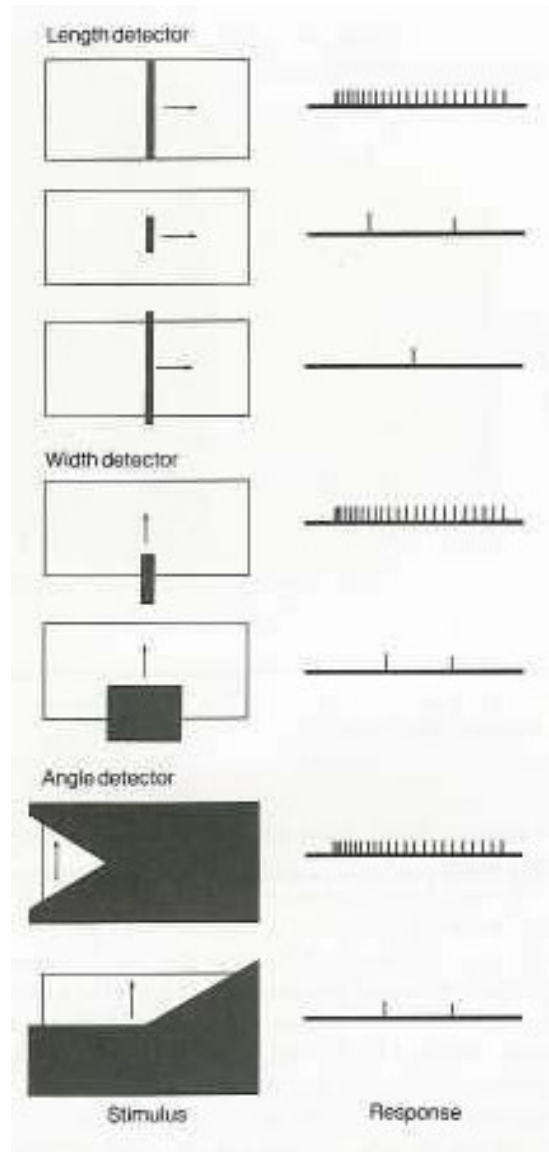
3. Hyperkomplexní receptivní pole

- Podněty mají velmi **nepravidelný a těžko definovatelný tvar**
- Neurony reagují na pohyblivý podnět a to jen v určitém směru – jsou **směrově specifické**

Ve zrakové kůře nalézáme přestavbu jednoduchých receptivních polí retinálních a genikulátových v hierarchizovaný systém polí, který umožňuje z obrazu abstrahovat podstatné rysy, průběh a orientaci kontrastních rozhraní, tvary.



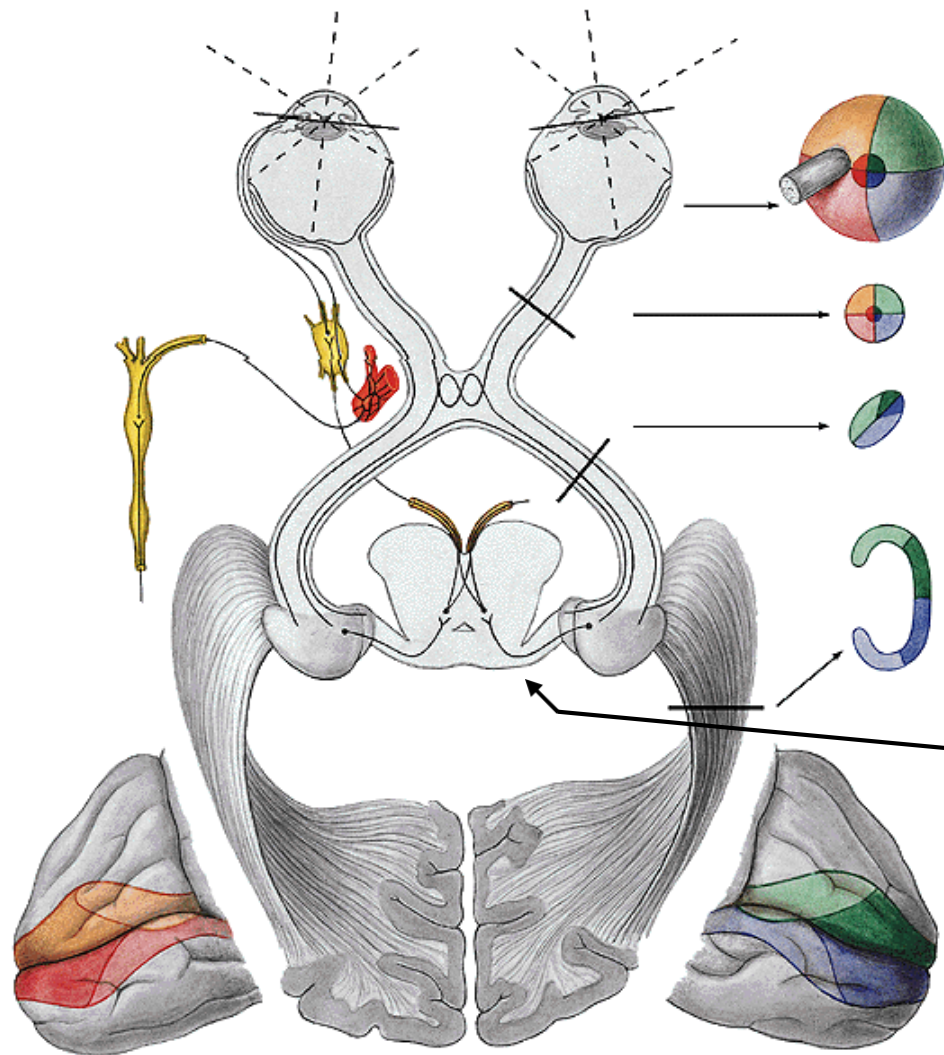
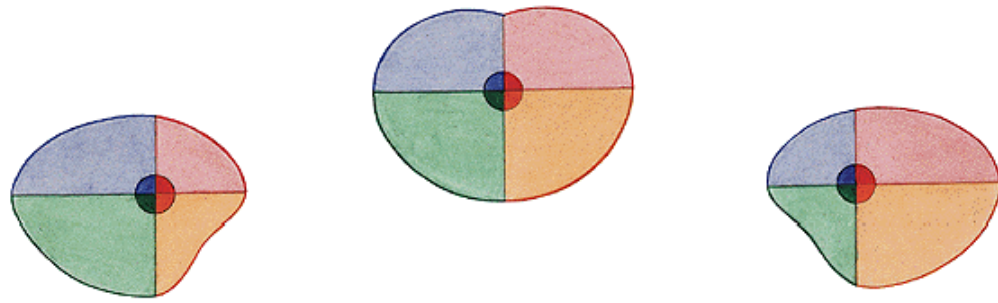
3. Hyperkomplexní receptivní pole a jejich stimulace



Colliculus superior laminae quadrigeminae mesencephali

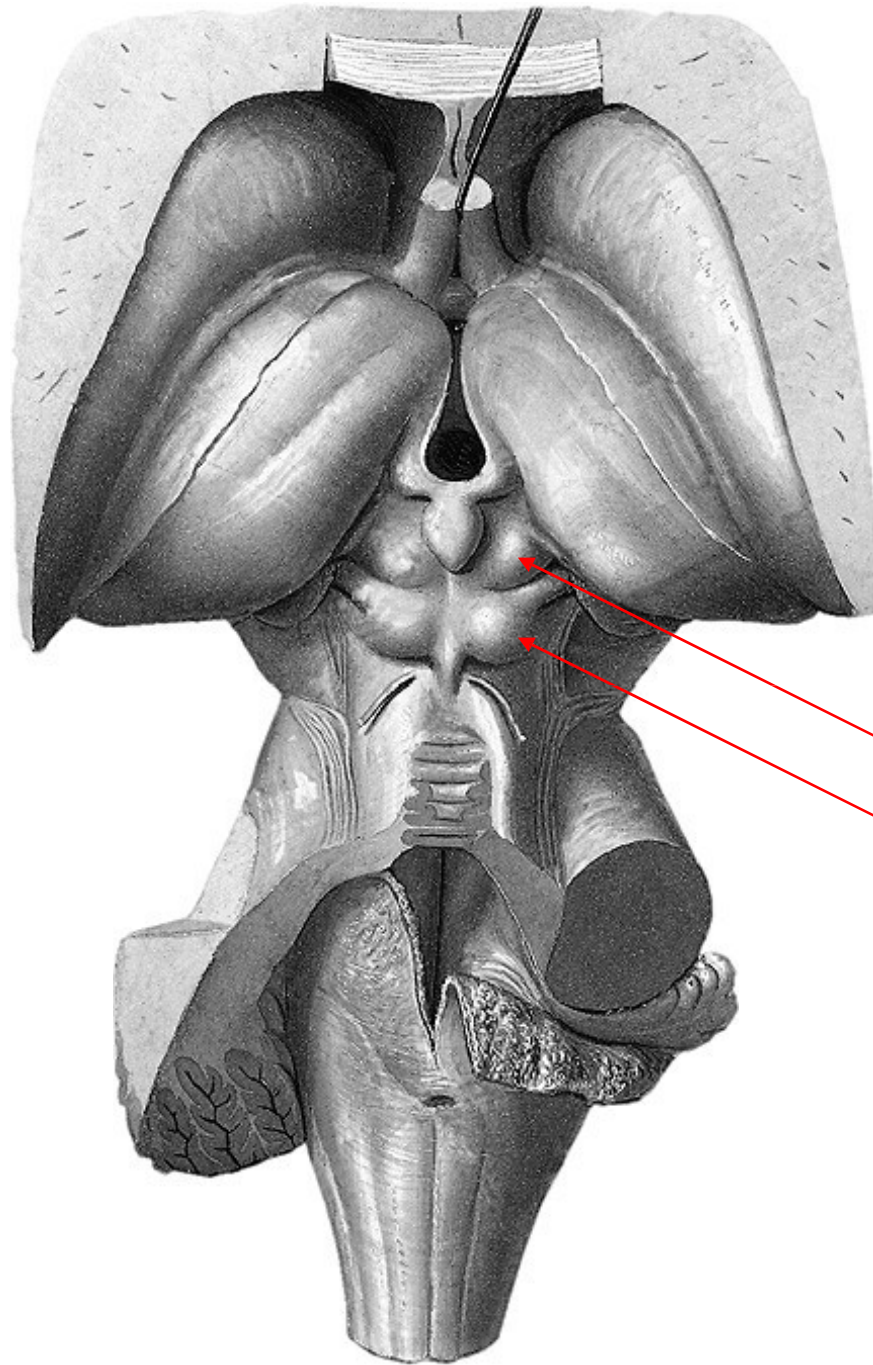
- Dostává vlákna z ipsilaterální temporální poloviny sítnice a kontralaterální nasální poloviny sítnice, vlákna jsou uspořádána retinotopicky.
- Dochází zde k integraci zrakových funkcí a informací ze senzoričských systémů (sluchového, somatosenzoričského, vestibulárního)
- Receptivní pole jsou směrově specifická a reagují na pohybující se podnět





Colliculus superior mesencephala





Colliculus superior mesencephala

Colliculus inferior mesencephala



Colliculus superior laminae quadrigeminae mesencephali

- U jeho receptivních polí je **směrová specificita** (neurony reagují maximálně na pohyb podnětu v zorném poli na kontralaterální stranu)
- **Colliculus sup. dostává vlákna systému W a Y (pomalá), žádná vlákna systému X**
- **Jedná se o obecné integrační centrum, má vstupy akustické, somatosenzorické a vestibulární. Uskutečňuje se v něm koordinace a integrace mezi projekcemi různých modalit**



Poruchy vyšších zrakových funkcí

- Zrakové informace zrkové kůry obou týlních laloků jsou dále zpracovány v parietálním laloku dominantní hemisféry
- **Zrakové agnózie:** porucha poznávání věcí a jejich významu, osob a prostorových vztahů prostřednictvím jinak neporušeného zraku u člověka v lucidním stavu.



Korová slepota

- **Vzniká úplnou destrukcí zrakové kůry obou okcipitálních laloků**
- **Úplná ztráta světlocitu obou očí na organickém podkladě**
- **Příčinou bývají většinou cévní oběhové poruchy**
- **Zornicové fotoreakce jsou zachovány**
- **Chybí mrknutí jako obranný reflex při náhlém přiblížení ruky k oku (objektivní známka korové slepoty)**
- **Chybí optokinetický nystagmus**



Duševní slepota

- Jde o ztrátu zrakových představ
- Pacient vidí (vyhne se překážce), ale vjem nedokáže zpracovat a zužitkovat pokud si nevypomůže jinými smysly (hmatem, čichem, sluchem, mentální asociací)
- Porucha bývá jen vzácně globální, častěji se týká jen některých gnostických funkcí (agnózie neživých objektů (věci), agnózie živých tvorů (osoby, obličeje), agnózie prostorová)



Klasifikace agnózií

- **Agnózie věcí** - pac. nepozná ukázaný předmět (krabičku od zápalek, pomeranč). Pokud však krabičkou zachrastíme nebo přivoní-li k pomeranči hned předmět pojmenuje. Poznává i např. hodinky na ruce či cigaretu v ústech, ale nikoliv položené na stole.
- **Agnózie obrazů** - nerozeznává význam obrazu, ale umí např. popsat jejich detaily
- **Agnózie barev** - pac. má normální barvocit, ale neumí na obrázku správně vybarvit trávu, oblohu ...



Klasifikace agnózií

- **Alexie** = slovní slepota - pac. s normálním zrakem není schopen číst. U **agnostické alexie** má pac. potíže s poznáváním písmen jako grafických symbolů. Zatímco diktát nedělá problémy, opisování vázne. U **afatické alexie** je porucha čtení způsobena rozpadem řeči. Psaní nečiní potíže, ale napsané po sobě nepřečte.
- **Prosopagnózie** - neschopnost rozeznat lidský obličej jako specifický celek. Nepozná obličej známých ani na fotografii. Někdy dokonce nepozná ani vlastní obličej v zrcadle. Každá tvář se mu jeví jako beztvará masa bez výrazu a specifity. Poznají osobu podle hlasu, držení těla, chůze...



Klasifikace agnózií

- **Prostorová agnózie** - ztráta prostorové orientace (bytu, domu, města). Cítí se jako v cizím městě, kde ještě nebyl. (léze parietálního laloku nedominantní hemisféry).



Elektrofyzilogické vyšetřovací metody



Elektrofyzilogické vyšetřovací metody

- **EOG** elektrookulografie
- **ERG** elektroretinografie
- **PERG** pattern ERG - elektroretinogram na strukturované podněty
- **MERG** multifokální ERG
- **VEP** zrakové evokované potenciály
- **PVEP** pattern VEP zrakové evokované potenciály na strukturované podněty
- **EMG** elektromyografie – záznam bioelektrické aktivity svalu
- **ENG** elektronystagmografie

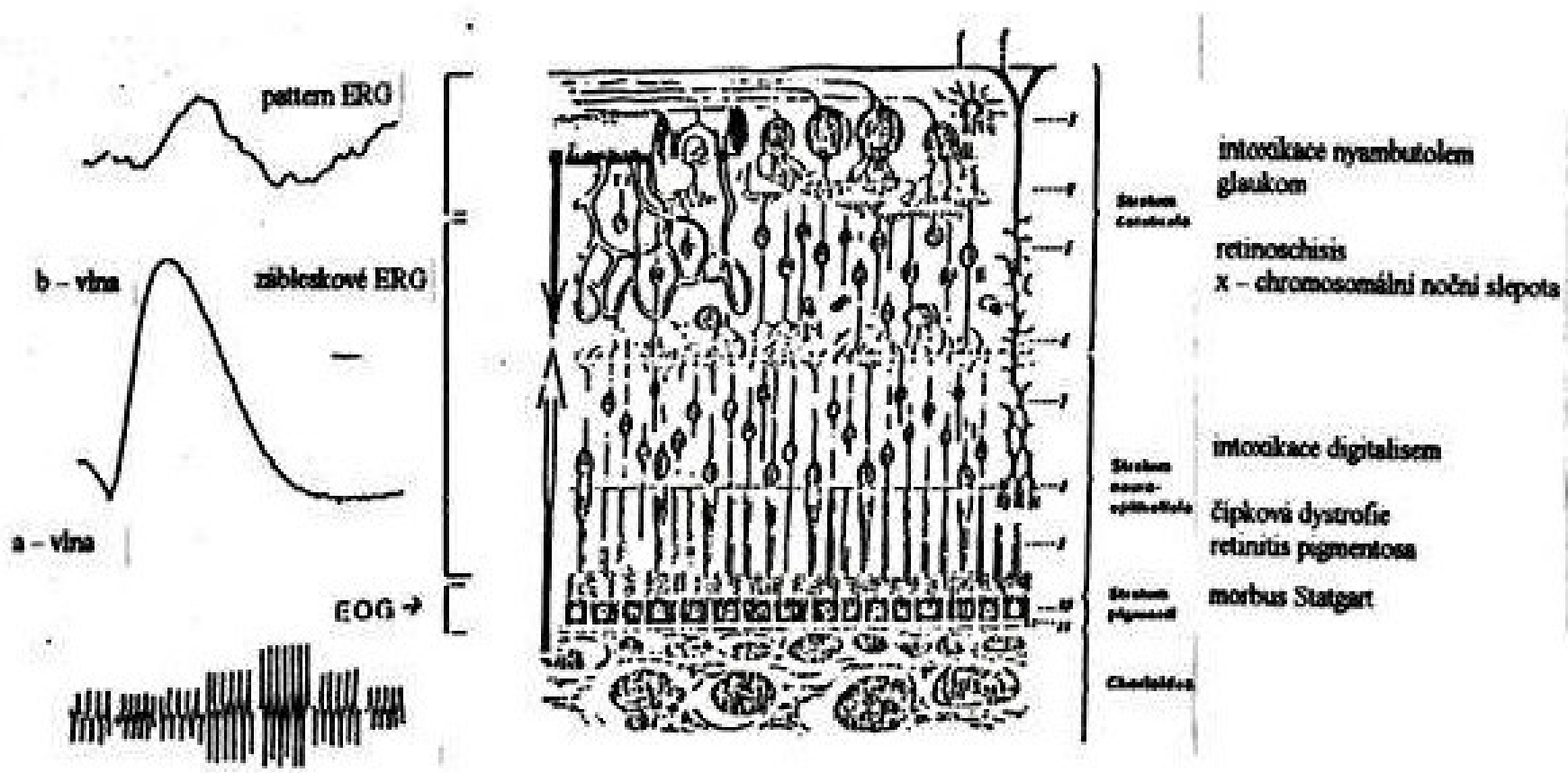


Topografická diagnostika zrakové dráhy pomocí elektrofyziologických metod

- **RPE** EOG (elektrookulografie)
- **Fotoreceptory** Zábleskové ERG, A-vlna, Flicker ERG
- **Bipolární buňky** B- vlna, Flicker ERG, multifokální ERG
- **Gangliové buňky** Pattern ERG (ERG na strukturované podněty)
- **N. opticus** VEP
- **Zrakový kortex** VEP (zrakové evokované potenciály)



Lokalizace potenciálů a vyšetřovací metody dle místa vzniku na sítnici

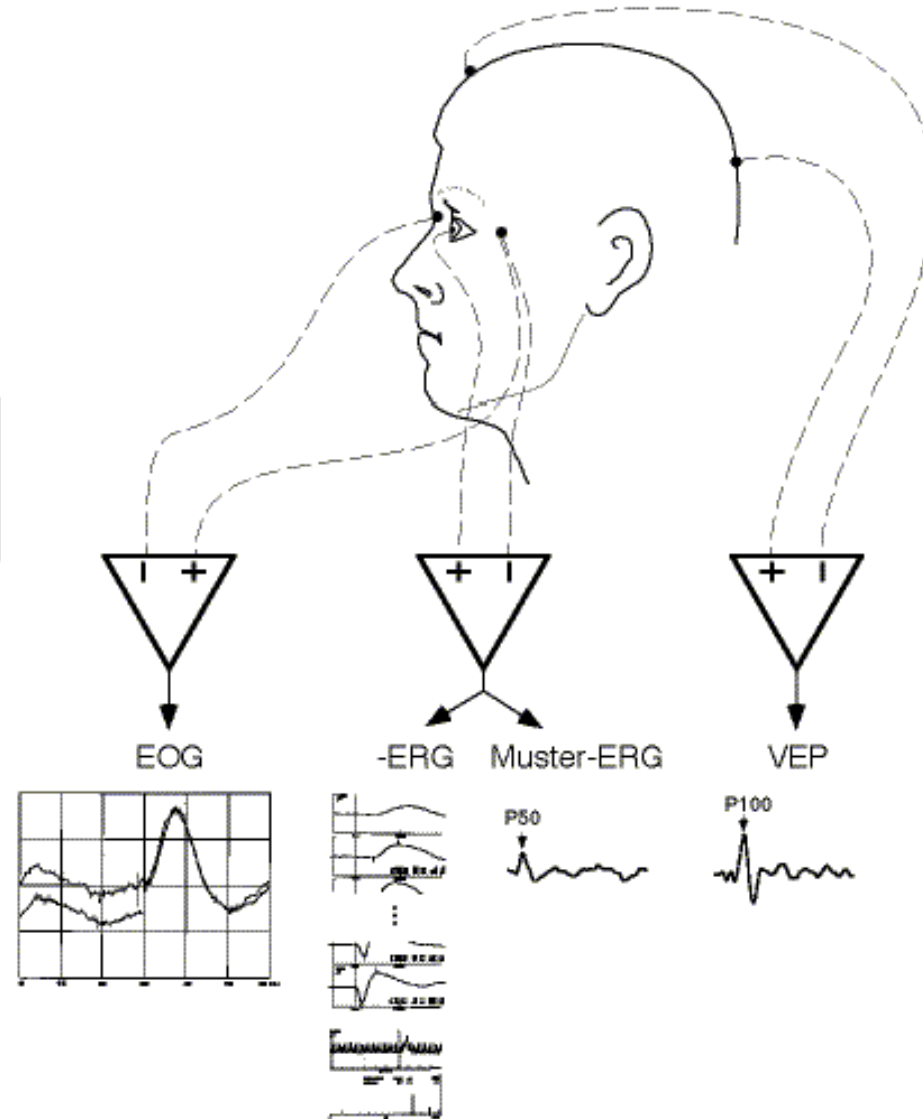


Umístění snímacích elektrod pro jednotlivá vyšetření (ERG, EOG, VEP)

Stimulace sítnice zábleskem



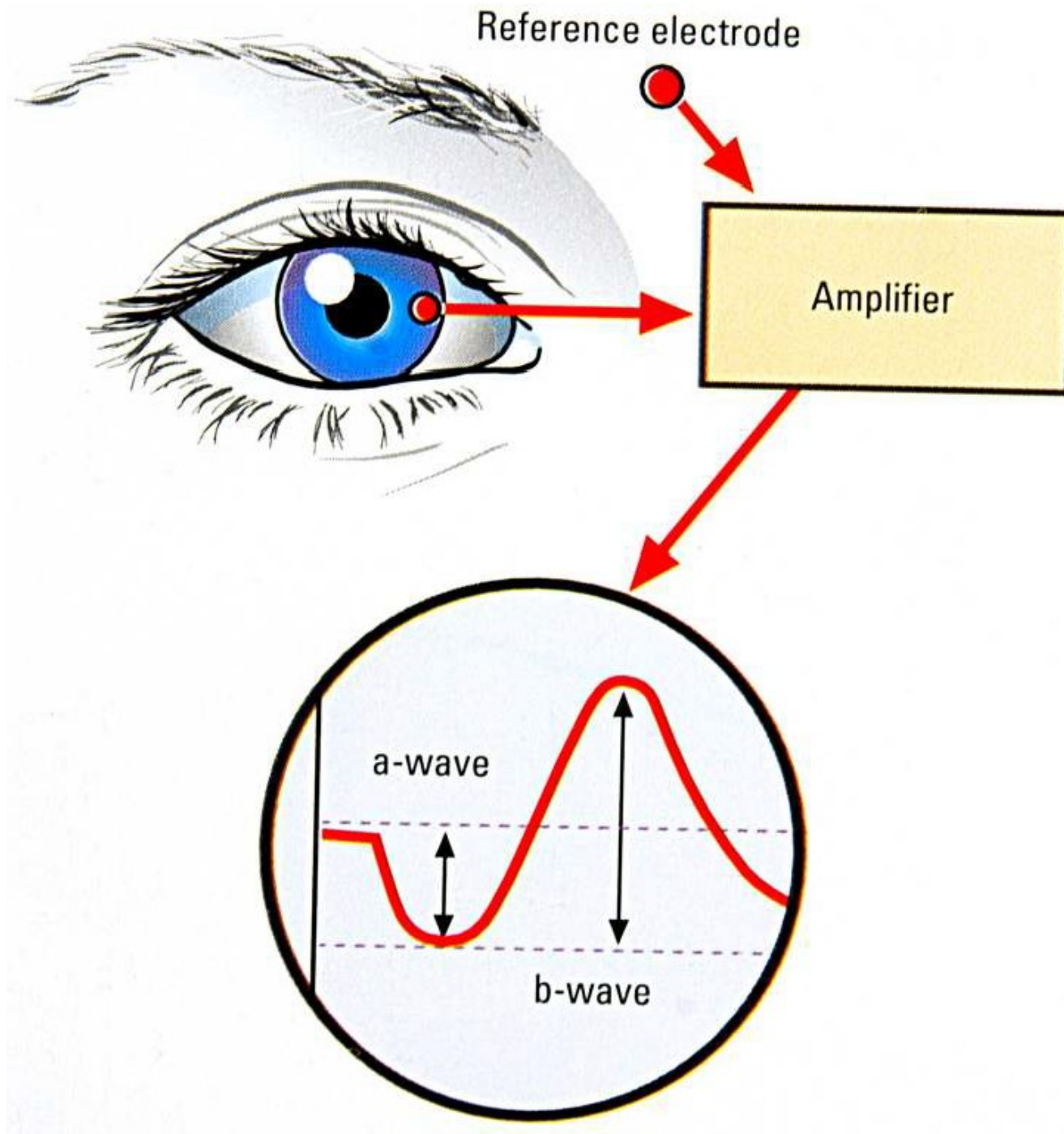
Stimulace sítnice strukturovaným podnětem



ERG

- Záznam elektrických potenciálů, které jsou odpovědí sítnice na stimulaci světlem
- Akční potenciál je snímán mezi aktivní elektrodou umístěnou v kontaktní rohovkové čočce a indiferentní (referenční) elektrodou na čele či ušním lalůčku pacienta





ERG

- Při hodnocení ERG záznamu odečítáme dva hlavní parametry:
 - **amplitudu vlny** v mikrovoltech (μV)
 - **implicitní čas** = jedná se o dobu od zahájení stimulace (záblesku) po maximální odpověď sítnice měřenou v milisekundách (ms)

ISCEV = International Society for Clinical Electrophysiology of Vision



ERG dle standardů ISCEV

- Odpověď oka adaptovaného na tmu na slabý záblesk nebo modré světlo (*aktivita tyčinek*)
- Odpověď oka adaptovaného na tmu na silný (standardní) záblesk (*aktivita tyčinek a čípků*)
- Záznam oscilačních potenciálů
- Odpověď oka adaptovaného na světlo na silný (standardní) záblesk (*aktivita čípků*)
- Odpověď na rychle se opakující stimulaci = flicker ERG (frekvence 30 Hz - na tuto frekvenci záblesků již nedokáží tyčinky odpovídat a získáme záznam *aktivity čípků*)

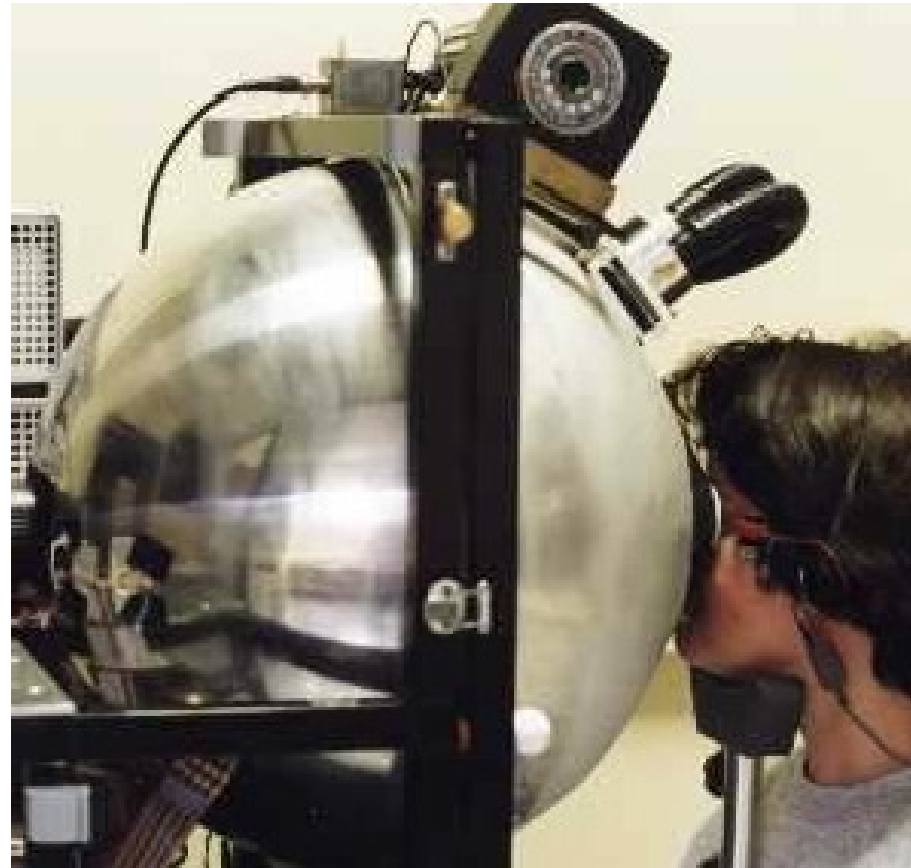


- Adaptace na tmu 20-30 min.
- Celosítnicový osvit krátkým standardním zábleskem ($<5\text{ms}$, $1,5\text{-}3\text{ cd.s.m}^{-2}$) - zajištěno pomocí Ganzfeld (full-field) polokoule
- **Skotopický ERG** - stimulace oka adaptovaného 20-30 min na tmu
 - a) pomocí tlumeného záblesku jehož síla je snížena o $2,5\log$ jednotky standardního záblesku nebo modrým světlem (je pro čípky podprahové) - získáme *tyčinkovou odpověď* (pozitivní vlna b)
 - b) maximální skotopickou odpověď získáme stimulací oka adaptovaného na tmu standardním zábleskem - *odpověď jak tyčinek tak i čípků*



ERG – Ganzfeld (full field) polokoule

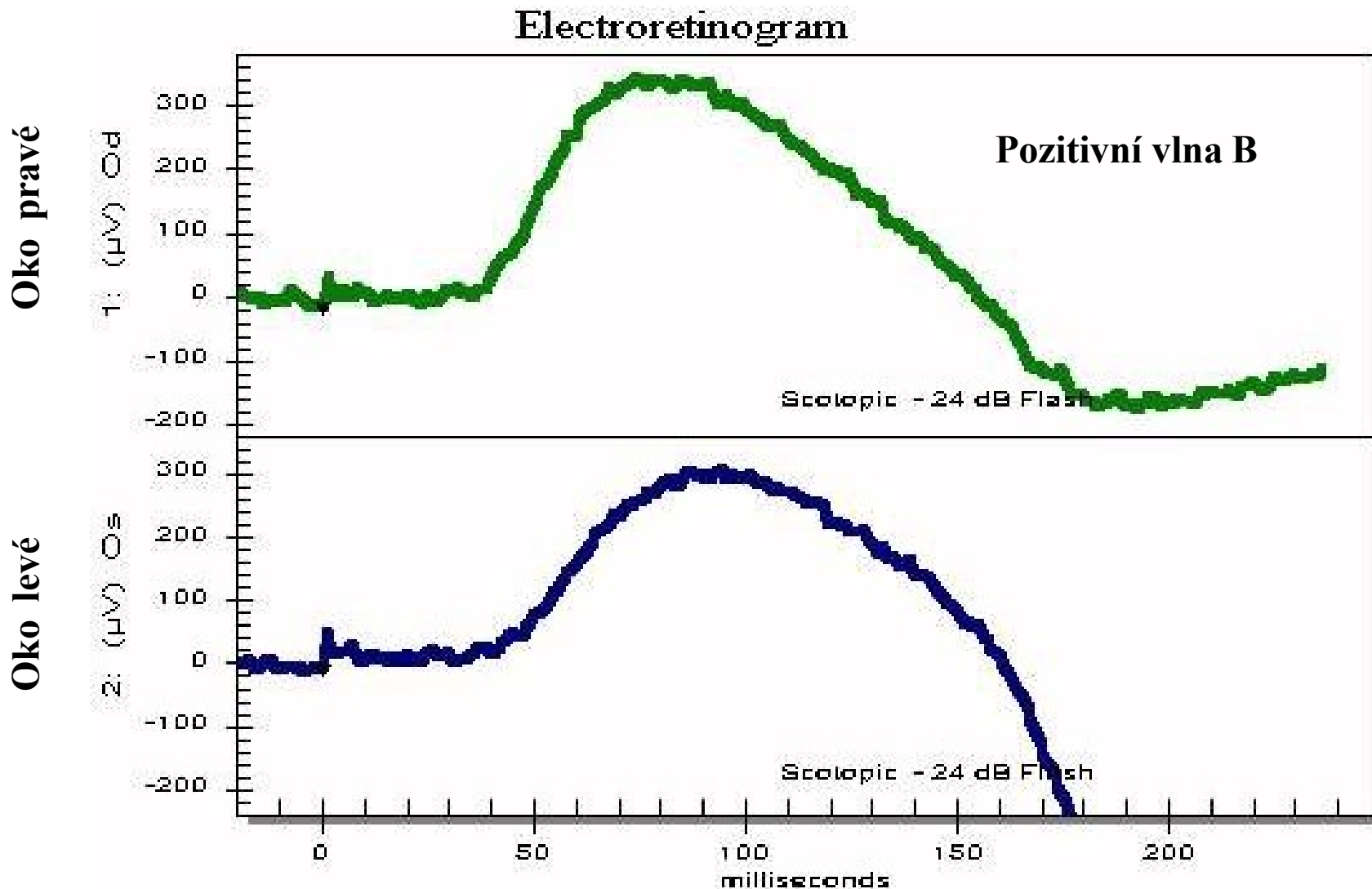
- Zajišťuje rovnoměrný osvit sítnice (celého zorného pole) zábleskem o definované intenzitě
- Zajišťuje standardní osvětlení pozadí



- Pozitivní vlna B představuje aktivitu ***bipolárních buněk*** (nepřímo, prostřednictvím Müllerových buněk, kde má vlna B svůj původ)
- Intaktní vlna B také znamená normální funkci ***tyčinek***, neboť jinak by bipolární buňky nebyly buzeny
- Při ***uzávěru arteria centralis retinae*** = výpadek výživy ve vnitřních vrstvách sítnice, nacházíme sníženou amplitudu vlny B

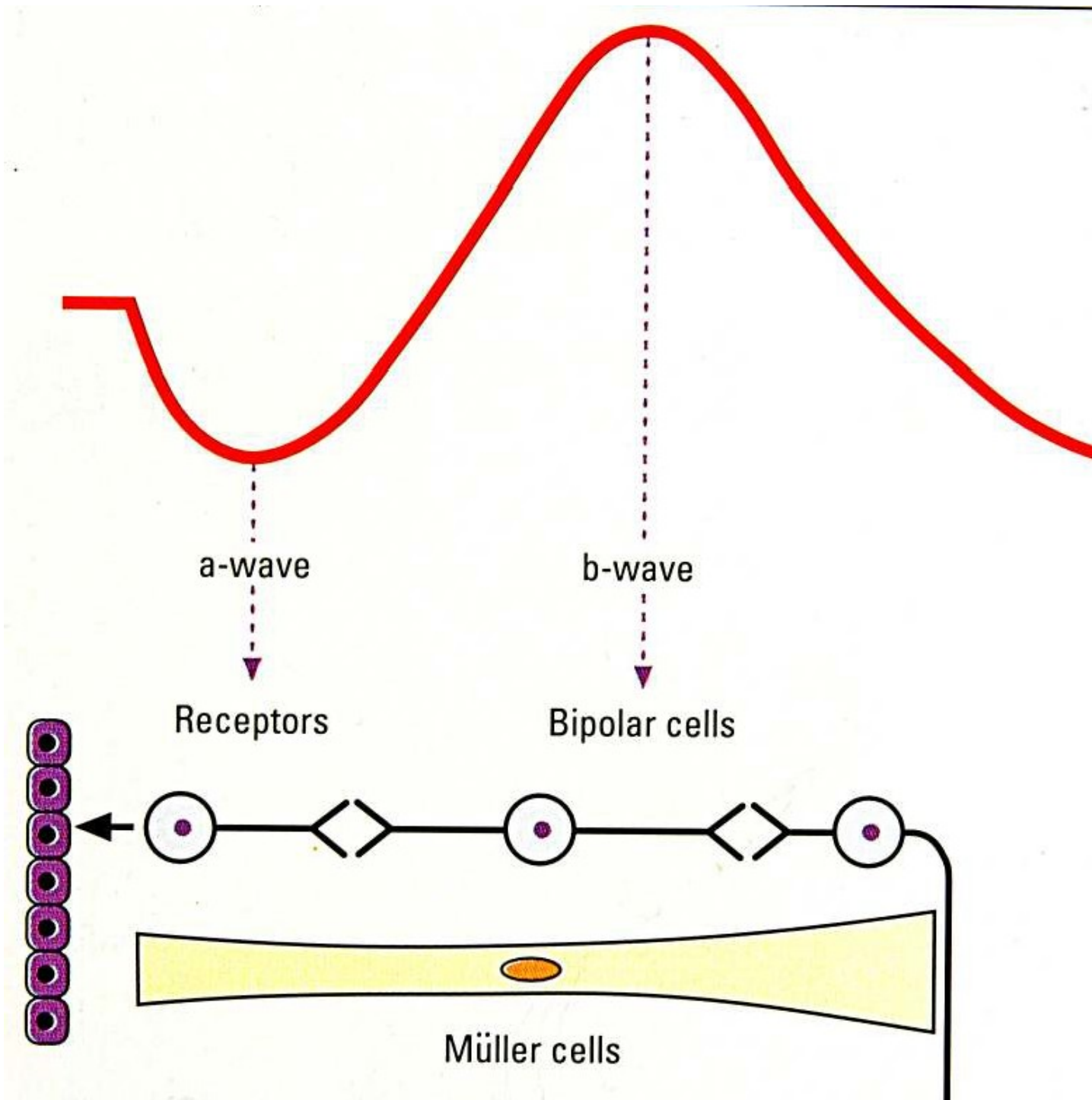


Skotopický zábleskový ERG, snížená intenzita stimulu -24 dB – odpověď tyčinek

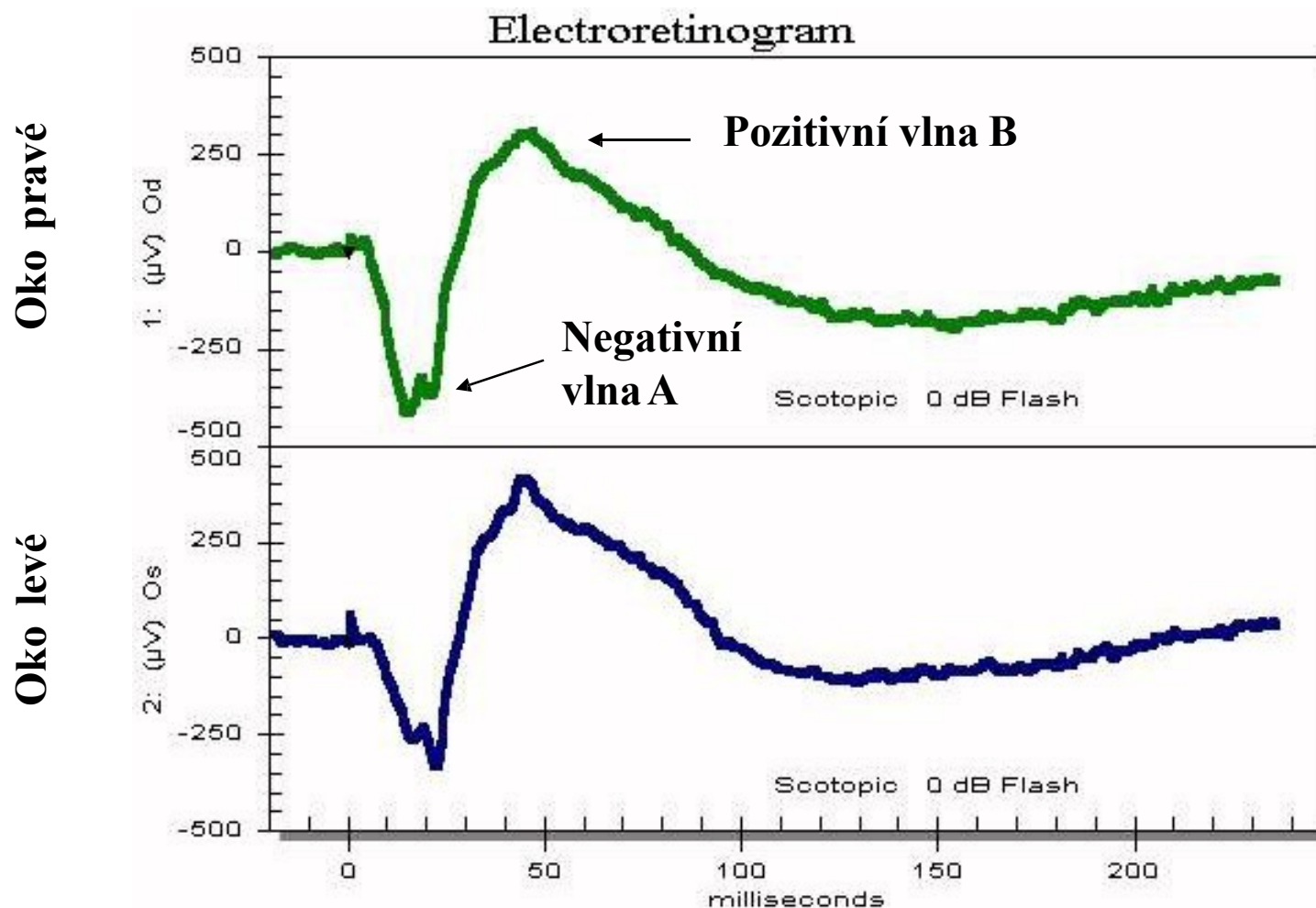


- Negativní vlna A má svůj původ v **zevním segmentu fotoreceptorů**.
- Na ERG záznamech při nižších intenzitách záblesku je vlna A překryta větší pozitivní vlnou B. Při vyšších intenzitách záblesku začíná A-vlna poněkud dříve (pro receptory platí: čím větší jas, tím rychlejší reakce) a je tedy před B-vlnou na chvíli viditelná.
- Při **pigmentové degeneraci sítnice** (retinitis pigmentosa) dochází k poškození tyčinek a tedy ke zřetelnému snížení až nevýbavnosti ERG záznamu





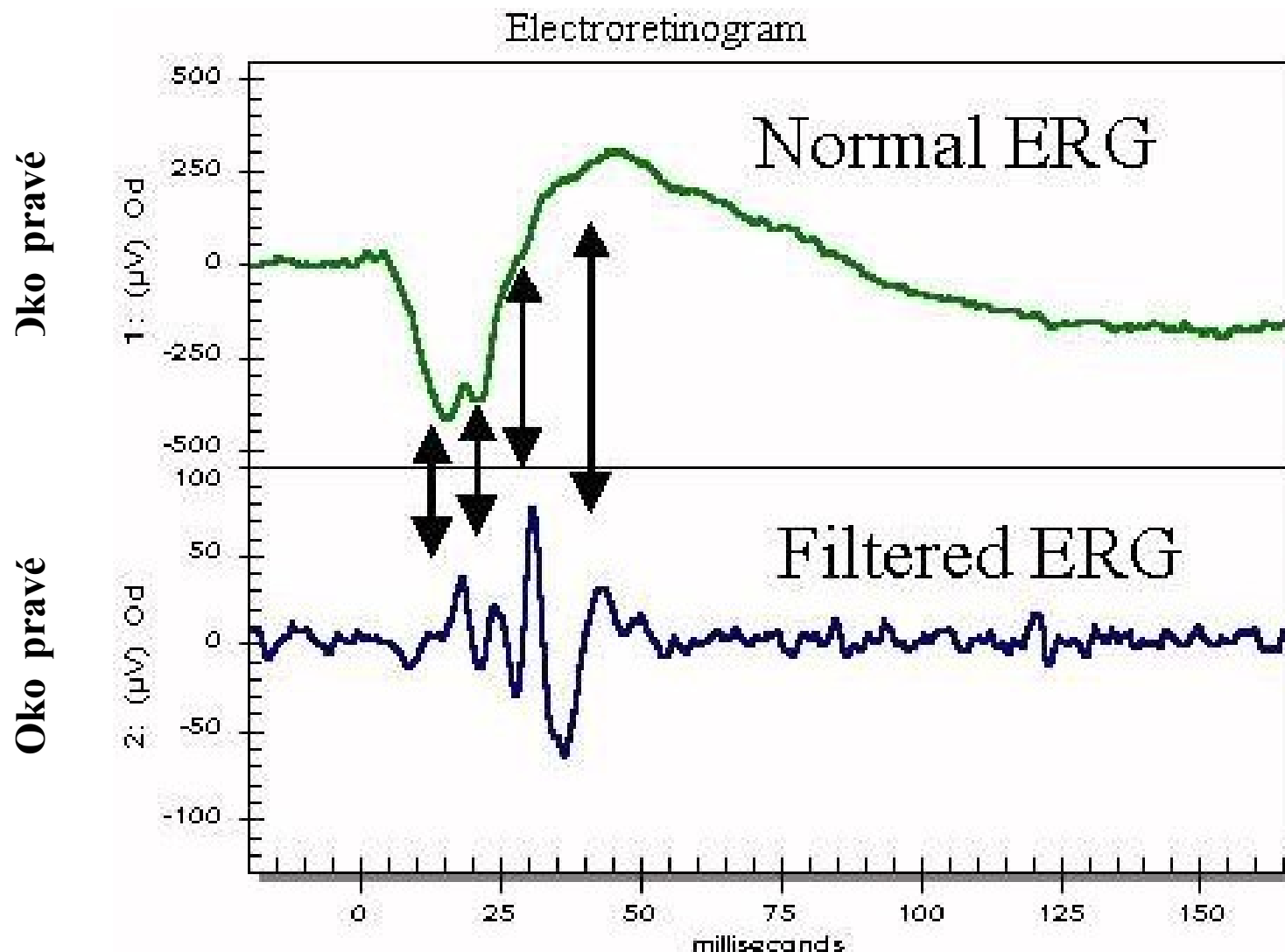
Skotopický zábleskový ERG, standardní stimul 0 dB – odpověď tyčinek a čípků



- Oscilační potenciály nacházíme na vzestupné hraně B-vlny jako rychlé zákmity
- Získáme je filtrací ERG signálu (projdou jen kmitočty nad 100Hz)
- Původ oscilačních potenciálů není přesně znám (je nejspíše v oblasti amakrinních a/nebo horizontálních buněk; vnitřní nukleární či vnitřní plexiformní vrstva sítnice)
- Amplitudy oscilačních potenciálů jsou snižené u *ischémie sítnice* (pokročilá diabetická retinopatie, oční ischemický syndrom)



Skotopický zábleskový ERG, standardní stimul 0 dB – oscilační potenciály

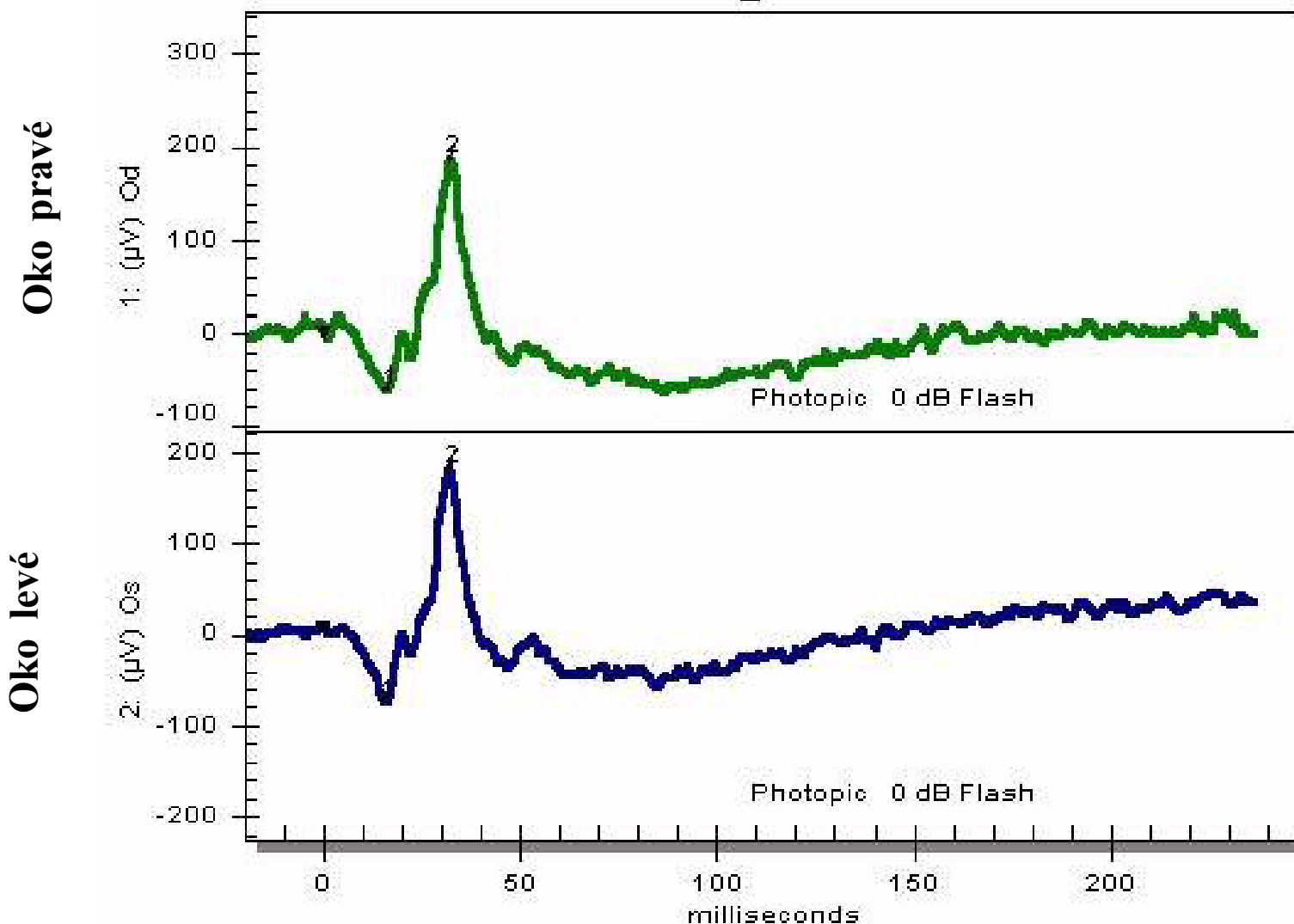


- **Fotopické ERG slouží k testování aktivity čípků**
- **Tyčinky saturujeme pomocí trvalého osvětlení pozadí ($17-34 \text{ cd m}^{-2}$) asi 10 min adaptací na toto osvětlení v Ganzfeld (full-field) polokouli**
- **Standardní zábleskový podnět za těchto podmínek vyvolá fotopické ERG = odpověď čípků**



Fotopický zábleskový ERG, stimul 0 dB – odpověď čípků

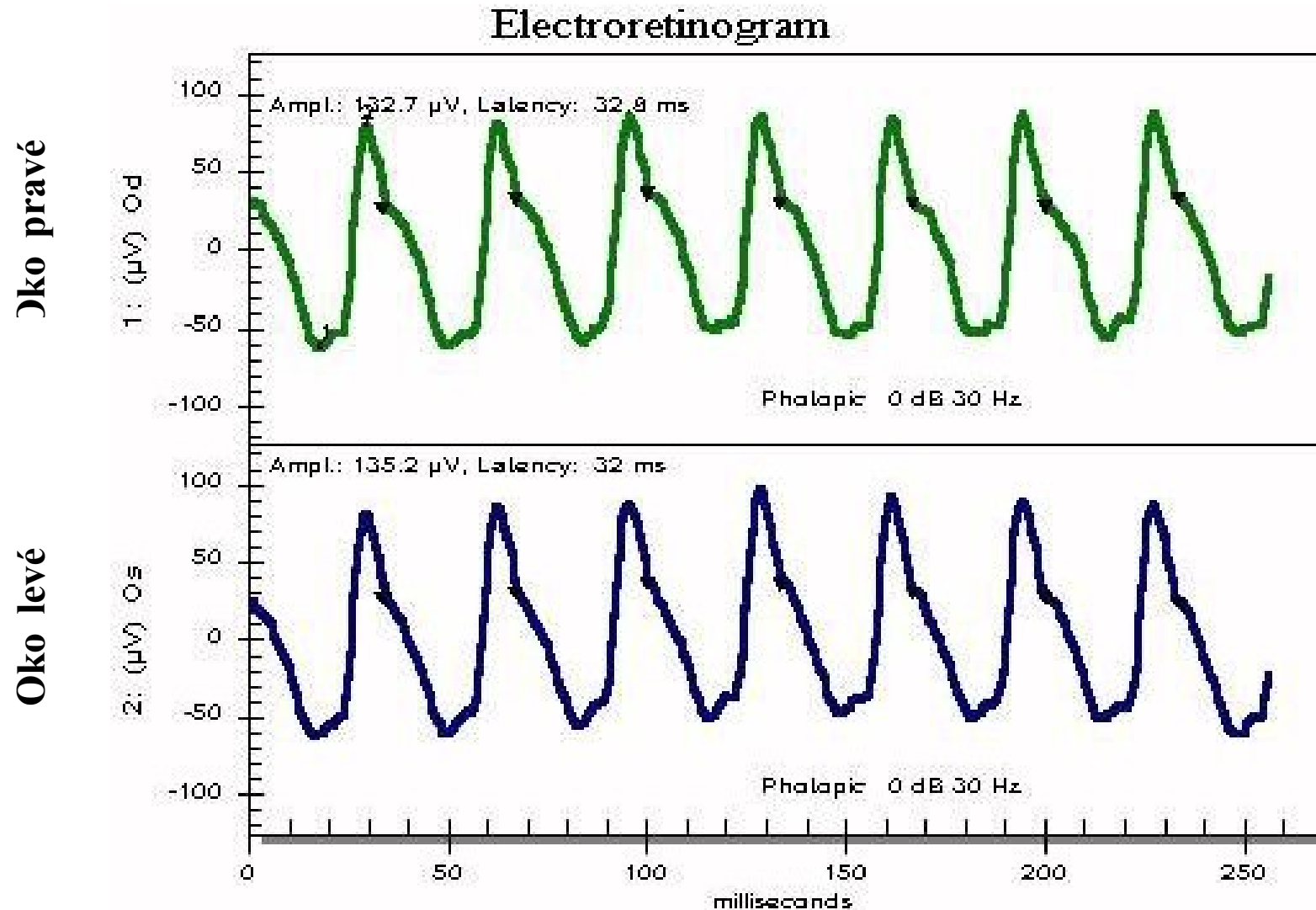
Electroretinogram

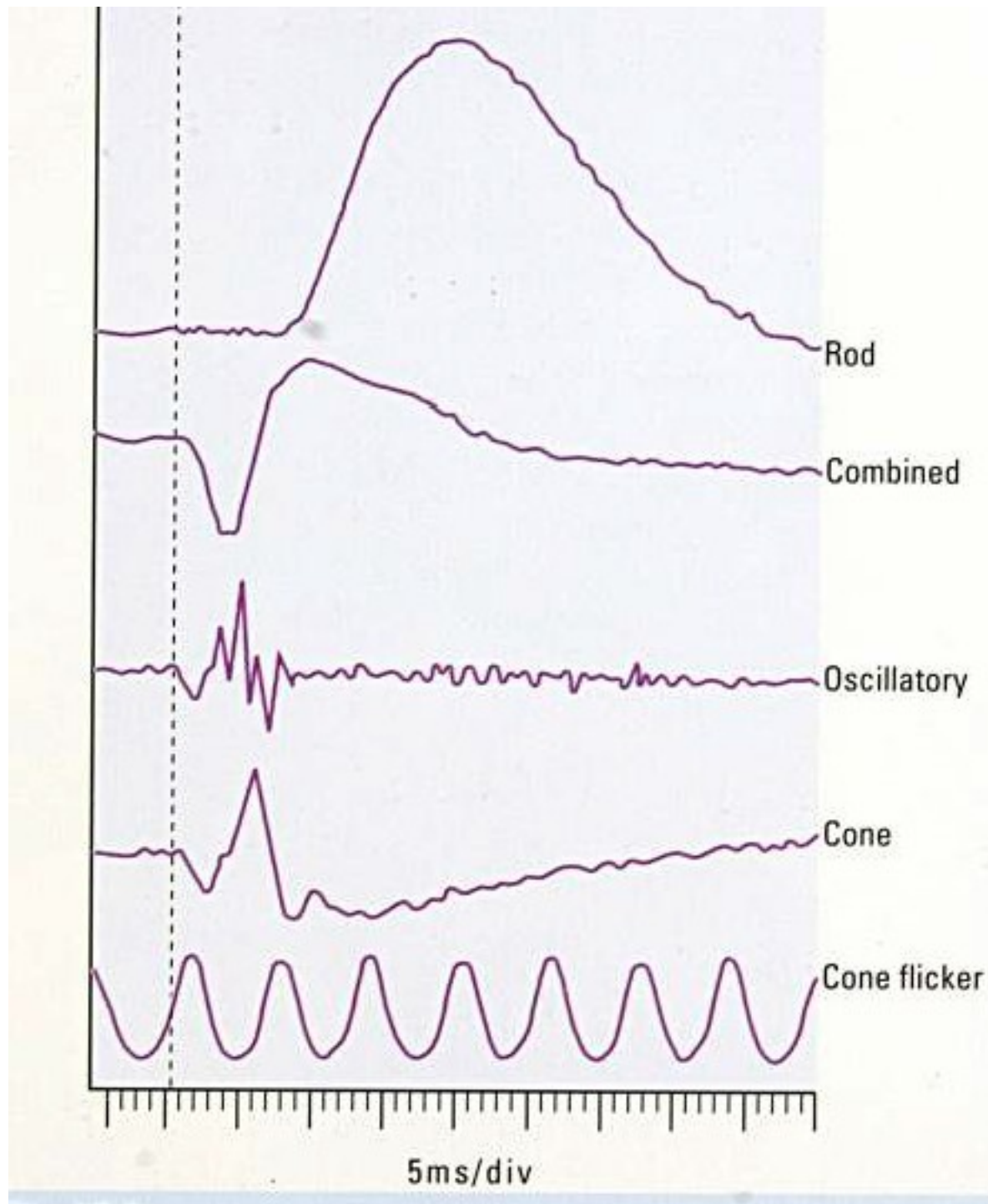


- Působíme-li na oko rychle se opakujícími záblesky o frekvenci 30Hz, nestačí již tyčinky tuto frekvenci „sledovat“ a získáme tak čistě čípkovou odpověď - Flicker ERG
- Klinicky lze vyšetření využít např. u **čípkové dystrofie**



Fotopický flicker ERG – 30Hz stimul 0 dB – odpověď čípků





Některé indikace ERG vyšetření

- **Hereditární sítnicové degenerace** (degeneratio retinae pigmentosa)
- Posouzení funkce sítnice u **zastaralých amoci sítnice** (prognostické a indikační kritérium operace)
- Posouzení poškození sítnice u **metalózy** (kovové cizí nitrooční tělíška z mědi či železa)
- **Cirkulační poruchy sítnice** (oční ischemický syndrom, arteriální okluze, pokročila diabetická retinopatie)
- **Avitaminóza A**, **léková toxicita (chlorochin)** ...



Pattern ERG - ERG na strukturované podněty

- **Zrakový podnět je namísto záblesku tvořen zvláštním vzorem - strukturou (např. vzorem šachovnice)**
- **Světlé a tmavé části šachovnice si vyměňují své pozice**
- **Po matematickém zpracování získáváme signál z gangliových buněk sítnice:**
 - **N1 = N30 - časná negativita s latencí asi 30ms**
 - **P1 = P50 - pozitivita s latencí asi 50ms**
 - **N2 = N95 - pozdní negativita s latencí asi 95ms**
- **Klinicky lze využít Pattern ERG např. u glaukomu (poškození gangliových bb.)**

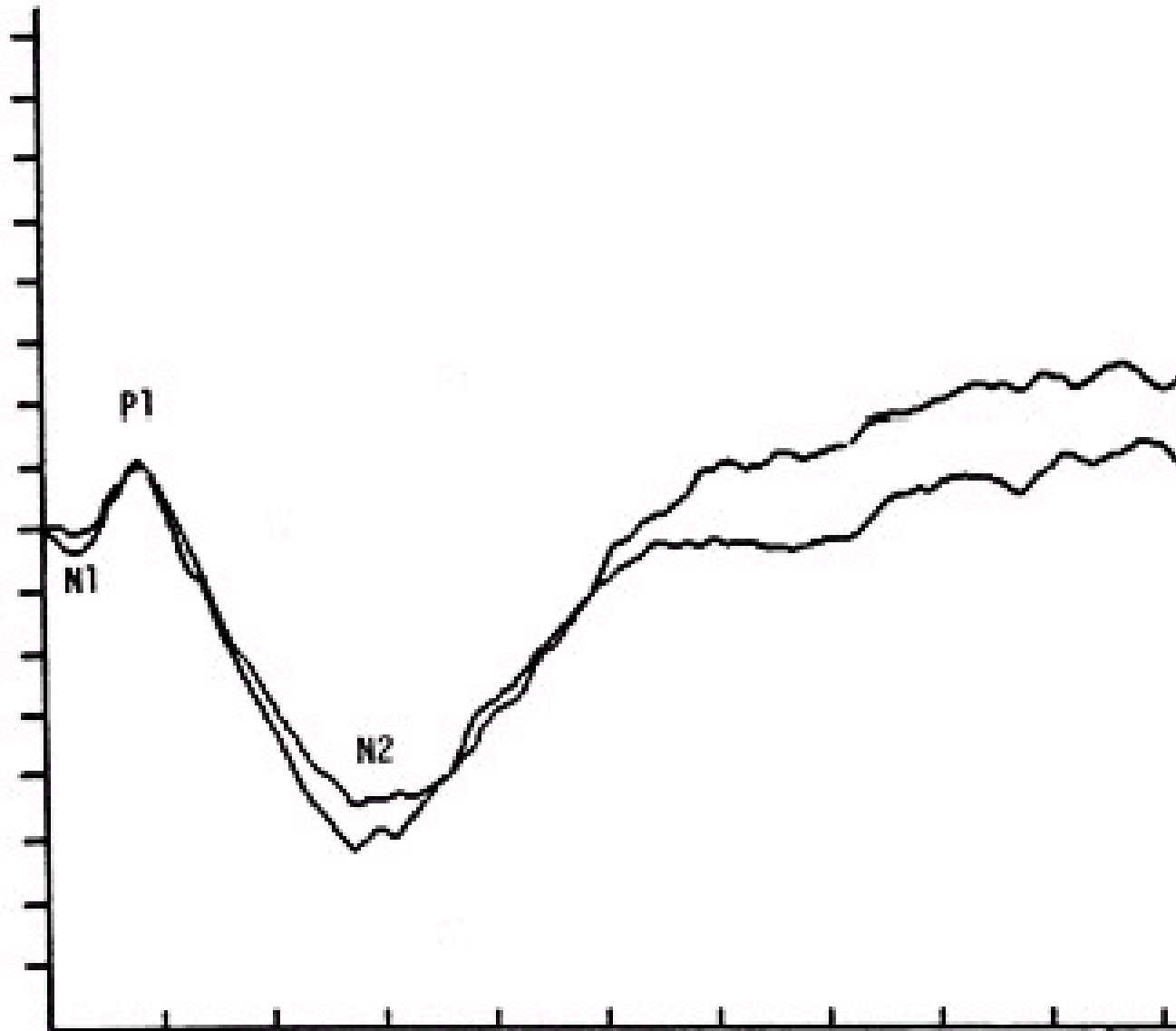


Reverzační stimulace

Pattern ERG, Pattern VEP



Pattern ERG - PERG



Multifokální ERG - MERG

- **Lze získat elektrickou odpověď jednotlivých okrsků vnějších a středních vrstev sítnice (klasické ERG získává signál ze sítnice jako celku a fokální patologie jej neovlivní; klasické ERG je ovlivněno jen difuzní patologií postihující větší část retiny)**
- **Lze hodnotit elektrofyziologické vlastnosti makuly (u klasického ERG překryto aktivitou ostatní sítnice)**



Multifokální ERG

Fakultní nemocnice u sv. Anny v Brně

Pekarska 53, Brno

ETiscanSM
multifocal ERG

Name: **MUDr. Jurečka**
First Name: **Tomas**
Date of Birth: 20-11-1972
ID:
Sum Resp.(B): 96µV 36ms
Diagnosis: norma

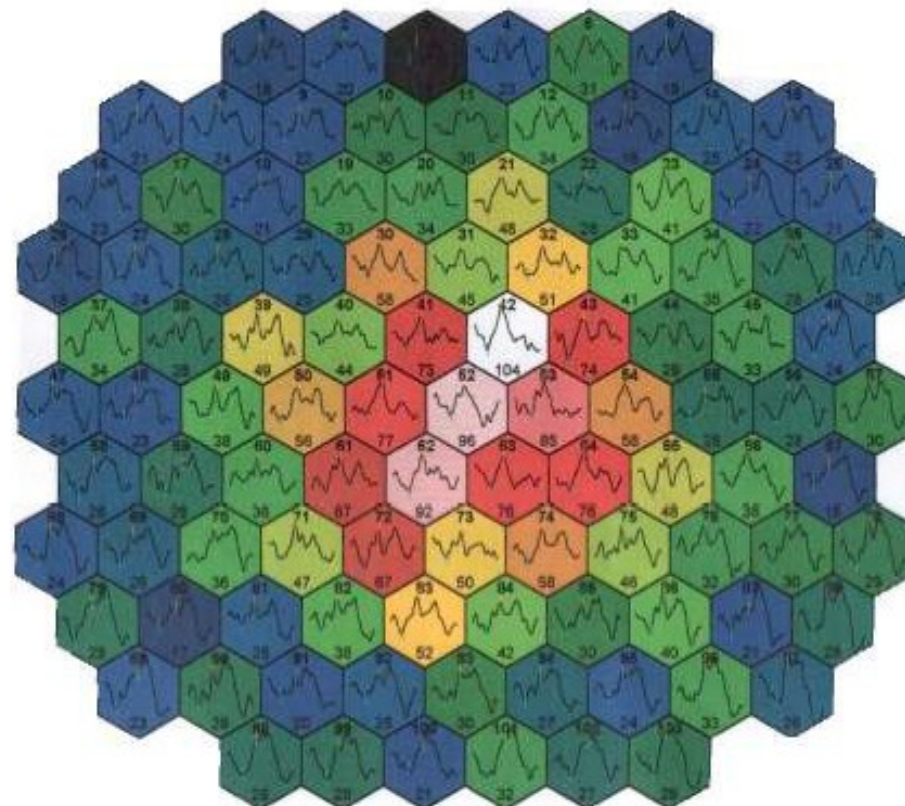
Date: **14-03-2001 11:02:44 AM**
Channel: OS
Result:
Comment:
Operator: Ing. Havlicek

Device: **21" Monitor**
Resolution: **103 Segments**
View Angle: **26deg**
Distortion: 1 : 4
Fixation: **Seg 52/ Cross**

Electrodes: Contact lens
Ampl. Range: ±100µV
Cut Offs: 10Hz - 100Hz
Artifact Level: 4%
Sampled: 981Hz

Operat. Mode: **FOK**
Test Type: **FOK**
Correlated: **99ms**
Averages: **12**
Filter: **2"Smooth 50Hz**

Amplitudes b



1µV
50ms
Ampl. b [nV/deg²]



Multifokální ERG

Fakultní nemocnice u sv. Anny v Brně

Pekarska 53, Brno

RETiscanSM
Multifocal ERG

Name: MUDr Jurecka
First Name: Tomas
Date of Birth: 20-11-1972
ID:
Sum Resp (B): 66 μ V 36ms
Diagnosis: norma

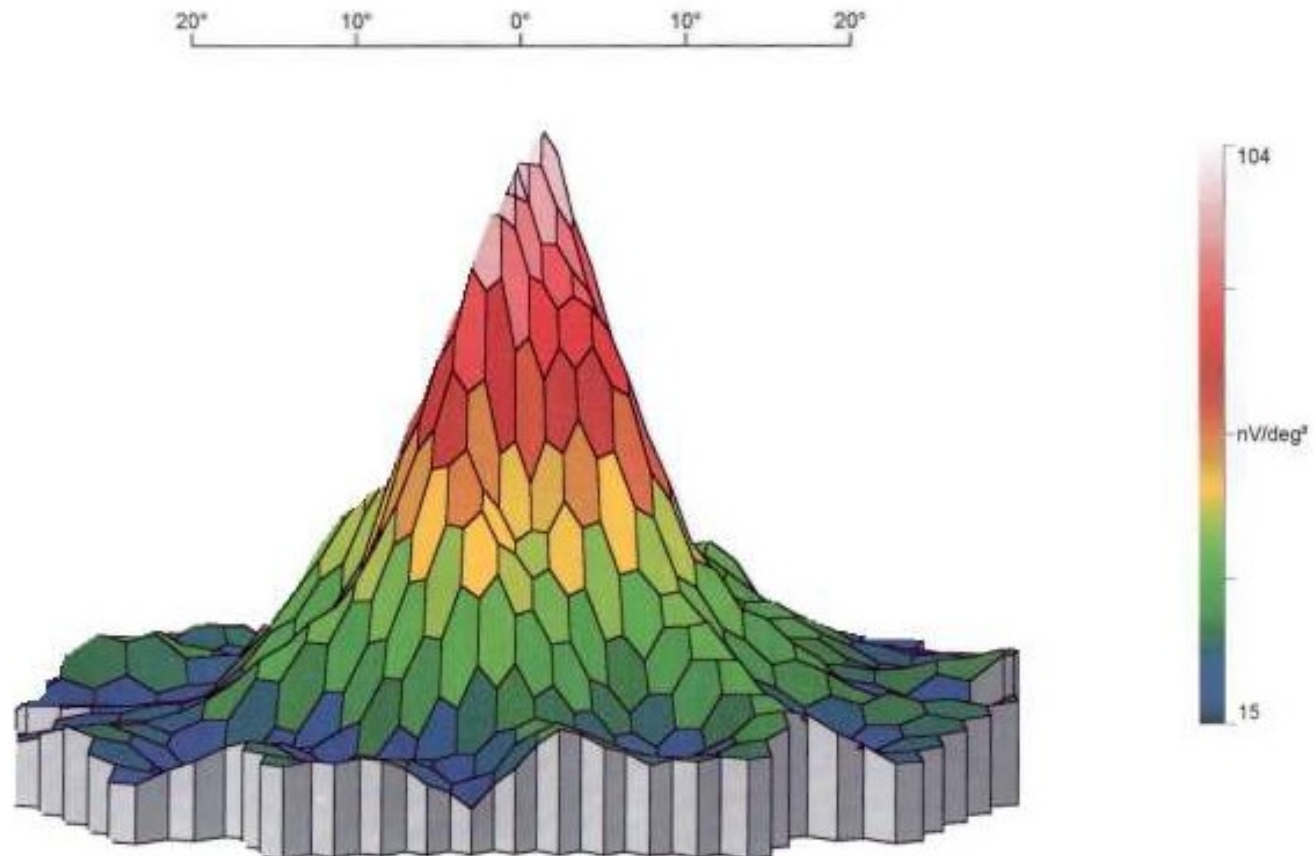
Date: 14-03-2001 11:02:44 AM
Channel: OS
Result:
Comment:
Operator: Ing. Havlicek

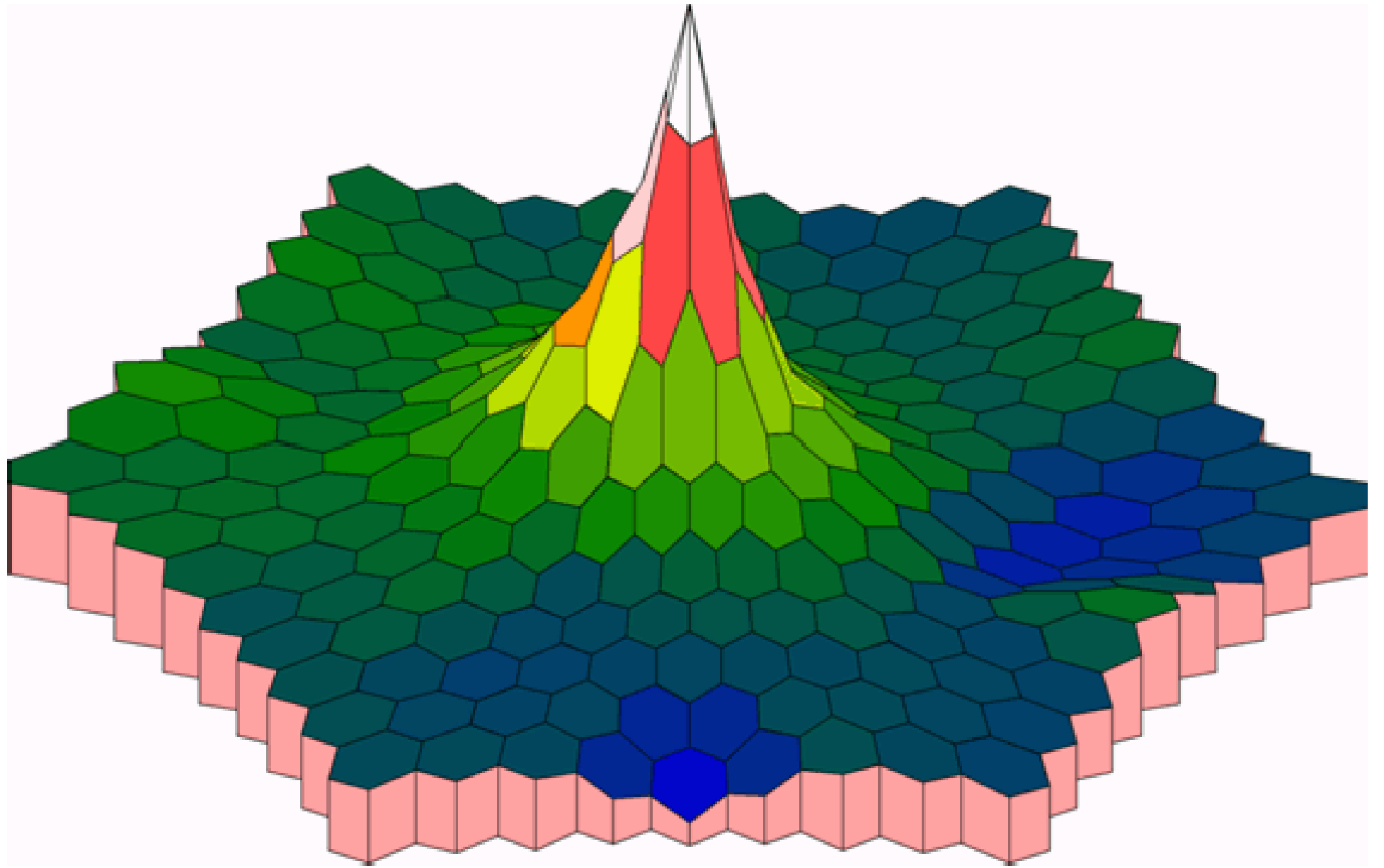
Device: 21" Monitor
Resolution: 103 Segments
View Angle: 26deg
Distortion: 1 : 4
Fixation: Seg 52/ Cross

Electrodes: Contact lens
Ampl Range: $\pm 100\mu$ V
Cut Offs: 10Hz - 100Hz
Artifact Level: 4%
Sampled: 981Hz

Operat. Mode: FOK
Test Type: FOK
Correlated: 86ms
Averages: 12
Filter: 2"Smooth 50Hz

Amplitudes b





Fakultni nemocnice u Sv. Anny, Brno

Pekarska 53

RETiscan
Multifocal ERG

Name: Vencova
First Name: Matylda
Date of Birth: 14-06-1929
ID: 295614/471
Sum Resp.(B): 21 μ V 50ms
Diagnosis: H353

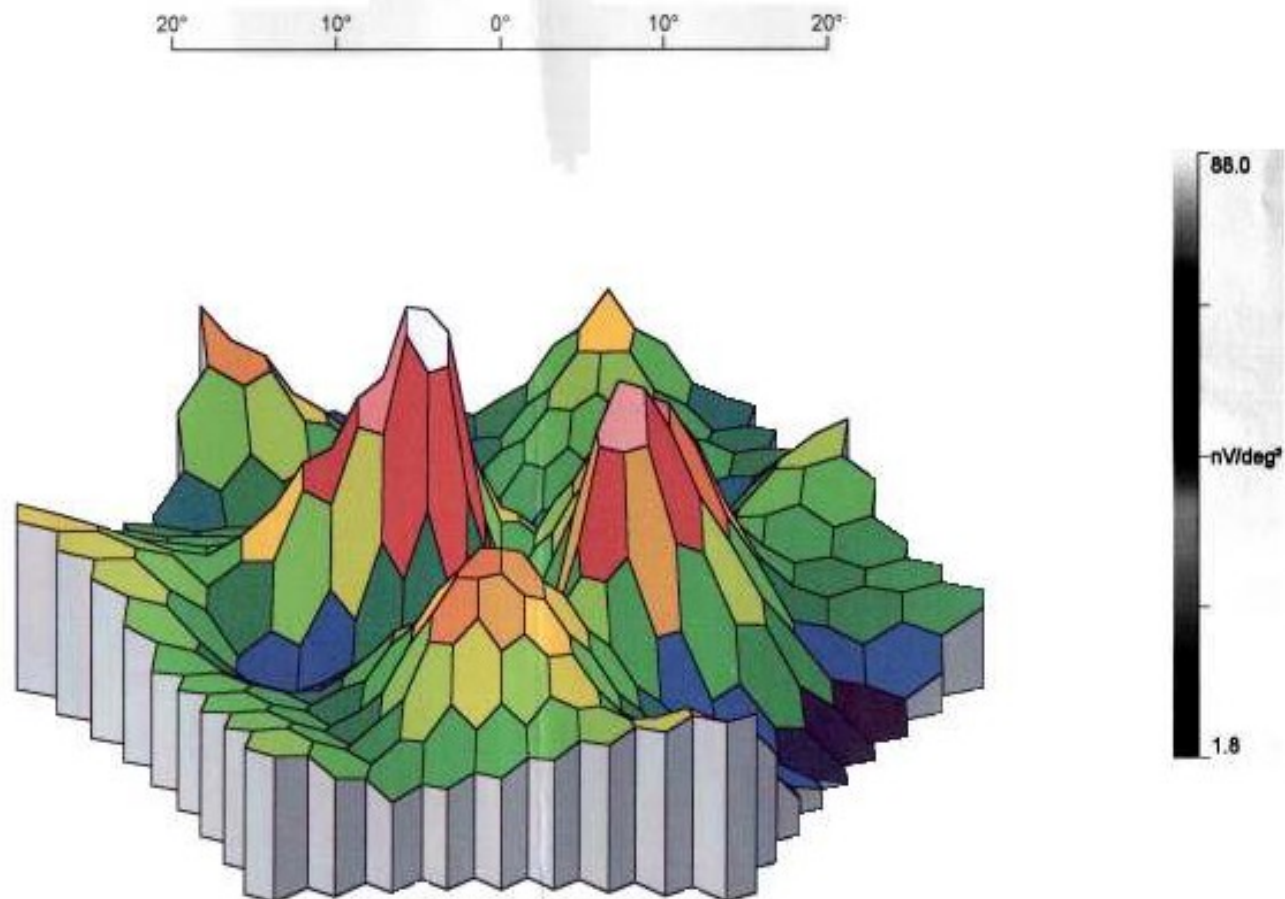
Date: 05-02-2001 8:25:27 AM
Channel: Channel 2
Result:
Comment:
Operator: Ing. Havlicek

Device: 21" Monitor
Resolution: 81 Segments
View Angle: 26deg
Distortion: 1 : 4
Fixation: Seg 31/ Target lines

Electrodes: Contact lens
Ampl. Range: $\pm 100\mu$ V
Cut Offs: 10Hz - 300Hz
Artifact Level: 2%
Sampled: 981Hz

Operat. Mode: FOK
Test Type: FOK
Correlated: 86ms
Averages: 8
Filter: 2*Smooth 50Hz

Amplitudes b



Multifokální ERG

Fakultni nemocnice u Sv. Anny, Brno

Pekarska 53

RETiscan^{3.10}
Multifocal ERG

Name: **Vencova**
First Name: **Matylda**
Date of Birth: 14-06-1929
ID: 295614/471
Sum Resp.(B): 30 μ V 42ms
Diagnosis: H353

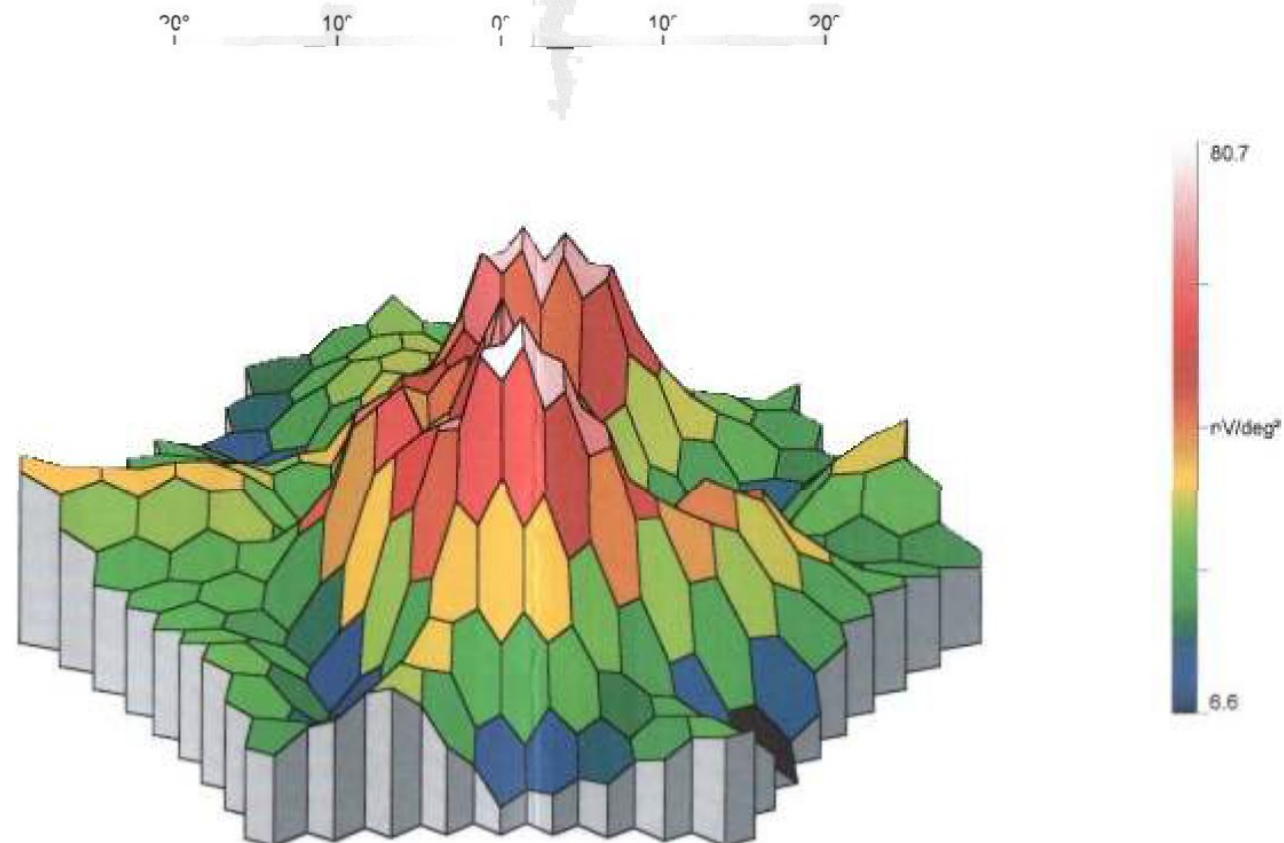
Date: **05-02-2001 8:25:27 AM**
Channel: Channel 1
Result:
Comment:
Operator: Ing. Havlicek

Device: **21" Monitor**
Resolution: **61 Segments**
View Angle: 26deg
Distortion: 1 : 4
Fixation: Seg 31/ Target lines

Electrodes: Contact lens
Ampl.Range: $\pm 100\mu$ V
Cut Offs: 10Hz - 300Hz
Artifact Level: 2%
Sampled: 981Hz

Operat. Mode: **FOK**
Test Type: **FOK**
Correlated: **86ms**
Averages: **8**
Filter: 2*Smooth 50Hz

Amplitudes b

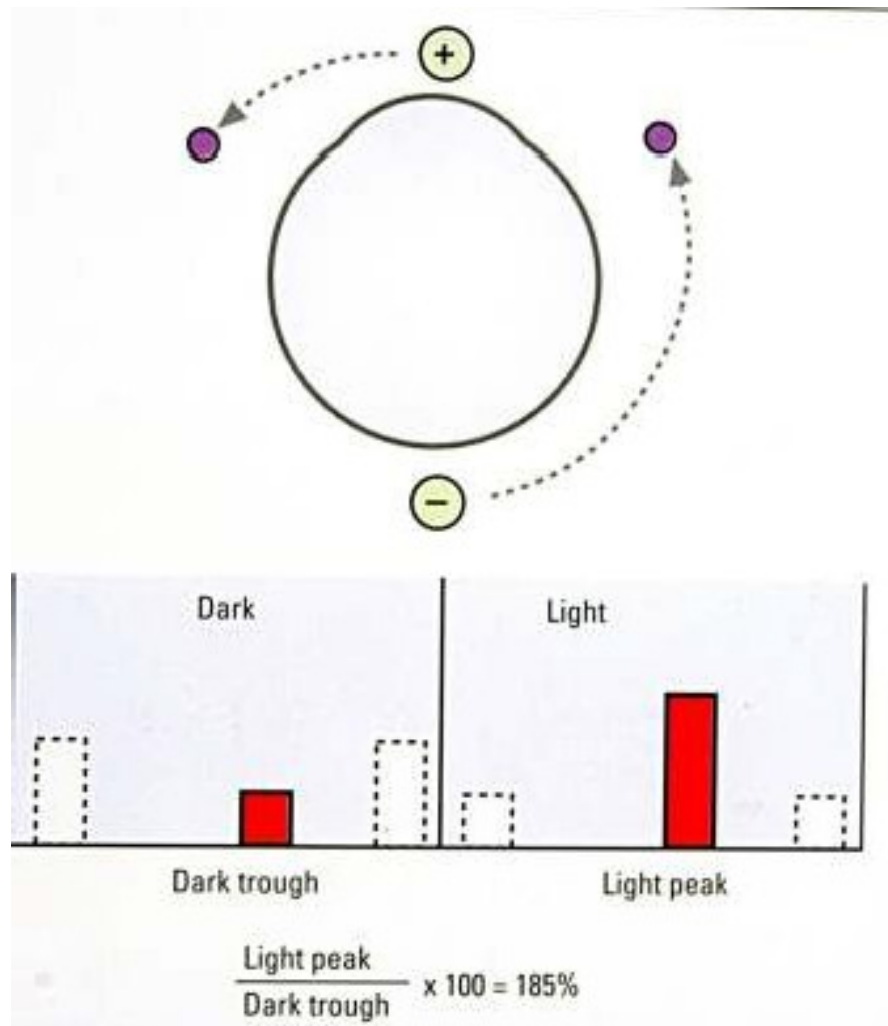


Elektrookulografie - EOG

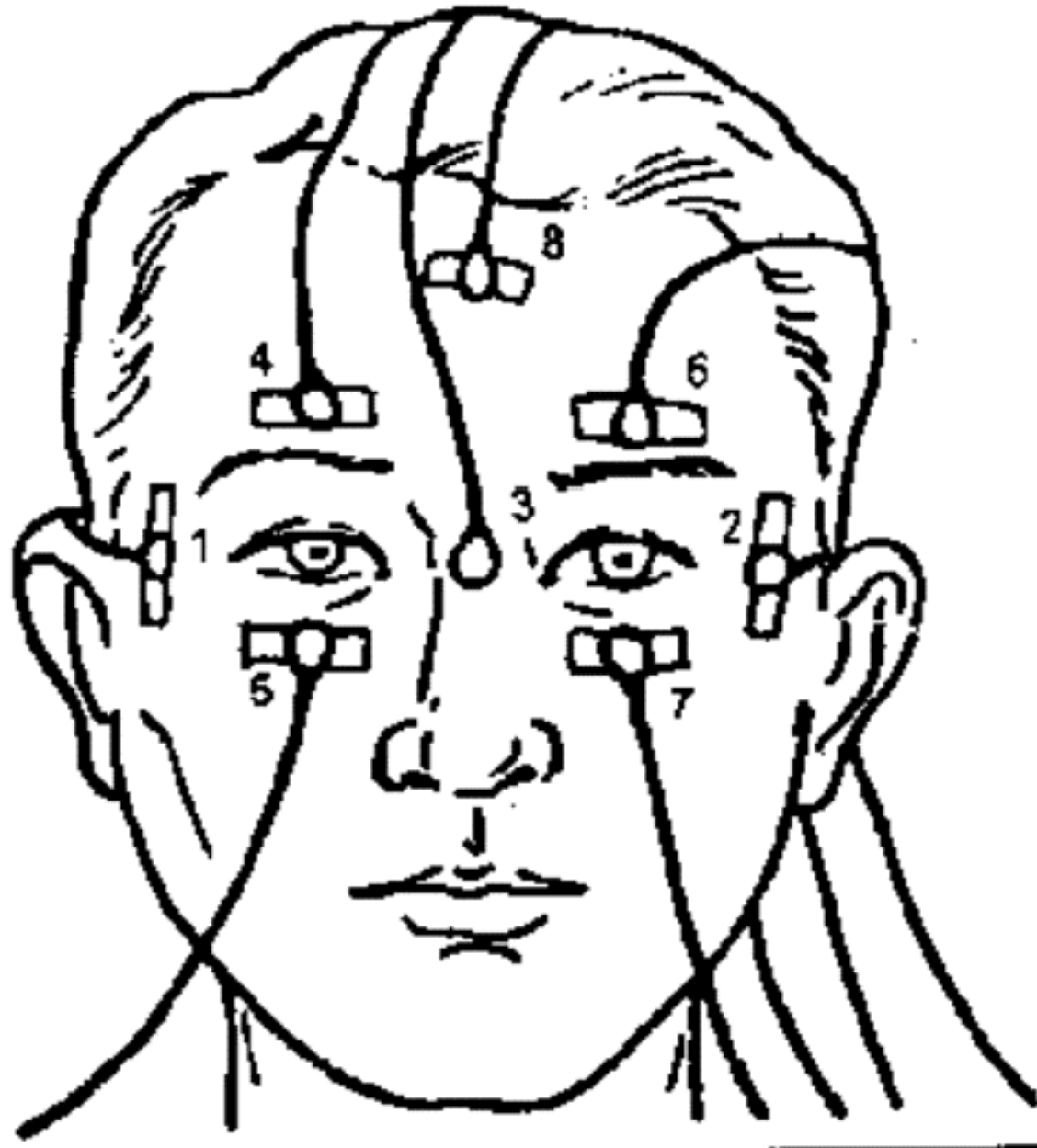
- Měří klidový akční potenciál mezi elektricky pozitivní rohovkou a elektricky negativním zadním pólem oka
- Elektrody jsou přilepeny na kůži, vyšetřovaný střídavě sleduje jedno a druhé fixační světlo umístěné v horizontální rovině pod zorným úhlem 30°. Elektrody registrují změny, kdy se k nim při pohybu oka přiblíží pozitivní rohovka či negativní zadní pól oka
- Test se provádí jak při adaptaci na tmu (15min), tak při adaptaci na světlo (15min)



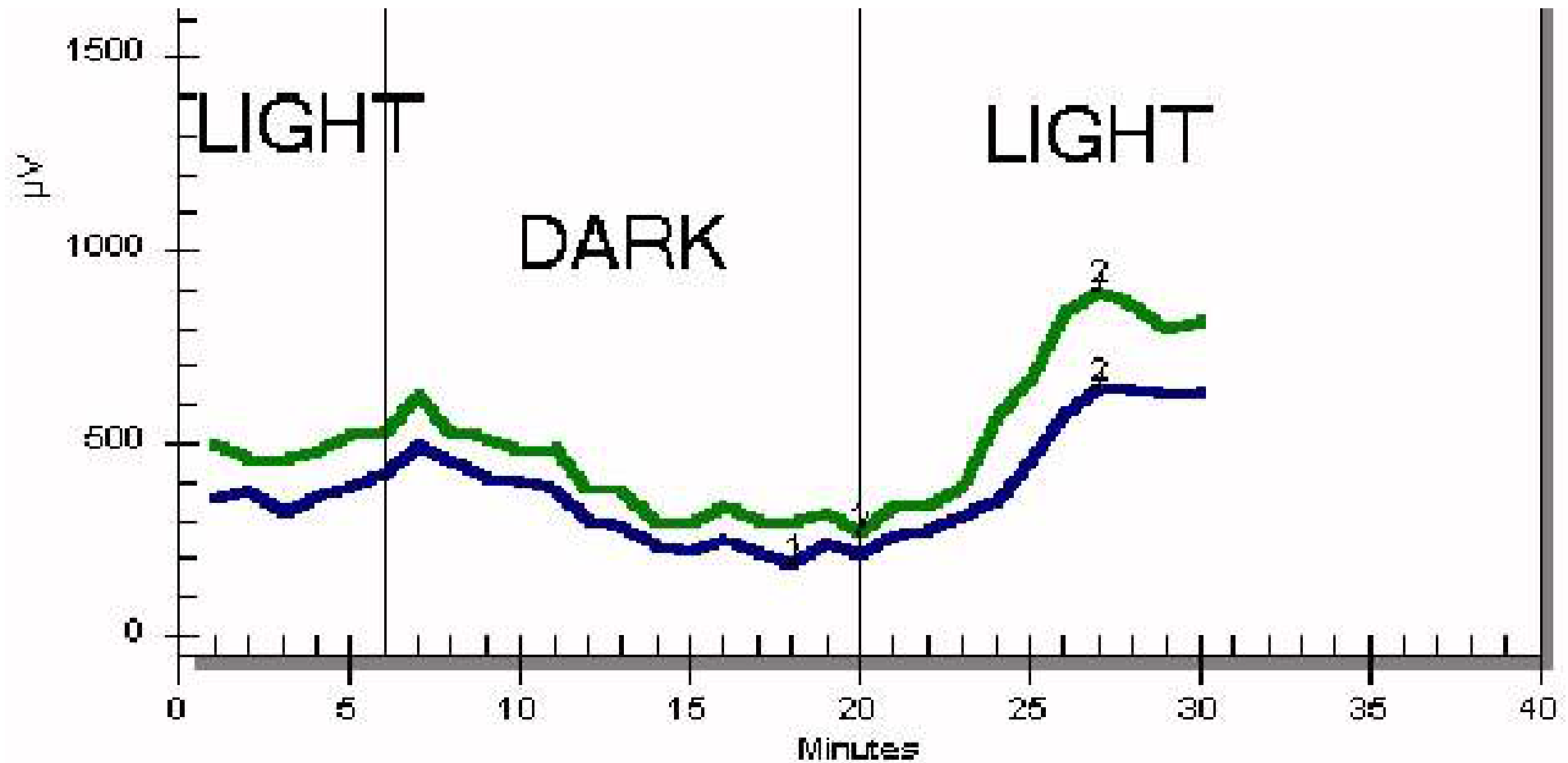
Princip elektrookulografie



EOG - Elektrookulografie



EOG - Elektrokulogram



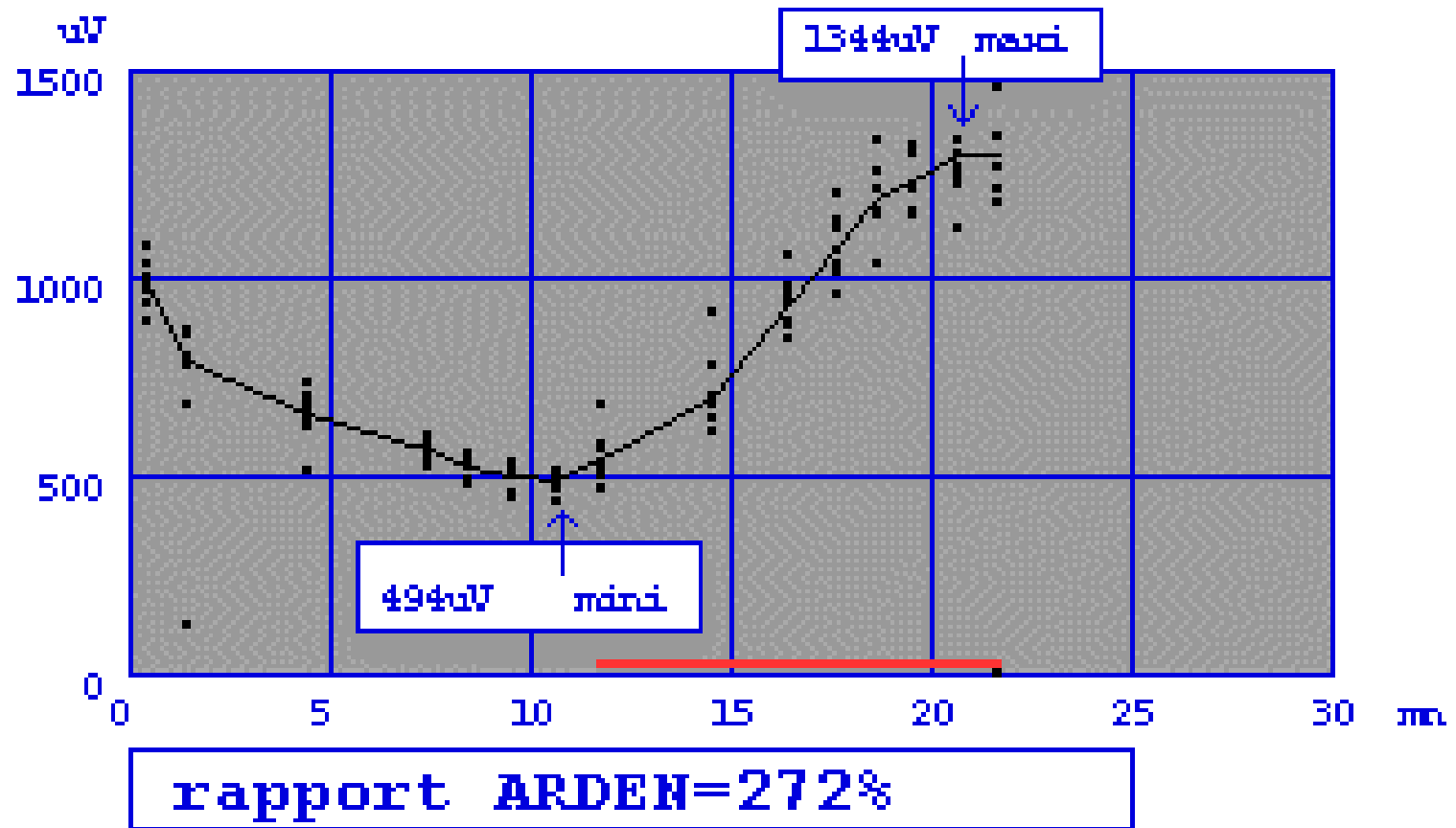
Elektrookulografie - EOG

- Vypočítává se **Ardenův index** = maximální hodnota (amplituda) světelné fáze se dělí minimální hodnotou temné fáze a výsledek se násobí 100 (%).
- Normální hodnoty Ardenova indexu $> 185\%$ (200-400).
- EOG odráží aktivitu **pigmentového epitelu sítnice** (RPE) a fotoreceptorů (zevní oblasti retiny a choriokapilaris)
- Aby došlo k alteraci EOG je nutné difúzní či výrazné poškození RPE



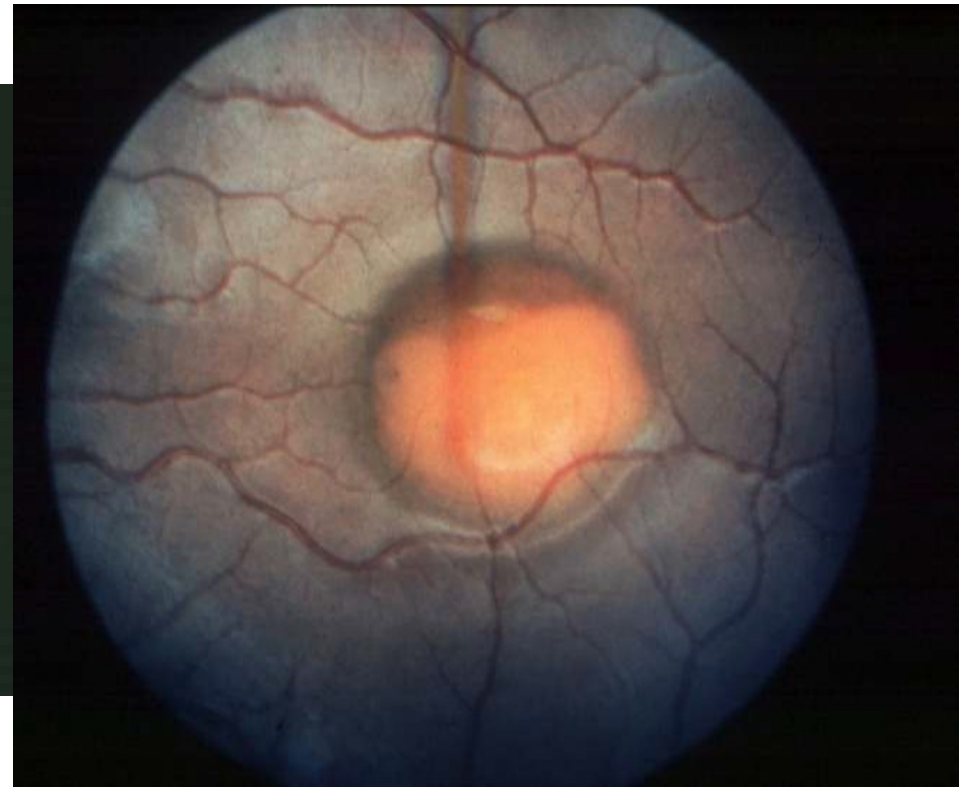
EOG - Elektrokulogram

Ardenův index



EOG - klinické využití

- ***Bestova viteliformní degenerace sítnice***
- ***Vedlejší toxické účinky léků proti malárii a revmatickým chorobám (antimalarika, antirevmatika - Chloroquin)***



Bestova viteliformní degenerace



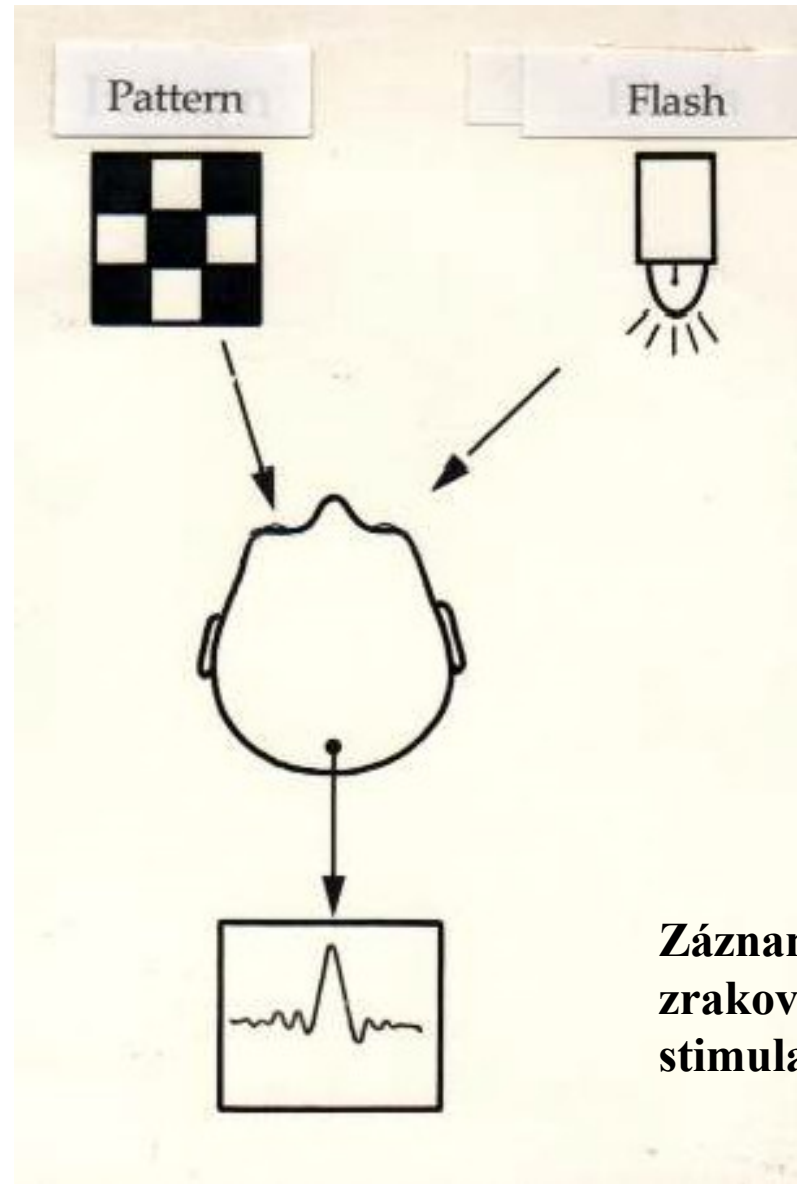
Zrakové evokované potenciály - VEP

- Jsou tvořeny nitrobuněčnými excitačními postsynaptickými potenciály kortikálních neuronů a vznikají ve zrakových korových oblastech V1 - V3.
- **Zábleskové (flash) VEP** - zrakovým podnětem je záblesk (vzniklé křivky jsou velmi proměnné a vyšetření je určeno jen pro hrubou diagnostiku)
- **VEP na strukturované podněty (Pattern VEP)** - podnětem je strukturovaný obrazec (šachovnicové pole)



Pattern a flash VEP

**Stimulace sítnice
strukturovaným
podnětem**

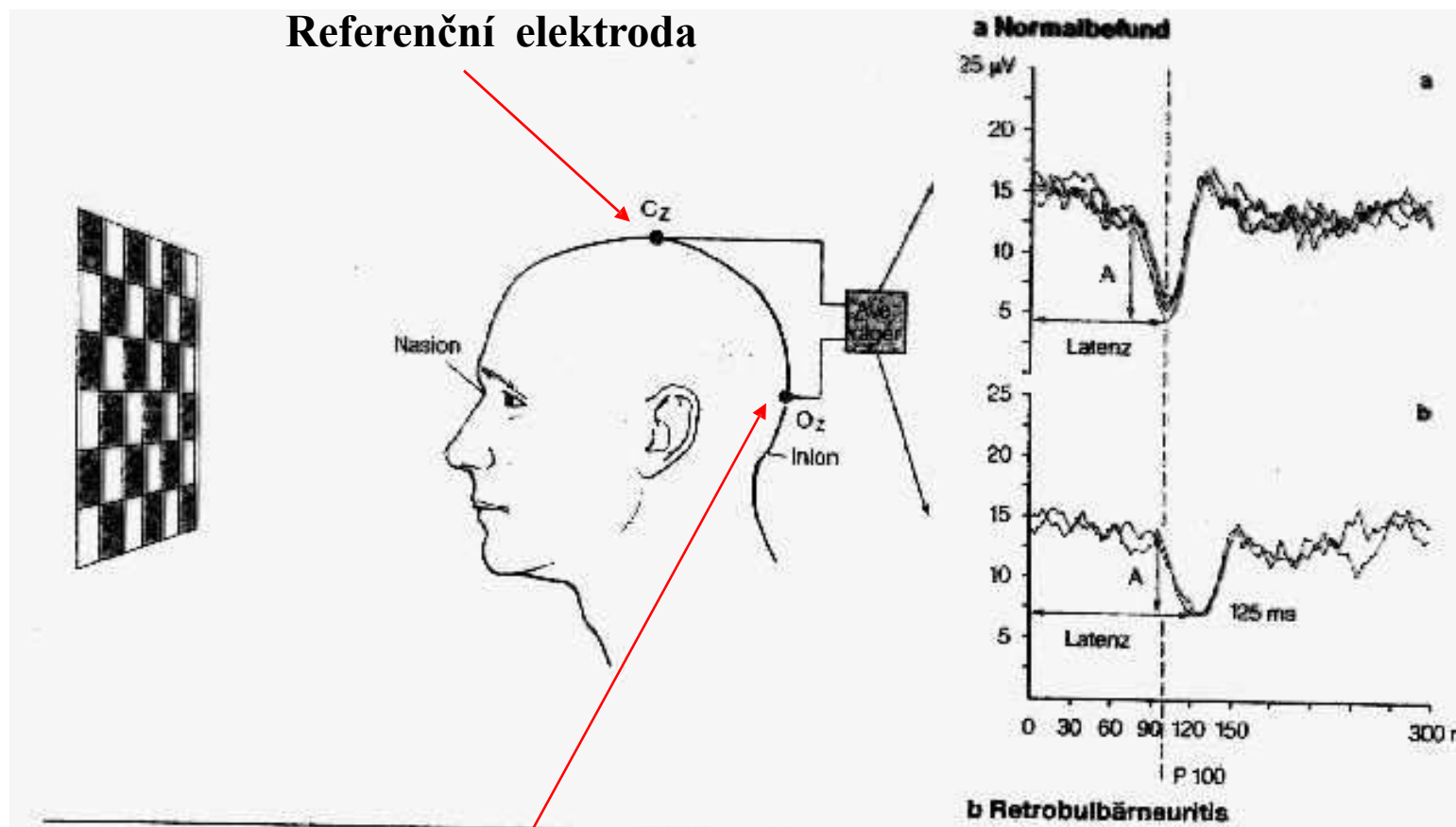


**Stimulace sítnice
světelným zábleskem**

**Záznam elektrické aktivity
zrakového kortexu, vyvolané
stimulací sítnice**



Pattern VEP



Referenční elektroda

Aktivní snímací elektroda (Oz)

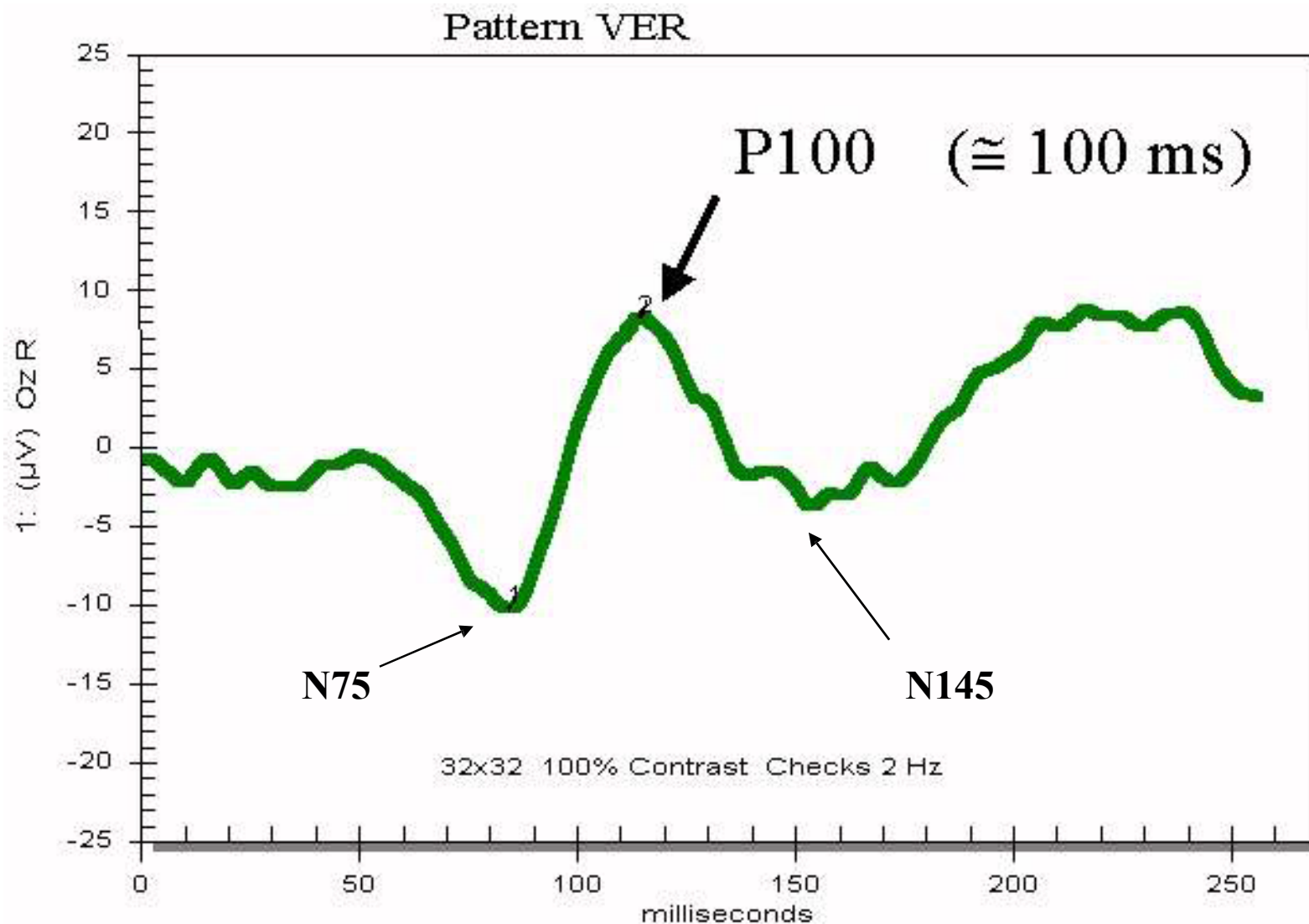


Zrakové evokované potenciály - VEP

- Typická křivka VEP vykazuje potenciálové minimum přibližně po 75ms (N75), vrchol po 100ms (P100) a další minimum po 145ms (N145)
- Měřené parametry: **latence vlny P100 a její amplituda**
- Amplituda VEP slouží jako měřítko počtu funkčních axonů, latence vlny P100 pak odráží rychlost vedení (dysfunkci vedení nervovými vlákny)



VEP – Zrakové evokované potenciály



Klinické využití VEP

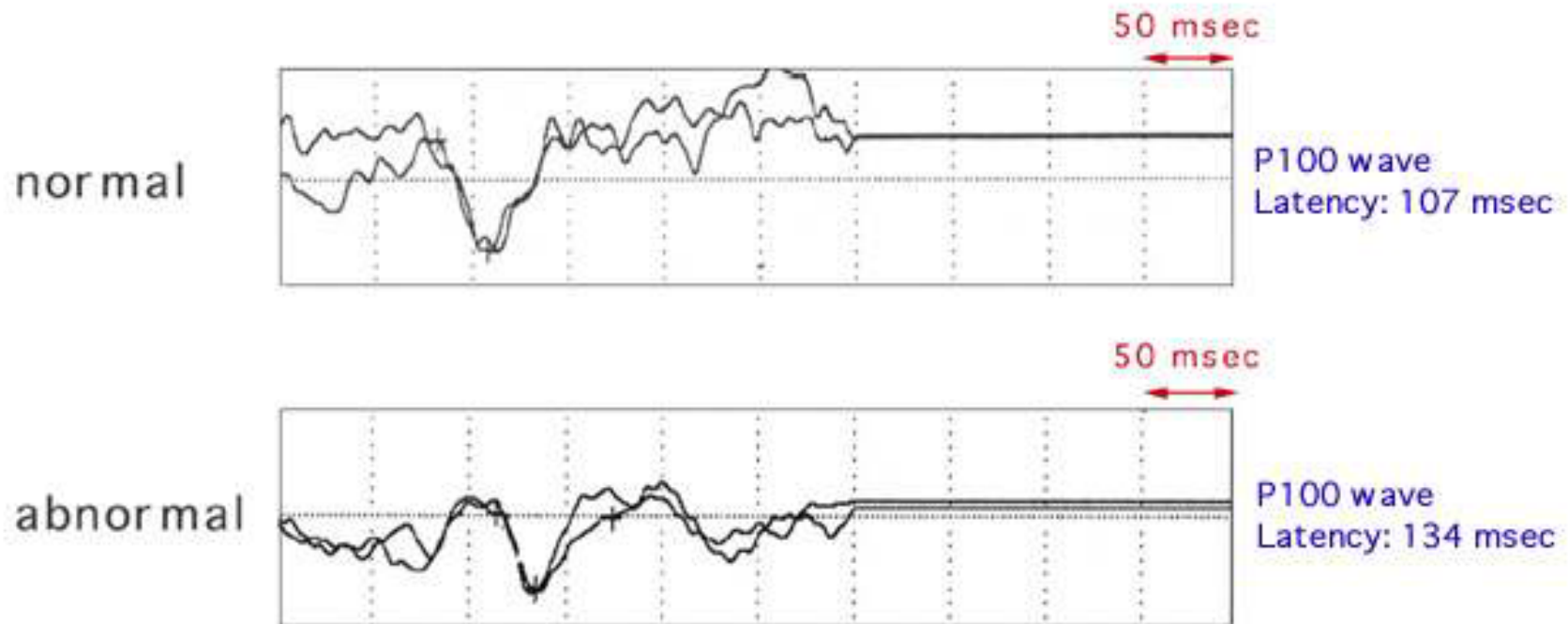
- **Neuritida zrakového nervu (roztroušená skleróza mozkomíšní)** - zřetelné prodloužení latence vlny P100, mírné snížení amplitudy
- **Pokles zrakové ostrosti nebo výpady v zorném poli nejasné etiologie**
- **Amblyopie (tupozrakost)** - prodloužena latence VEP, amplituda je normální
- **Albinismus**
- **Útlakové (tumor) nebo traumatické léze zrakové dráhy**



VEP u pacienta se sclerosis multiplex

(dolní záznam - prodloužená latence vlny P100)

Visual Evoked Potentials



Motorika oka



Dvě složky zrakového orgánu

- **Senzorická (zrakově smyslová)**
 - Periferní část (retina)
 - Zraková dráha
 - Zrakové centrum mozkové kůry
- **Motorická (pohybová)**
 - Okohybné svaly
 - Okohybné nervy a jejich jádra
 - Motorická centra mozkové kůry

U motorické složky probíhá podráždění od nervových center v mozkové kůře k okohybným svalům (eferentní - odstředivý princip řízení).

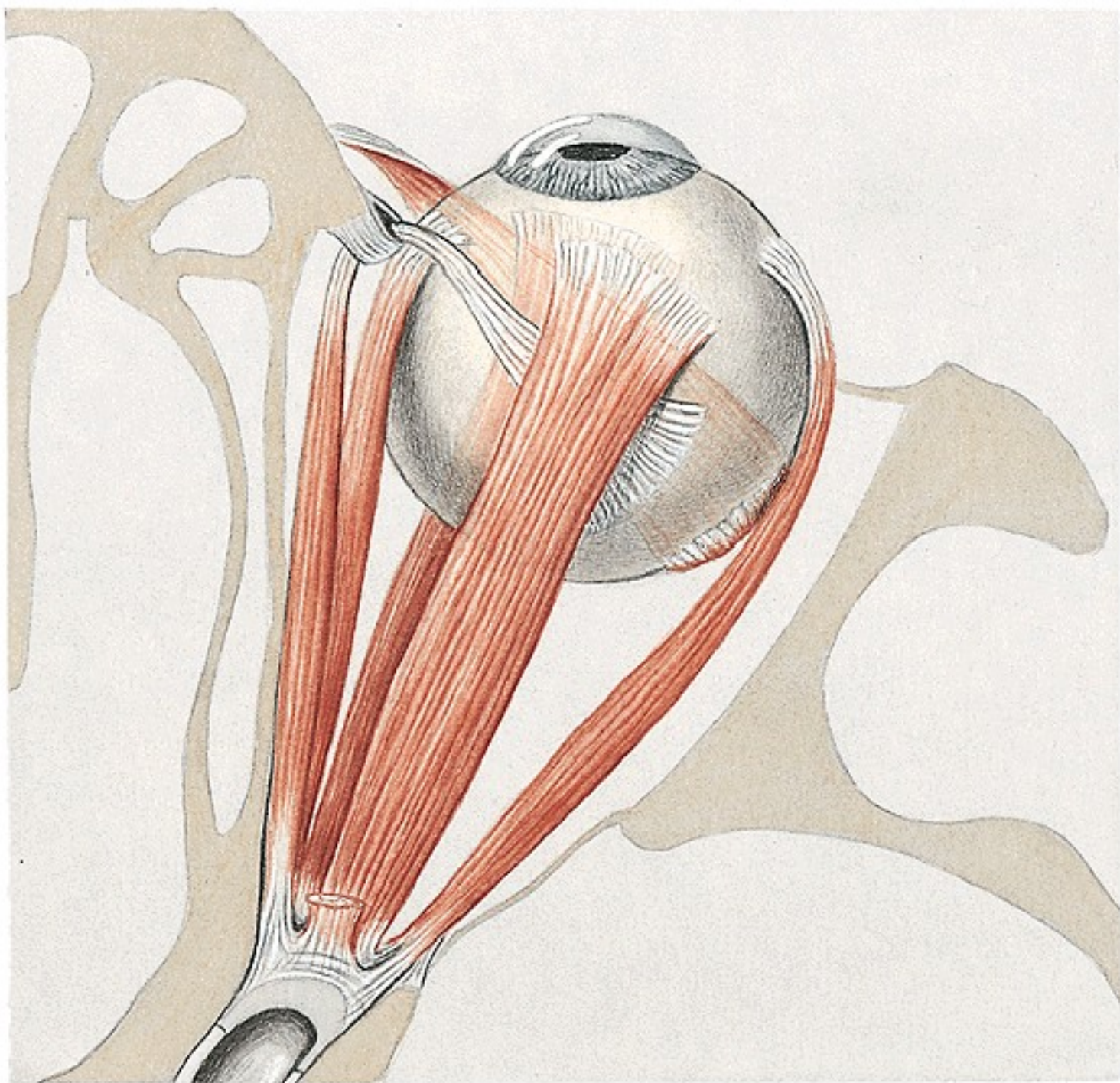
U senzorické složky probíhá podráždění z periferie do centra



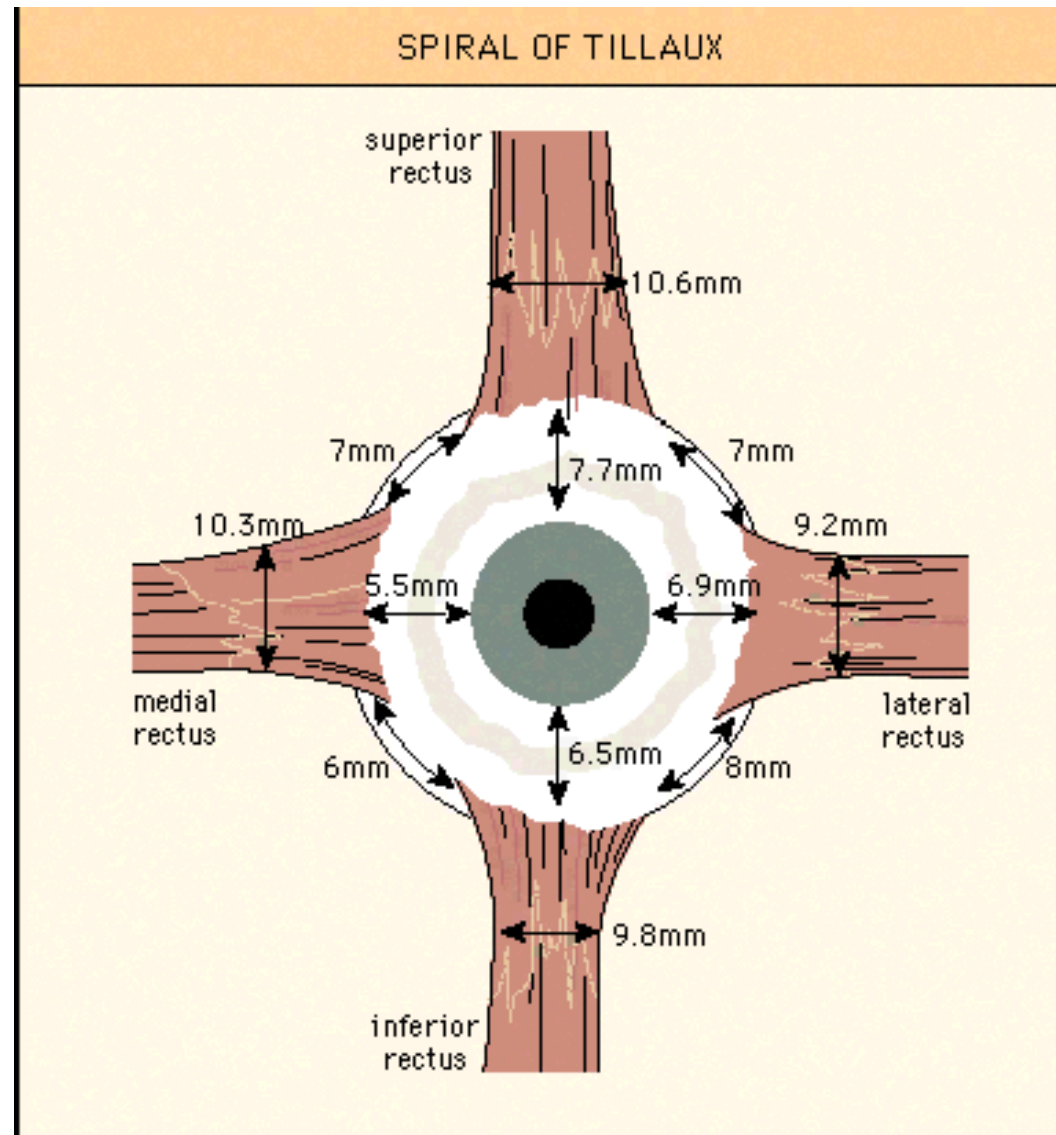
Okohybné svaly

- Čtyři přímé a dva šikmé zevní oční svaly
- Anulus tendineus communis
- Tillauxova spirála
- Šířka úponu svalů je asi 1cm
- Délka zevních přímých očních svalů činí asi 4cm, horní šikmý sval měří asi 6cm





Tillauxova spirála

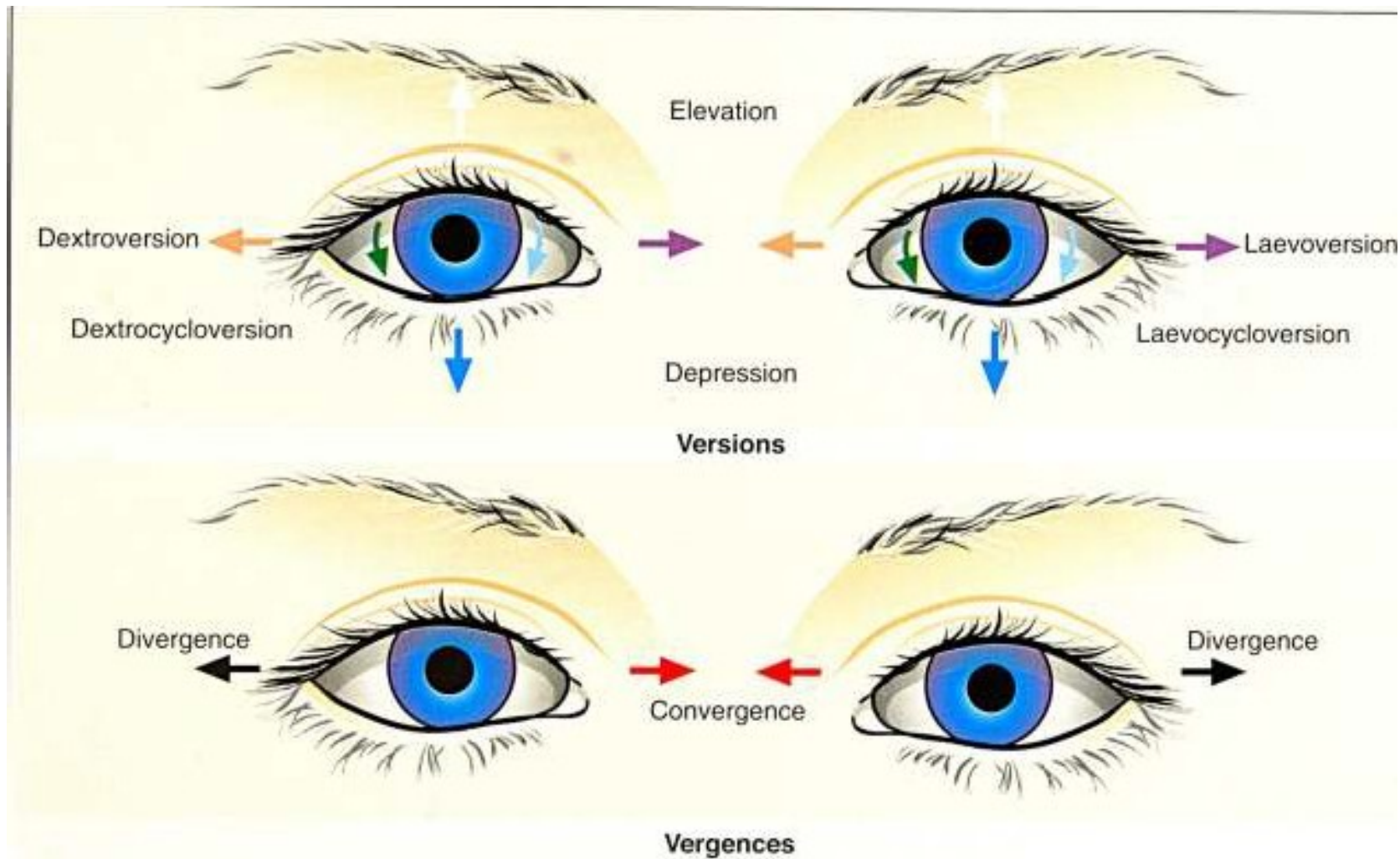


Terminologie očních pohybů

- **Dukce** = pohyb jednoho oka (addukce, abdukce, deprese, elevace.)
- **Verze** = pohyb obou očí ve stejném směru (dextroverze, sinistroverze, supraverze, infraverze .)
- **Vergence** = pohyb obou očí v protisměru (konvergence, divergence, pozitivní vertikální vergence, negativní vertikální vergence)



Dukce - Verze - Vergence



EYE MOVEMENT TERMINOLOGY

Terminology	Movement
Ductions: Adduction Abduction Depression Elevation Intorsion Extorsion Dextrocycloduction Levocycloduction	Nasal rotation Temporal rotation Downward rotation Upward rotation Upper corneal pole rotates inward Upper corneal pole rotates outward Upper corneal pole rotates rightward Upper corneal pole rotates leftward
Versions: Dextroversion Levoversion Supraversion Infraversion Dextrocycloversion Levocycloversion	Both eyes rotate to patient's right Both eyes rotate to patient's left Both eyes rotate upward Both eyes rotate downward Upper corneal poles of both eyes rotate to patient's right Upper corneal poles of both eyes rotate to patient's left
Vergences: Convergence Divergence Positive vertical vergence Negative vertical vergence Incyclovergence Excyclovergence	Both eyes rotate nasally Both eyes rotate temporally Right eye rotates higher than left Left eye rotates higher than right Upper corneal poles of both eyes rotate inward Upper corneal poles of both eyes rotate outward



EXTRAOCULAR MUSCLE CHARACTERISTICS

Muscle	Origin	Insertion	Muscle length (mm)	Tendon length (mm)	'width of insertion (mm)	Direction of pull from 1 position (°)	Action: i. Primary ii. Secondary iii. Tertiary	Innervation (cranial nerve)
Medial rectus	Annulus of Zinn	5.5mm behind nasal limbus	41	3.5	10.3	90	i. Adduction	Inferior-III
Lateral rectus	Annulus of Zinn	6.9 mm behind temporal limbus	41	8	9.2	90	i. Abduction	VI
Superior rectus	Annulus of Zinn	7.7 mm behind superior limbus	42	5	10.6	23	i. Elevation ii. Intorsion iii. Adduction	Superior-III
Inferior rectus	Annulus of Zinn	6.5 mm behind inferior limbus	40	6	9.8	23	i. Depression ii. Extorsion iii. Adduction	Inferior-III
Superior oblique,	Frontoethmoidal suture above, annulus of Zinn	Posterior, lateral, superior quadrant	32	26	10.8	51	i. Intorsion ii. Depression iii. Abduction	IV
Inferior oblique,	Posterior to lacrimal fossa	Posterior, lateral, inferior quadrant	35	1	9.6	51	i. Extorsion ii. Elevation iii. Abduction	Inferior-III



Svaloví antagonisté, synergisté

- **Stejnostranný antagonistá svalú**
např. m. rectus internus a m. rectus externus pravého oka
- **Druhostranný synergista svalú**
např. m. rectus internus pravého oka a m. rectus externus levého oka = spřažené svaly
- **Druhostranný antagonistá svalú**
např. m. rectus externus pravého oka a m. rectus externus levého oka



Sheringtonův a Heringův zákon

- **Sheringtonův zákon o reciproké inervaci antagonistů**

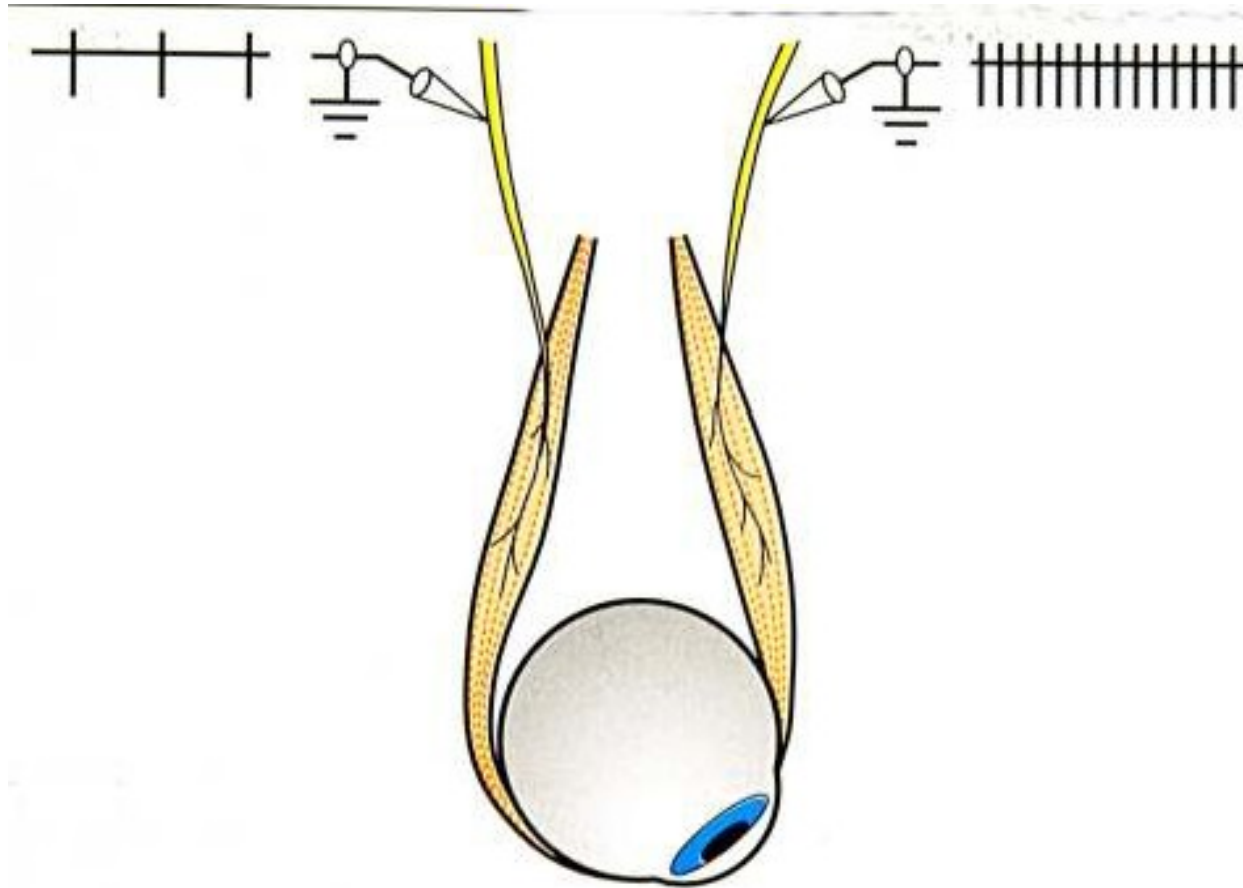
Každý pohyb očí je možný jen tehdy, je-li kontrakce synergistů zároveň provázena relaxací antagonistů. Je-li zvýšen nervový impuls pro určitý zevní oční sval, je stejnou měrou tlumen impuls pro jeho antagonistu

- **Heringův zákon o stranově symetrické inervaci synergistů**

Inervační impuls je rovnoměrně rozdělen na synergisty obou očí, jež se v tomto případě *chovají jako jediný orgán*. Z motorického centra přichází stejný nervový impuls do obou svalů spřažené dvojice pro pohyb očí v určitém směru.



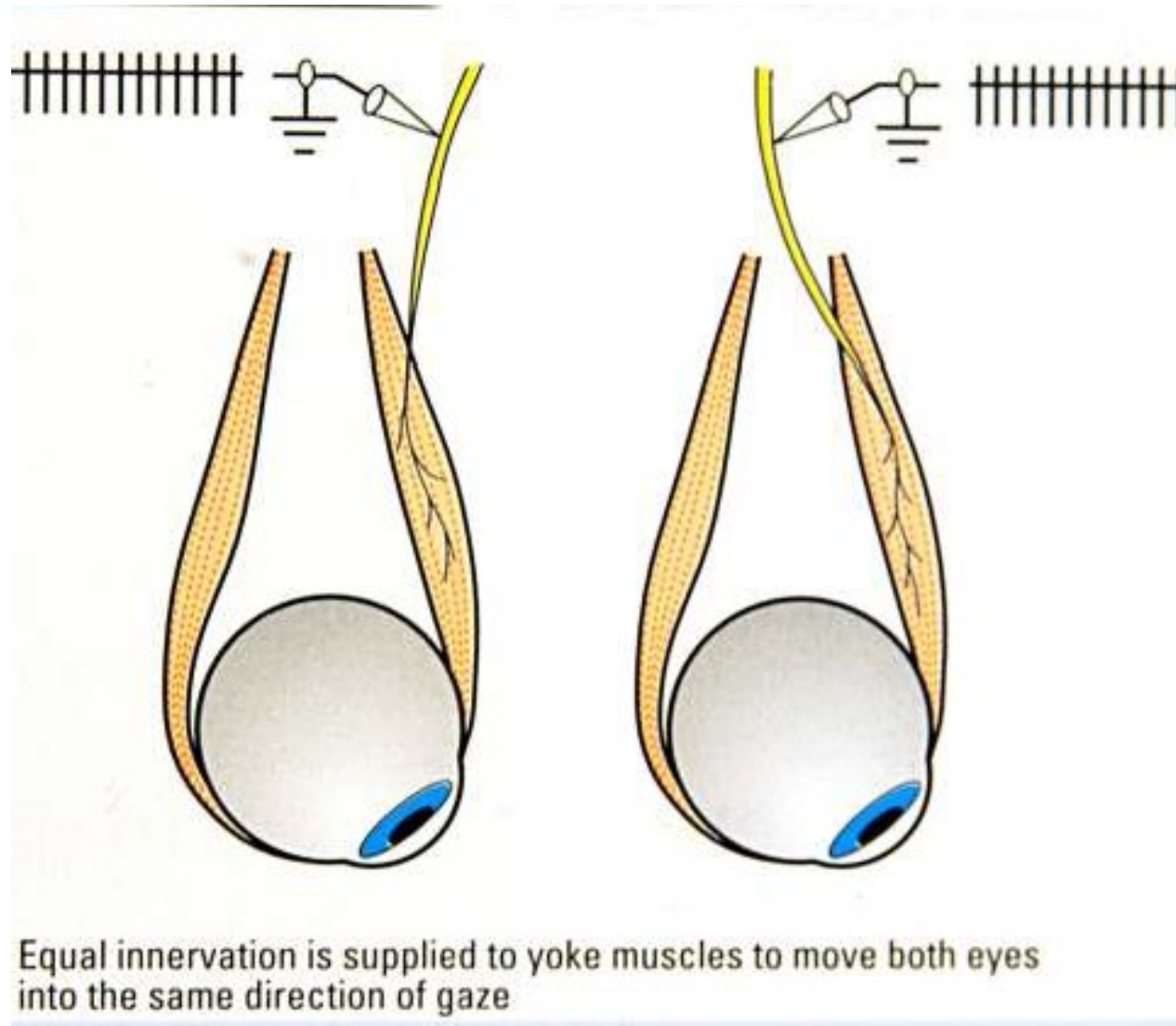
Sheringtonův zákon



Increased innervation to a given extraocular muscle is accompanied by reciprocal decreased innervation to its antagonist



Heringův zákon



**Parasympatické Edinger
Westphalovo jádro n. III**

Jádro n. III

Jádro n. IV

Motorické jádro n. V

Jádro n. VI

Jádro n. VII

**Nucleus salivatorius
superior n. VII**

**Nucleus salivatorius
inferior**

Nucleus ambiguus

**Nucleus dorsalis
nervi vagi**

**Nucleus nervi
hypoglossi**

**IV. Komora
mozková**

Corpus pineale

Pulvinar thalami

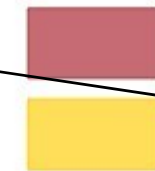
**Corpus geniculatum
mediale**

**Corpus geniculatum
laterale**

Colliculus superior

Colliculus inferior

**Jádro n.V (mesencefalické,
pontinní, spinální)**



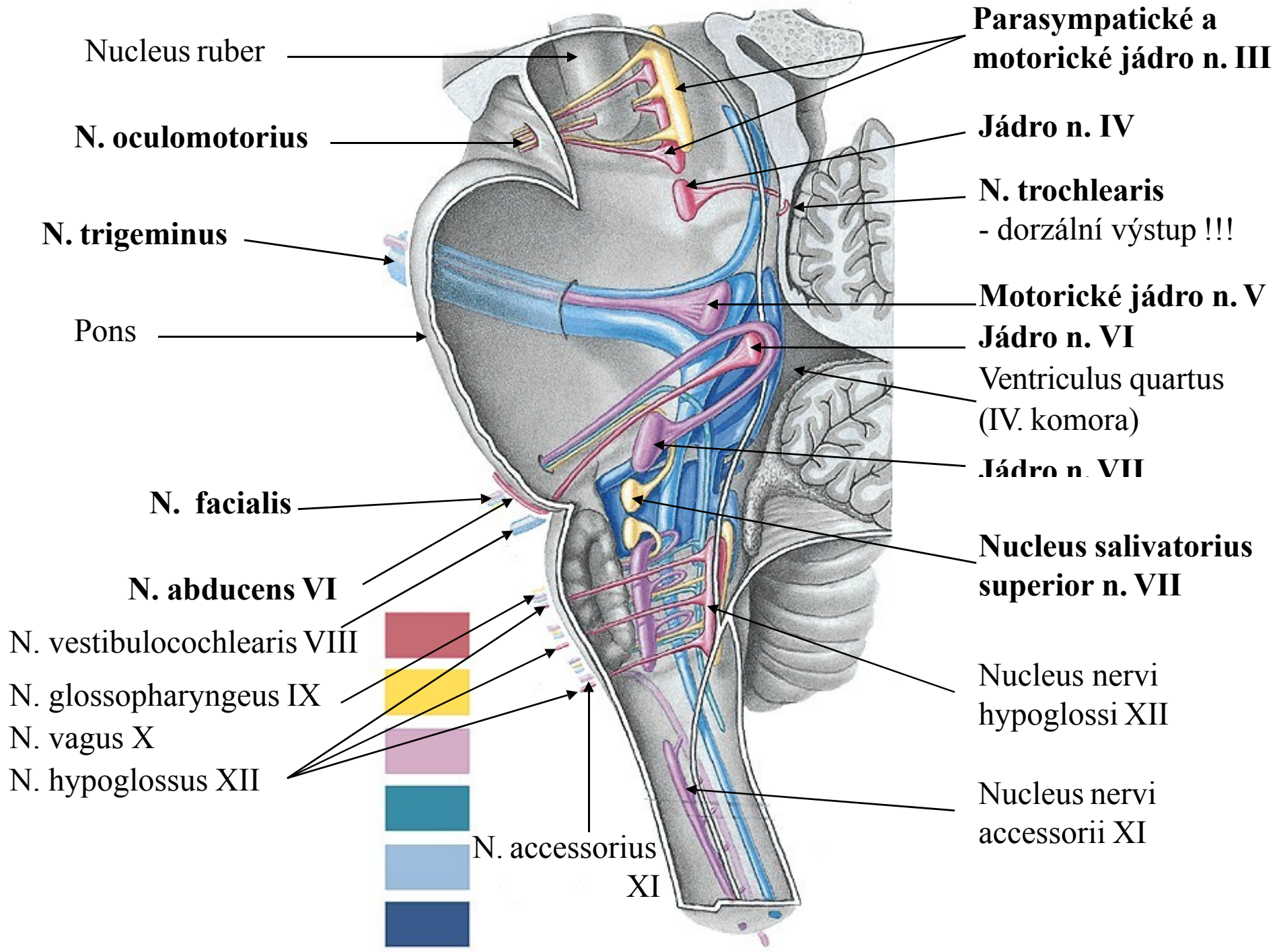
**Nucleus cochlearis
posterior**

**Nucleus vestibularis
medialis**

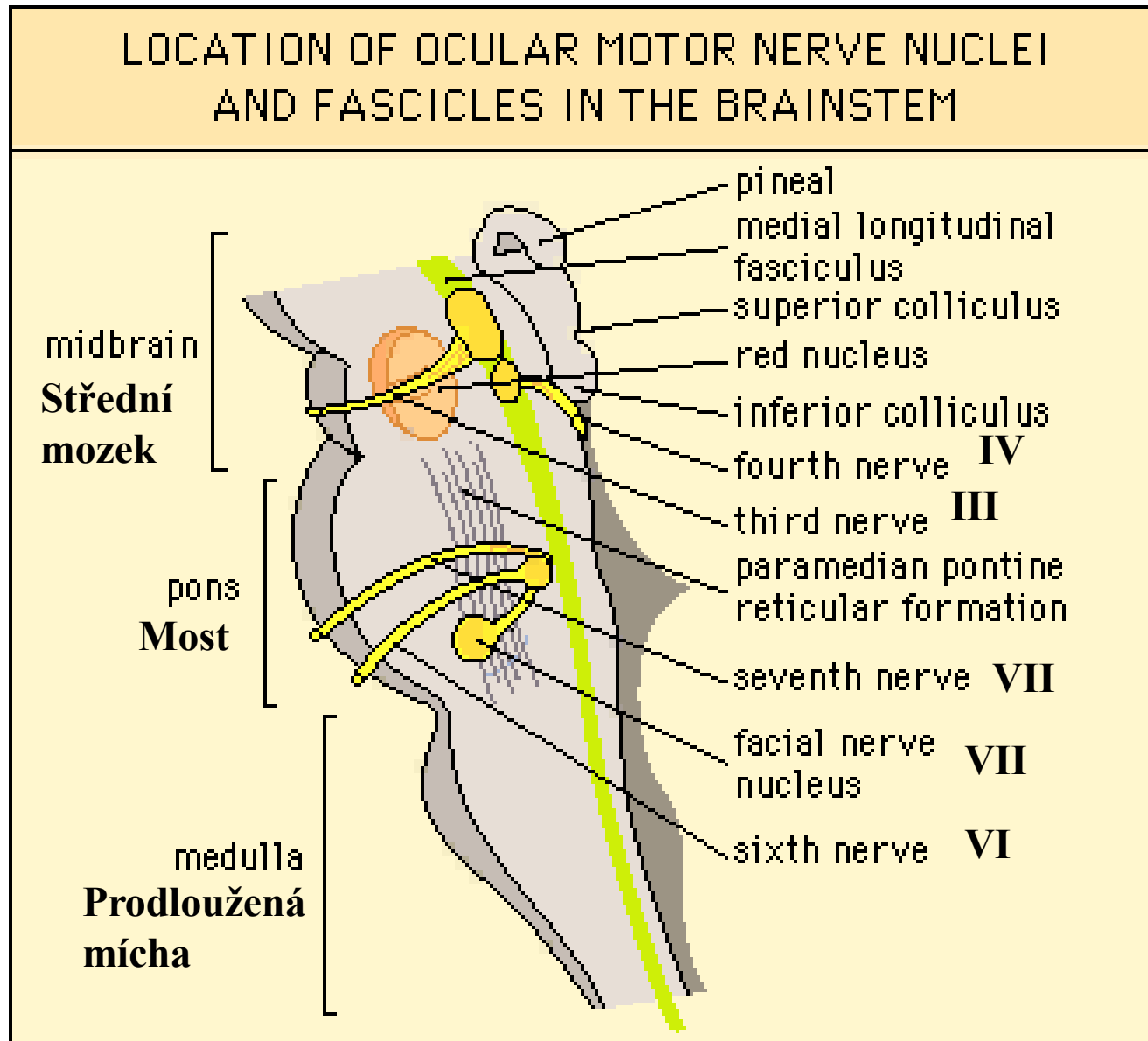
Nucleus solitarius

Nucleus nervi accessorii





Jádra okohybných nervů v mozkovém kmeni

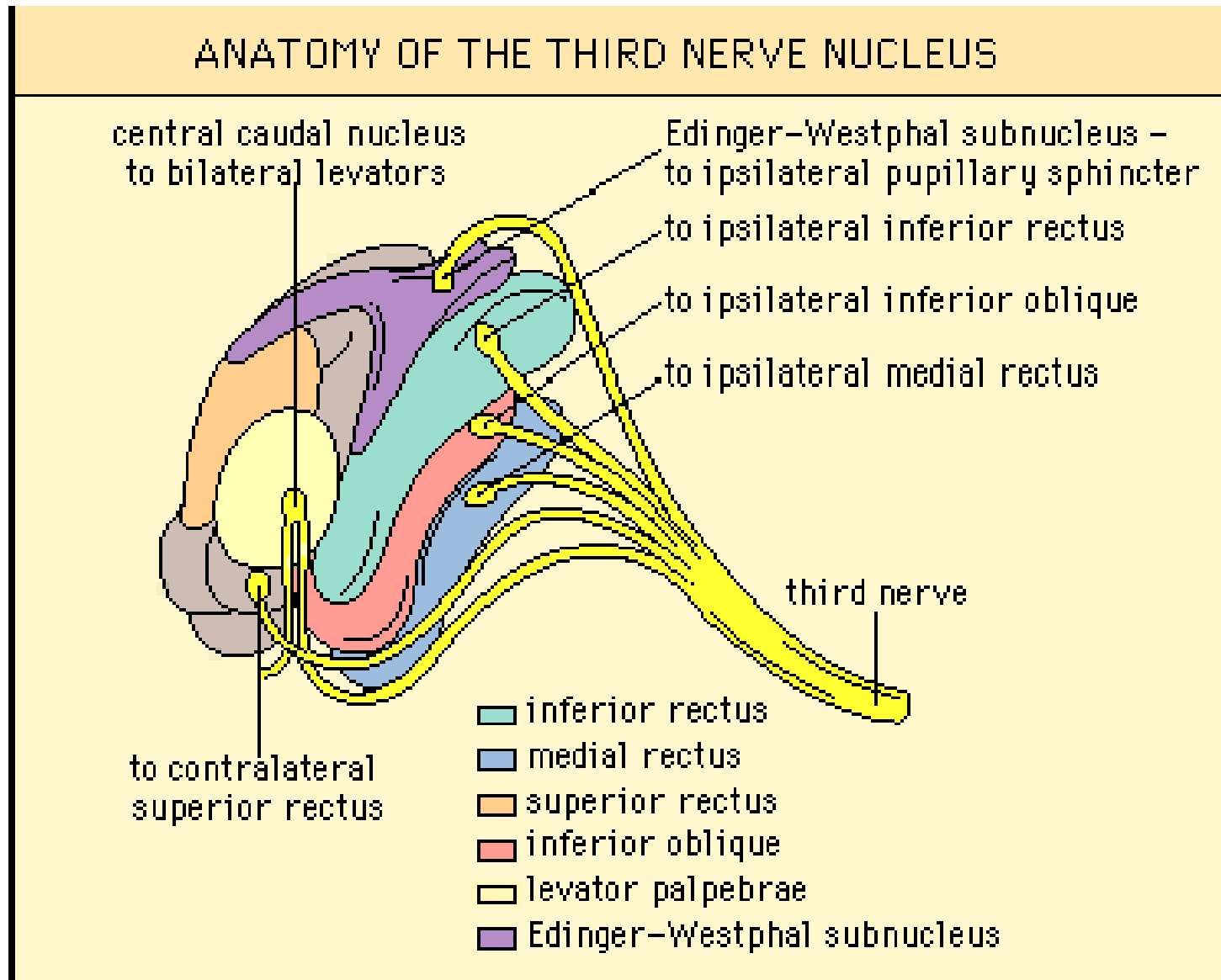


N. oculomotorius (III)

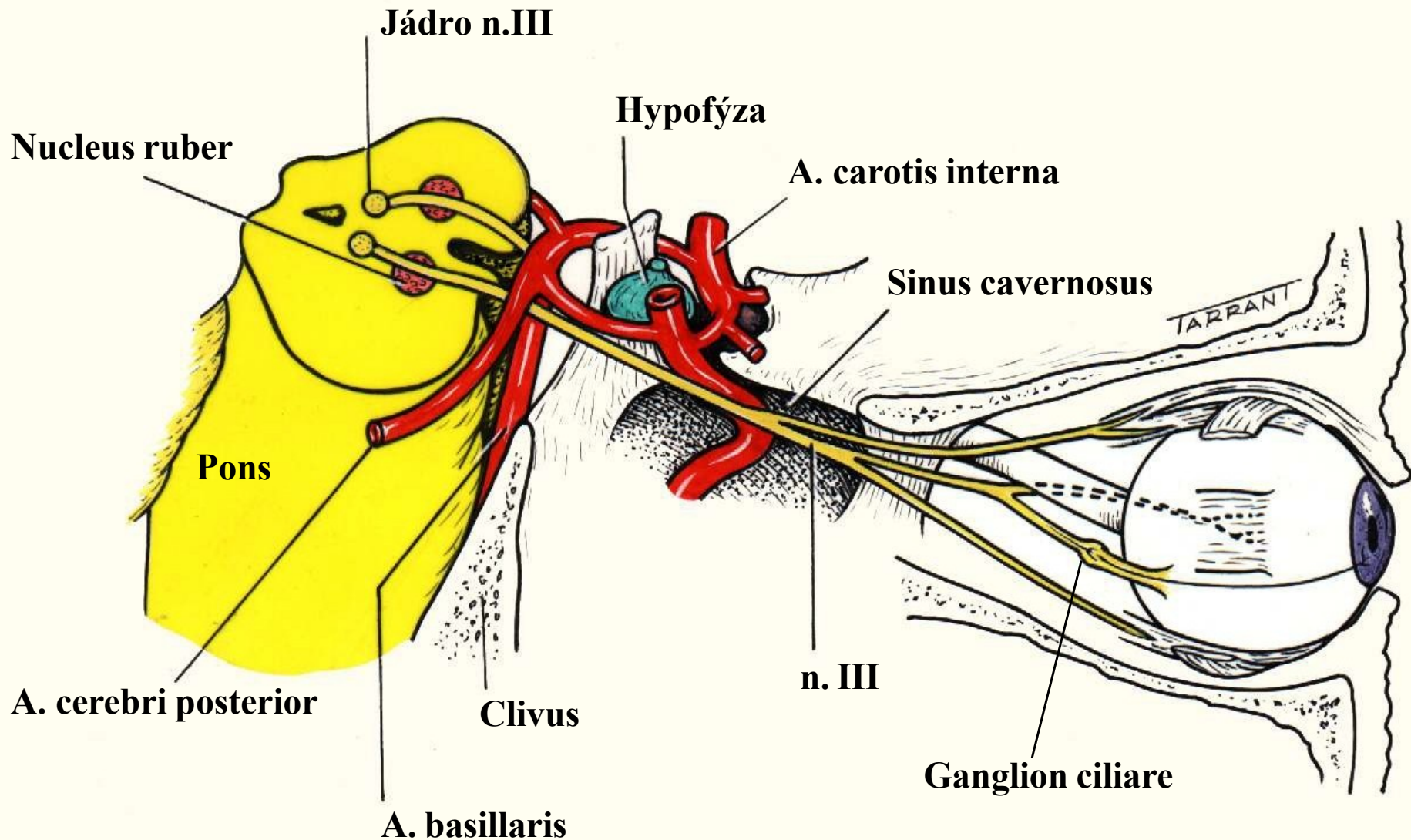
- **Jádrový komplex leží v mesencefalu na úrovni colliculus superior pod Silvioým akveduktem**
- **Podjádro pro m. levator palpebrae superioris je nepárová středová struktura, která inervuje oba levátory (pravého i levého oka) !!**
- **Podjádro pro m. rectus superior je párové a inervuje kontralaterální horní přímý sval**
- **Podjádra pro m. rectus medialis, inferior a m. obliquus inferior jsou párové a inervují stejnostranné svaly**



Struktura jádrového komplexu n.III



N. oculomotorius (III) - průběh nervu



N. trochlearis (IV)

A. Carotis interna

A. Communicans post.

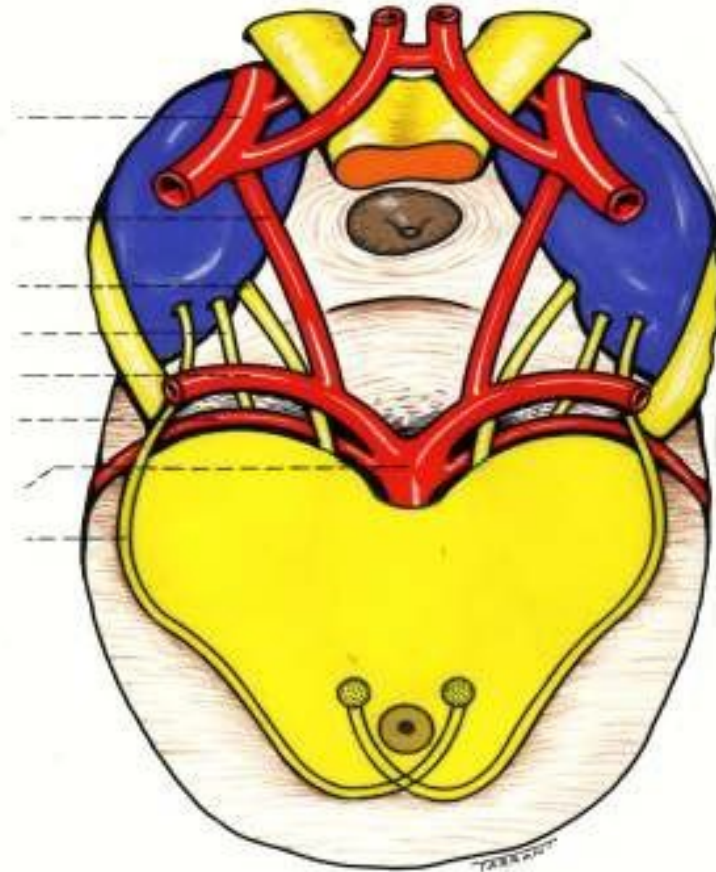
III
VI

A. cerebri post.

A. Cerebellaris super.

A. basillaris

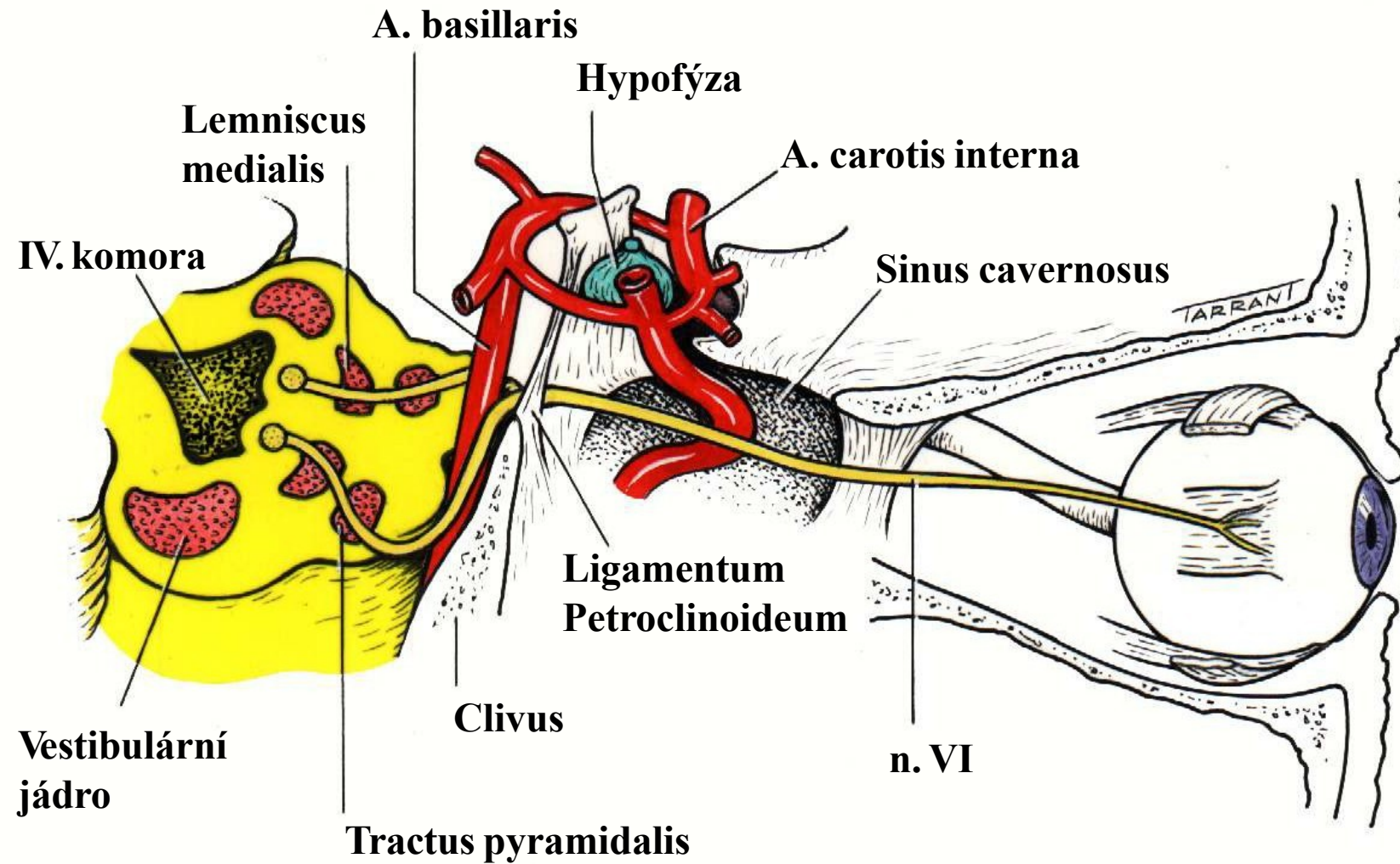
IV



- **Jediný hlavový nerv, který vybíhá dorzálně !!!**
- **Zkřížený hlavový nerv !**
- **Velmi dlouhý průběh; tenký nerv**



N. abducens (VI)



Supranukleární (centrální) motorická oblast



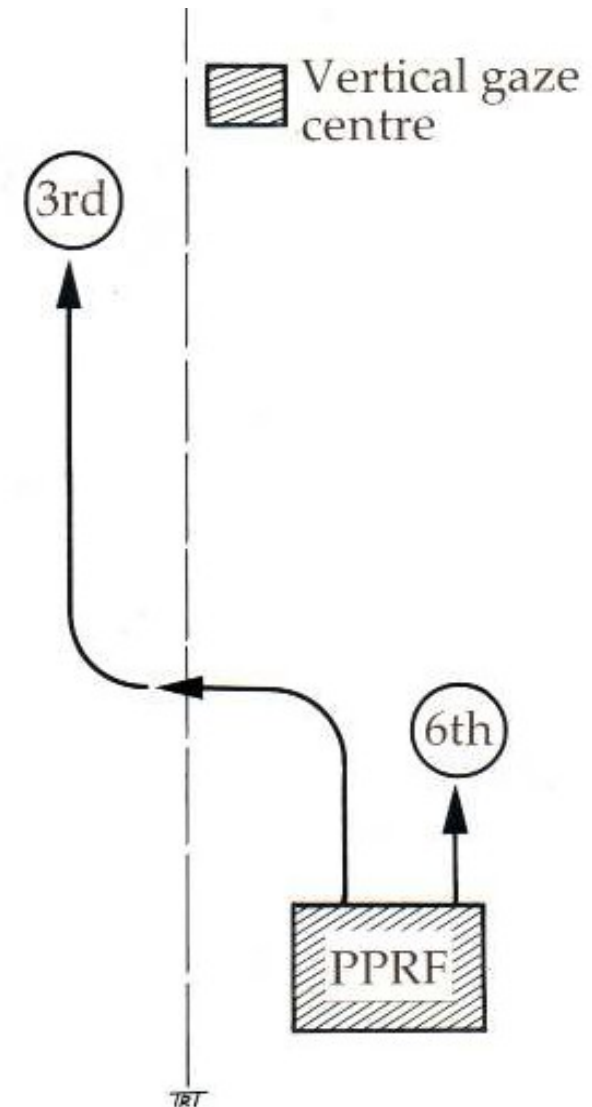
Supranukleární pohledová centra

- **Kmenová**
 - Horizontální pohledové centrum - *paramediální pontinní retikulární formace (PPRF)*
 - Vertikální pohledové centrum - *rostrální interstitiální jádro fasciculus longitudinalis medialis mesencefala (riFLM)*
- **Korová**
 - Frontální lalok
 - Parieto - okcipitální junkce
- **Vestibulární aparát**

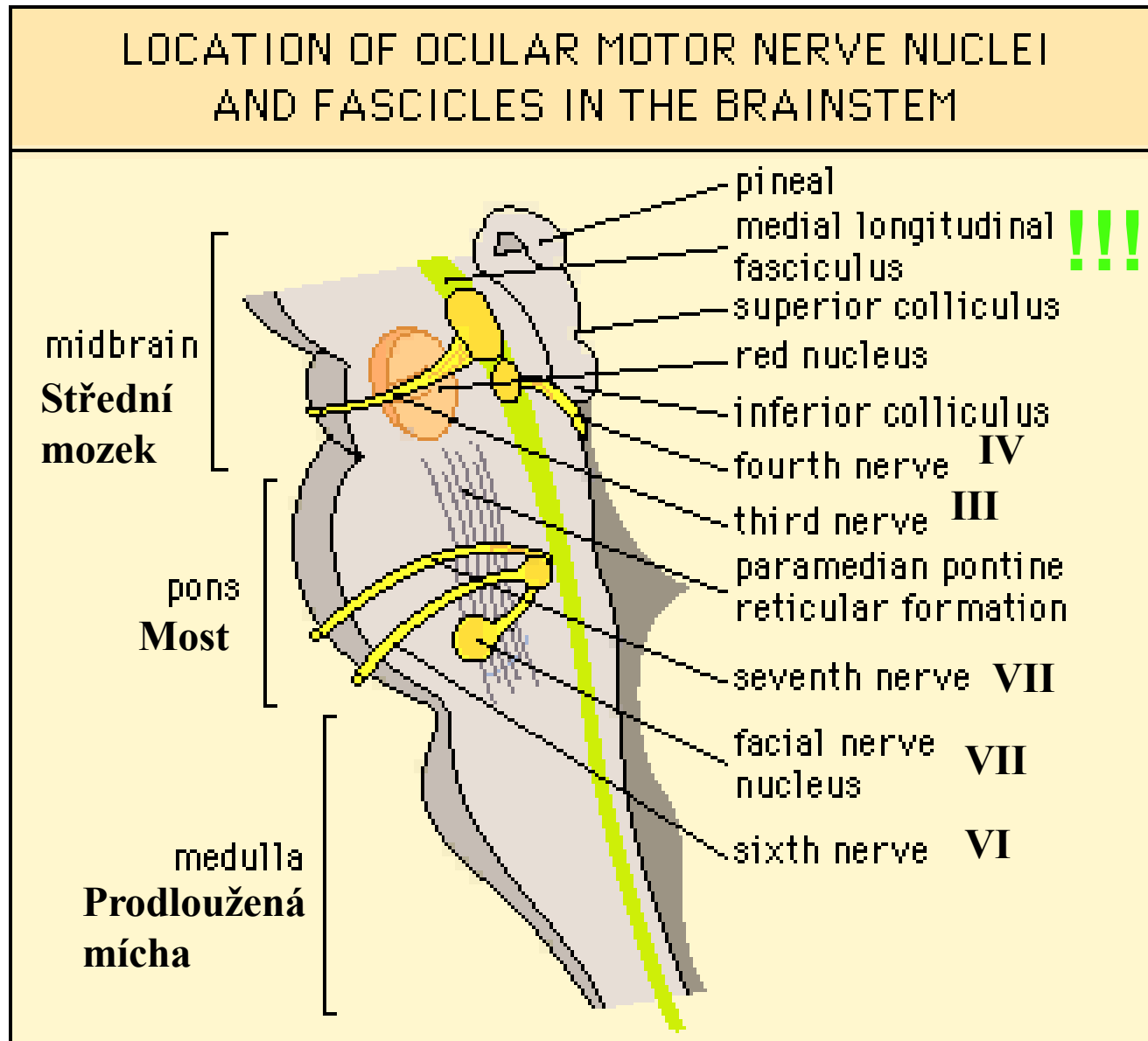


PPRF

Z PPRF jde impuls do stejnostranného jádra n.VI pro m. rectus externus a přes kontralaterální fasciculus longitudinalis medialis do kontralaterálního jádra n.III pro m. rectus internus



Jádra okohybných nervů v mozkovém kmeni ve vztahu k PPRF a riFLM

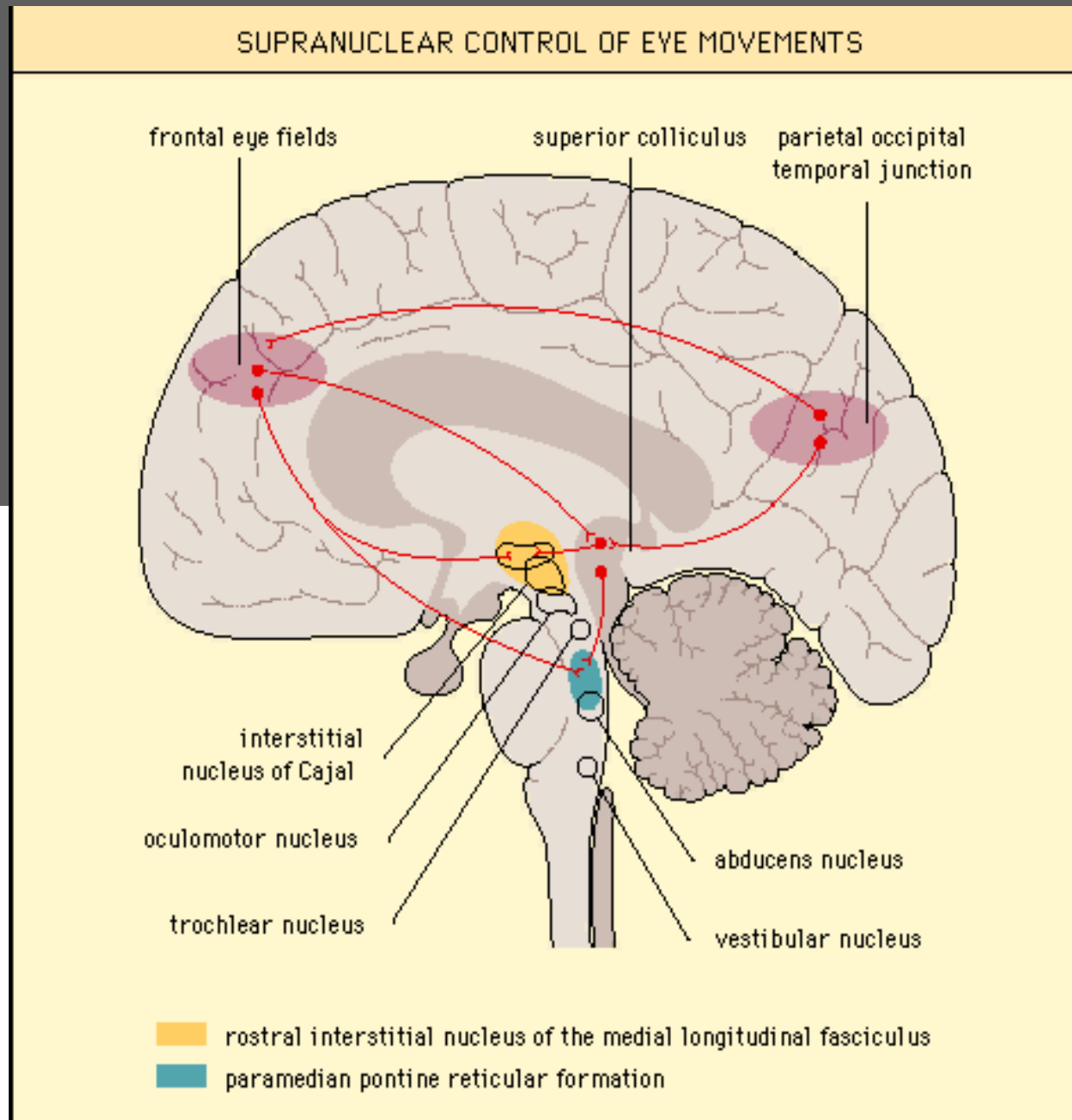


Korová pohledová centra

- **Korové motorické centrum frontálního laloku** řídí volní pohyby očí . Dráha pro pohled doprava vychází z levého čelního laloku a jde vnitřní kapsulou do druhostranného pontinního horizontálního pohledového centra PPRF
- **Korové motorické centrum okcipito-parietálního laloku** řídí reflexní, zrakem podmíněné pohyby očí, tzv. *optomotorické pohyby očí*. Převádějí extrafoveolární obraz do centra (reflex fúzní, konvergence, akomodace, fixace, sledovací pohyby, mrkací reflex)



Korové okohybné centrum ve frontálním laloku pro volní pohyby očí



Parietookcipitálního centrum reflexních pohybů očních (podmíněny zrakovým vjemem)

Rostrální interstitiální jádro fasciculus longitudinalis medialis mesencefala (vertikální pohledové centrum)

Paramediální pontinní retikulární formace (horizontální pohledové centrum)



Vestibulární aparát

- **Mimooptický reflexní systém** - pomocí *statokinetických reflexů* vyrovnávají oči změny polohy hlavy a těla. Tyto reflexy jsou vrozené, nepodmíněné a zachované i při slepotě



Záznam očních pohybů

- **Bezkontaktní metody**
 - *Elektrookulografie* – záznam korneoretinálního potenciálu. Rozlišovací schopnost je 1-2°, lze zaznamenat hrubší pohyby oka (makrosakády a sledovací pohyby)
 - *Metoda následných obrazů (afterimage)* – po krátkodobém intenzivním osvětlení trvá afterimage několik sekund a dovoluje subjektivně sledovat polohu oka vůči vzoru přítomnému v zorném poli
 - *Záznam pohybu rohovkového reflexu* (Purkyňovy obrázky)
- **Kontaktní metody** používají kontaktní čočky s různými nastavci, zrcátka pro měření pohybu oka.



Malé oční pohyby

Pohyby očí během fixace (oko není nikdy v naprostém klidu)

- **Mikrosakády:** nepravidelně se vyskytující rychlé pohyby oka s amplitudou od 2 do 40-50 a délce trvání 10-20ms. Jsou binokulárně symetrické, vůlí neovlivnitelné. Úkolem je vrátet pohledovou osu do základního postavení po vychýlení, které bylo způsobeno klouzavým pohybem očí - driftem



Malé oční pohyby

- **Klouzavý pohyb očí = drift:** je pomalý pohyb oka , kdy se v průběhu až 200ms osa oka uchýlí max. o 6 → obraz se posune na sítnici v rozsahu 10-15 čípků a nedostane se mimo foveu. Obraz vracejí zpět do centra fovey mikrosakády opačného směru. Drift jako jediný oční pohyb neodpovídá Heringovu zákonu – každé oko plave v klouzavém pohybu nezávisle a asymetricky. Význam driftu bude asi souviset se stabilizovaným obrazem na sítnici



Malé oční pohyby

- **Tremor = oční třes:** má nejmenší amplitudu 20-30 μ , frekvenci 70-90Hz (i více než 100Hz). Funkční význam třesu není znám.



Velké oční pohyby

- **Sakády:** jsou konjugované oční pohyby k prohlížení zorného pole a k větším změnám polohy fixačních os oka. Objeví-li se v periferii zorného pole objekt → sakáda → přesun fovey na místo podnětu v zorném poli. Rychlost sakád je až 800 s^{-1} s latencí 150-200ms). Sakády následují za sebou s odstupem vždy nejméně 150ms



Velké oční pohyby

- **Sledovací oční pohyby (smooth pursuit movements):** jsou přítomny pouze tehdy, kdy se v zorném poli pohybuje podnět určitou rychlostí. Nejsou ovladatelné vůlí. Sledovací pohyby jsou identické s pomalou složkou optokinetického a vestibulárního nystagmu



Velké oční pohyby

- **Disjunkční pohyby oční - konvergence, divergence:** jsou vyvolány změnou polohy fixačního bodu v předožadní ose. Signálem pro ně je dopad obrazu předmětu na disparátní místa sítnice. Jsou relativně pomalé, trvají až 800ms.



Nystagmus

- **Nystagmus definujeme jako bezděčné rytmické („sem a tam“) pohyby většinou obou očí zároveň, vykonávané v jednom, v několika nebo ve všech pohledových směrech. Vzniká poruchou tonické inervace okohybných svalů řízené z obou polovin CNS, obou labyrintů a z obou sítnic.**
- **Nystagmus může být fyziologický nebo patologický**



Optokinetický nystagmus



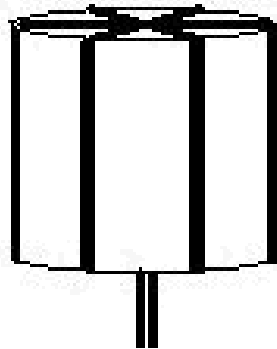
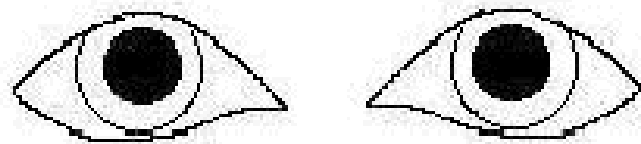
- **Jde o fyziologický nystagmus, který vzniká buď spontánně (např. při pohledu z jedoucího vlaku) nebo experimentálně (při sledování otáčejícího se pruhovaného optokinetického bubnu). Pomalá složka sleduje pohyb (sledovací pohyb), rychlou složkou se přenáší fixace na nový objekt (sakáda).**
- **Výbavnost optokinetického nystagmu je objektivním průkazem zachovalé funkce oka a může sloužit k průkazu simulace**



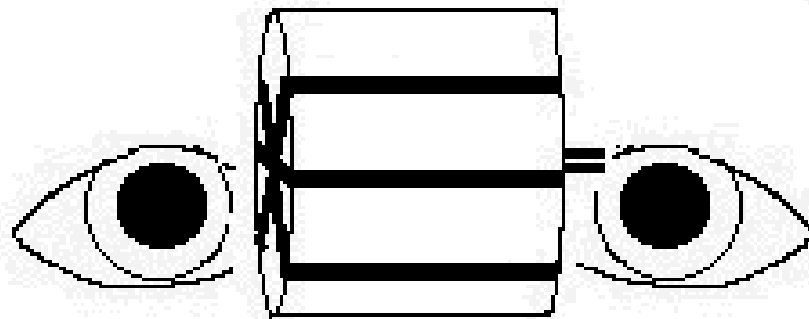
Vyšetření optokinetického nystagmu u preverbálního dítěte



Optokinetický nystagmus



chua



chua



Vnímání tvaru a pohybu zrakových podnětů



Vnímání tvaru zrakových podnětů

- Pro **rozlišení tvaru podnětu** jsou významné jeho parametry jako kontrast, rozměr, orientace, směr a rychlost pohybu
- Sítnice a corpus geniculatum laterale jen předzpracovávají informace
- Diskriminace nastává ve **zrakové kůře** (area 17, 18, 19; V1, V2, V3 .) – vysoce selektivní receptivní pole (jednoduchá, komplexní hyperkomplexní)
- Diskriminační schopnost po totální destrukci zrakové kůry výrazně klesá



Vnímání pohybu zrakových podnětů

- Zrakový vjem pohybu je vyvolán:
 - Skutečným pohybem objektu v prostoru
 - Zdánlivým vjemem pohybu při postupném osvětlování (60ms) dvou blízko sebe ležících bodů
- Pohyb objektu je vnímán buď nehybným okem v průběhu *fixace* nebo vyvolává *sledovací oční pohyby* (rychlost podnětu $< 50-80 \text{ .s}^{-1}$) či *sakády*
- Subjektivní vjem rychlosti pohybu objektu je při nehybných očích asi 1,6-1,8x vyšší než během sledovacích pohybů očí



Vnímání pohybu zrakových podnětů

- Práh pro vnímání pohybu = $1-2' \cdot s^{-1}$
- Klesne-li rychlost pohybu na $40-60'' \cdot s^{-1}$ pak mizí schopnost vnímat pohyb
- Sítnicové neurony mají minimální specifitu pro pohyb
- Pohyb (směr a rychlost) je analyzován **neurony zrakové kůry** – zejména komplexní receptivní pole



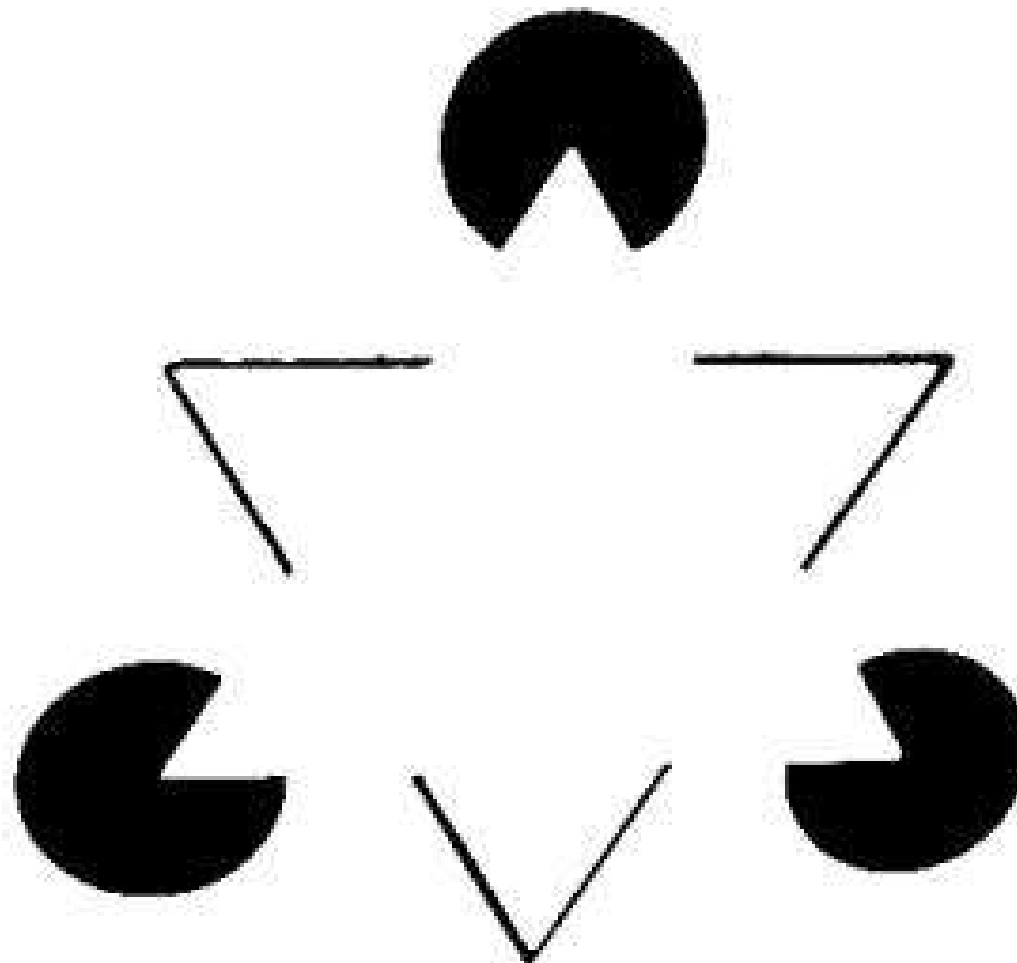
Zrakové iluze

- Selhání normální funkce zraku za určitých podmínek – nesprávná zraková interpretace podnětu (skutečnosti)
- Zrakové iluze se týkají různých kategorií zrakového vnímání: iluze formy, pohybu, barvy, prostorového vjemu
- Iluze vznikají percepčními procesy ve vyšších etážích zrakové dráhy
- Dělení: Fyziologické (souvisí s iradiací a kontrastem)
Geometrické (geometrické vlastnosti objektů)
Psychologické



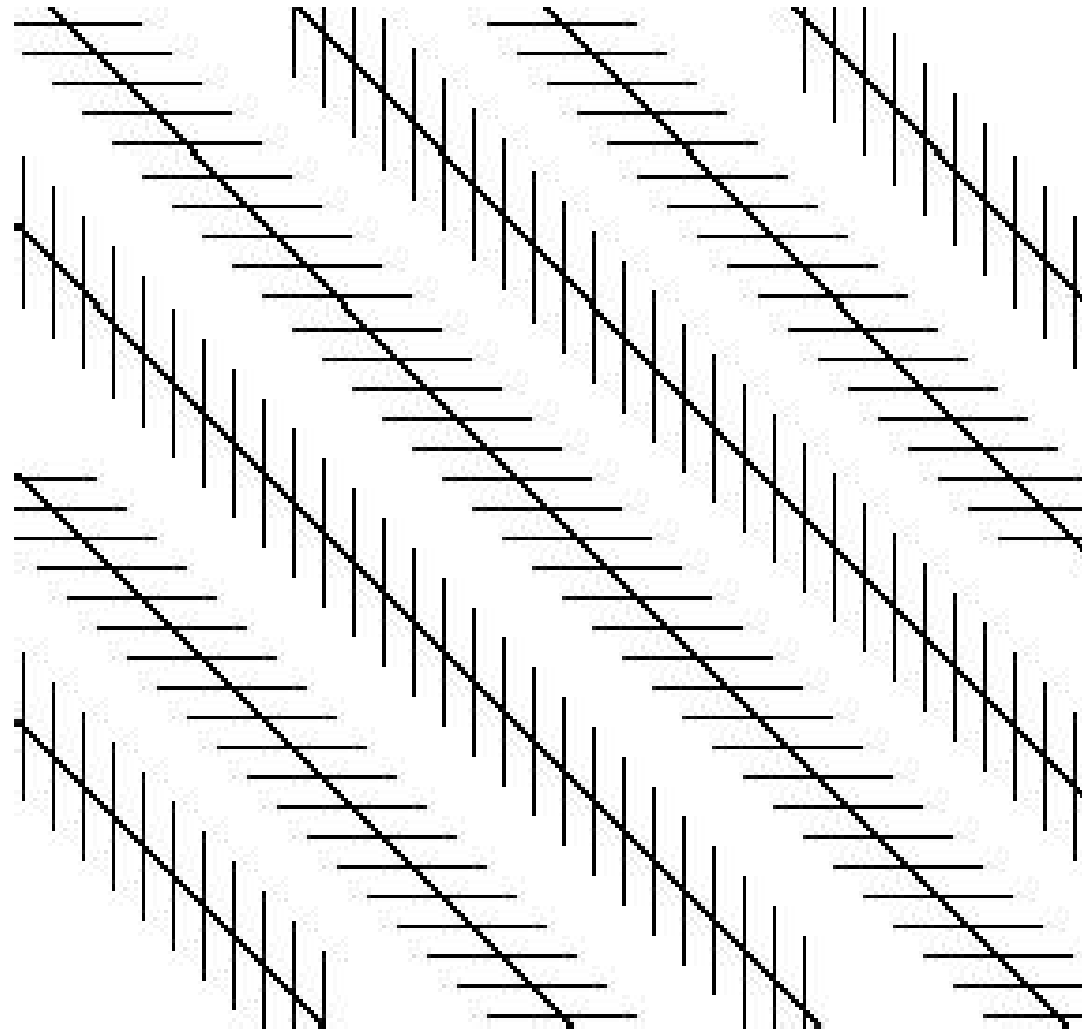
Fyziologické optické klamy

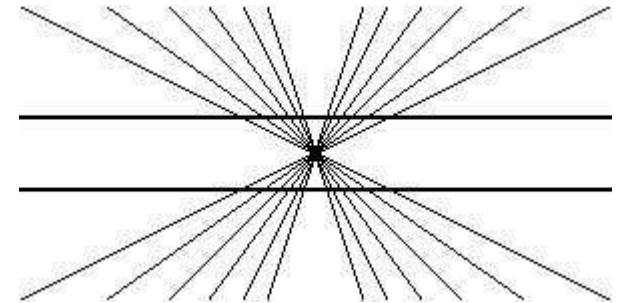
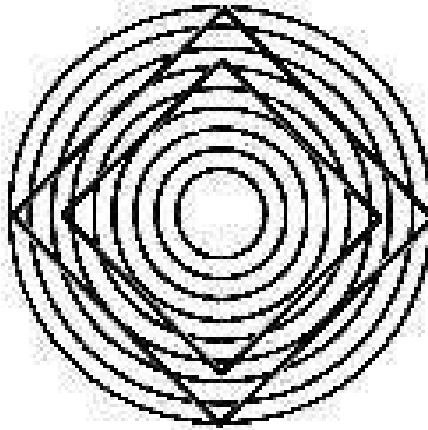
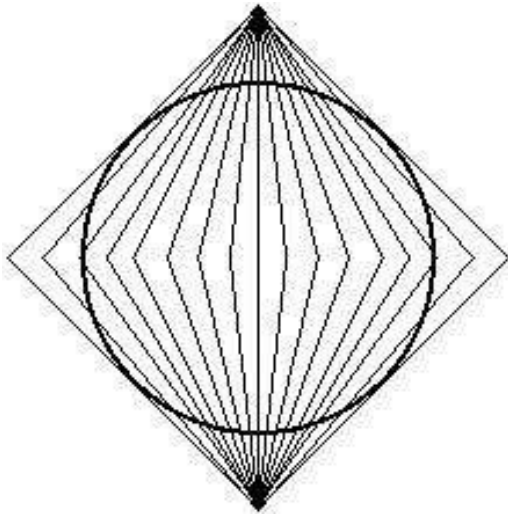
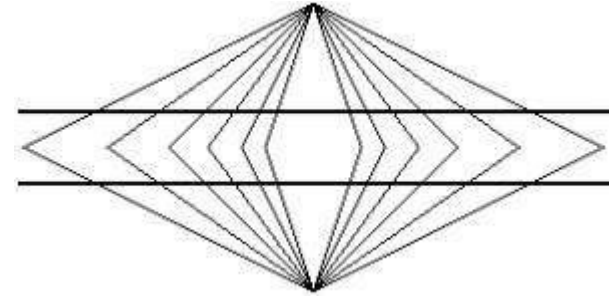
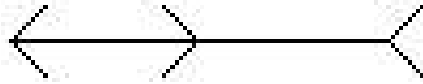
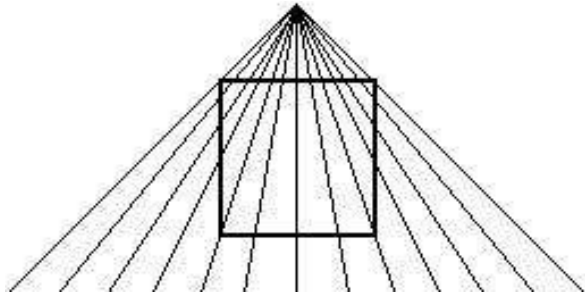
Kaniszův Δ – bílý Δ není narýsován, vnímáme rozdíl kontrastů



Geometrické optické klamy

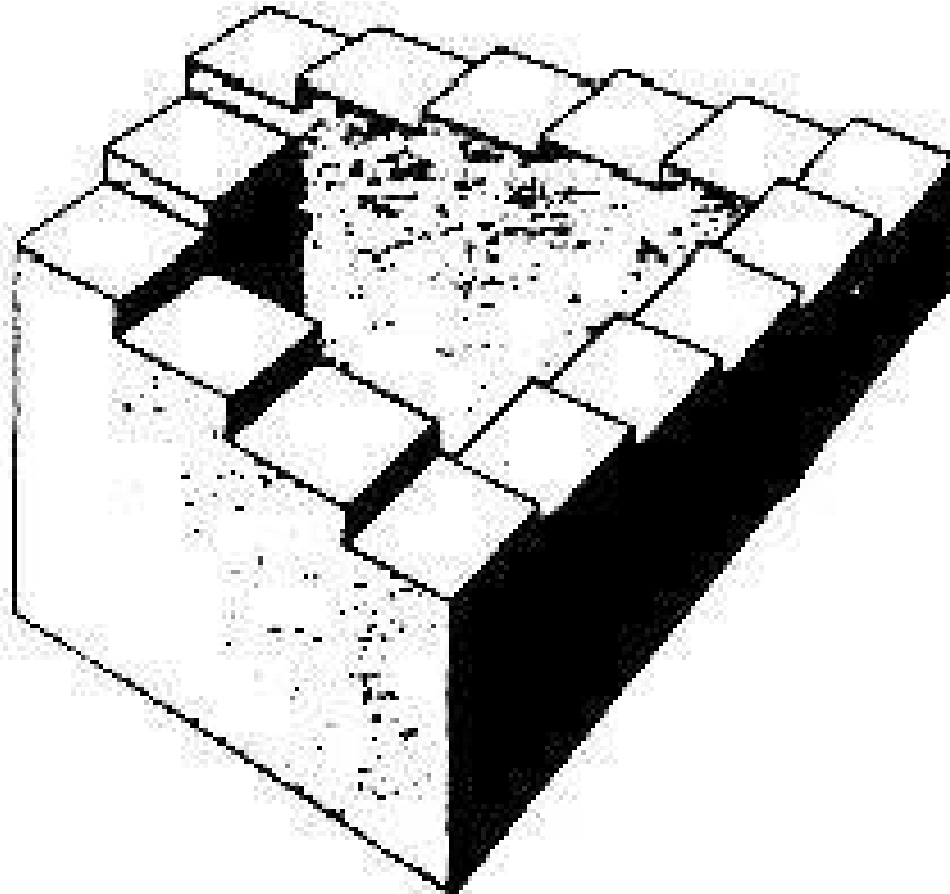
Heringova iluze – dlouhé čáry jsou vzájemně rovnoběžné

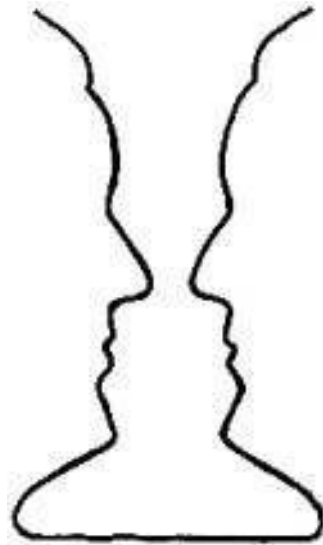
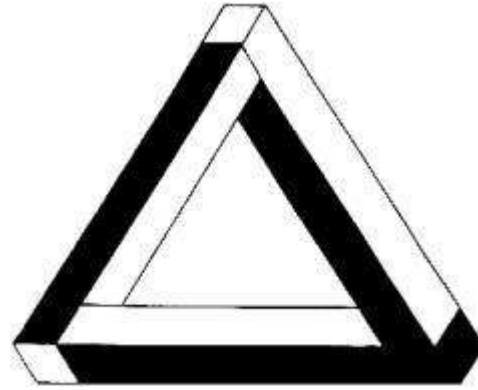
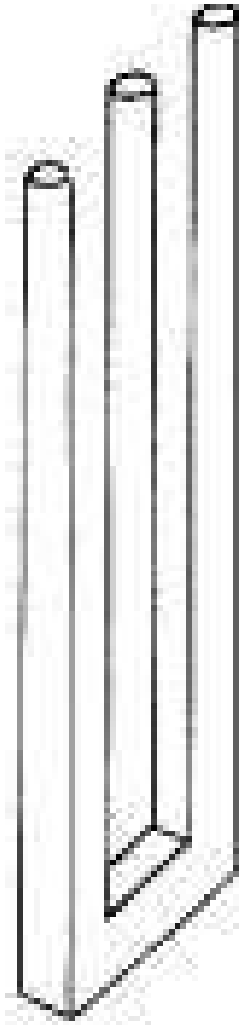




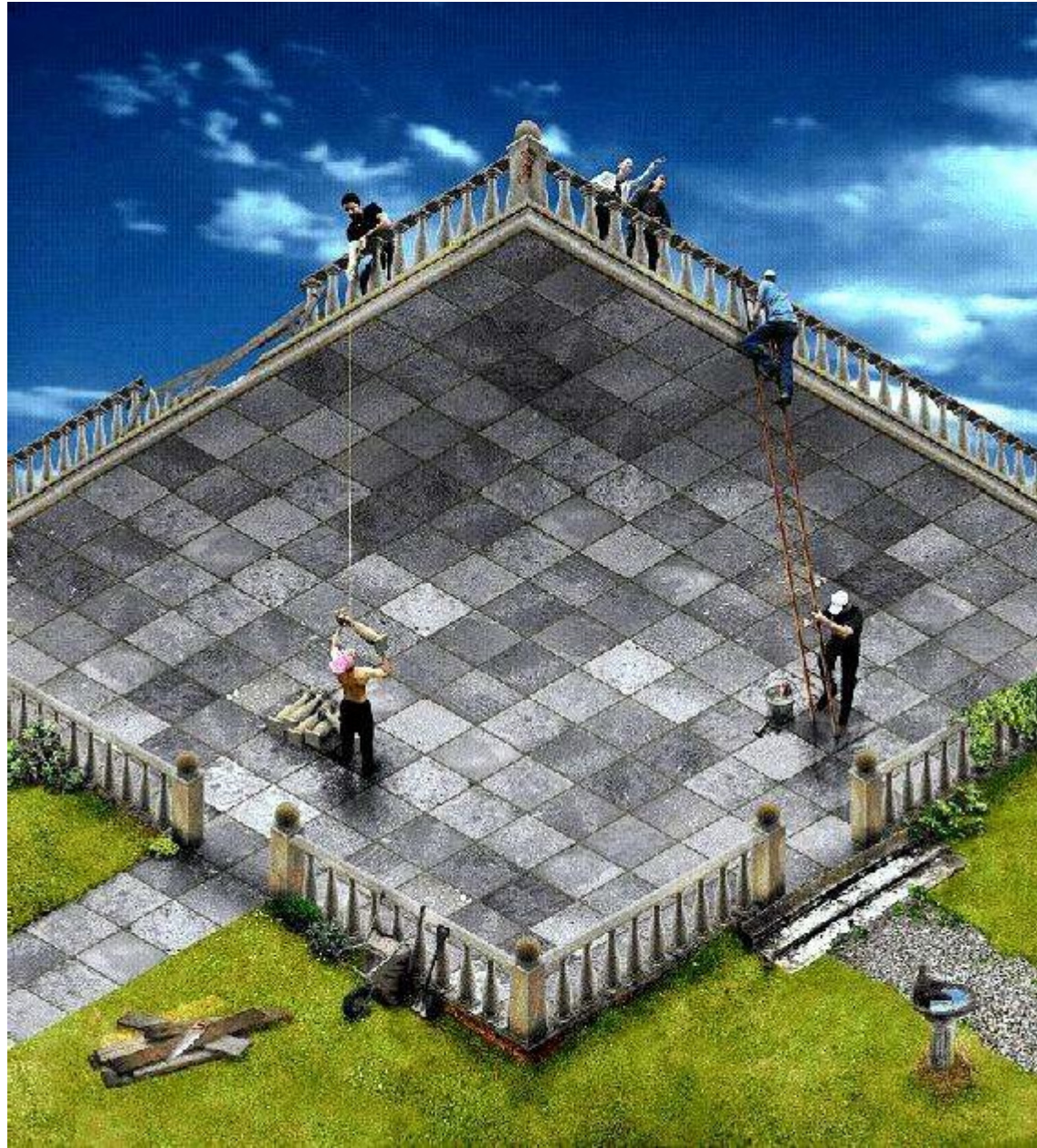
Psychologické optické klamy

Věčné schodiště – ovlivněno naší zkušeností, lze po něm stále klesat
nebo stoupat





Iluze perspektivy



Lebka nebo žena a muž u
sklenky vína?



Využití optických klamů

malířství, architektura,
sochařství, návrhářství,
fotografie (vhodné
aranžmá - účes, barva
šatů, osvětlení .) , oční
optika (tvar a barva
brýlové obruby .) .

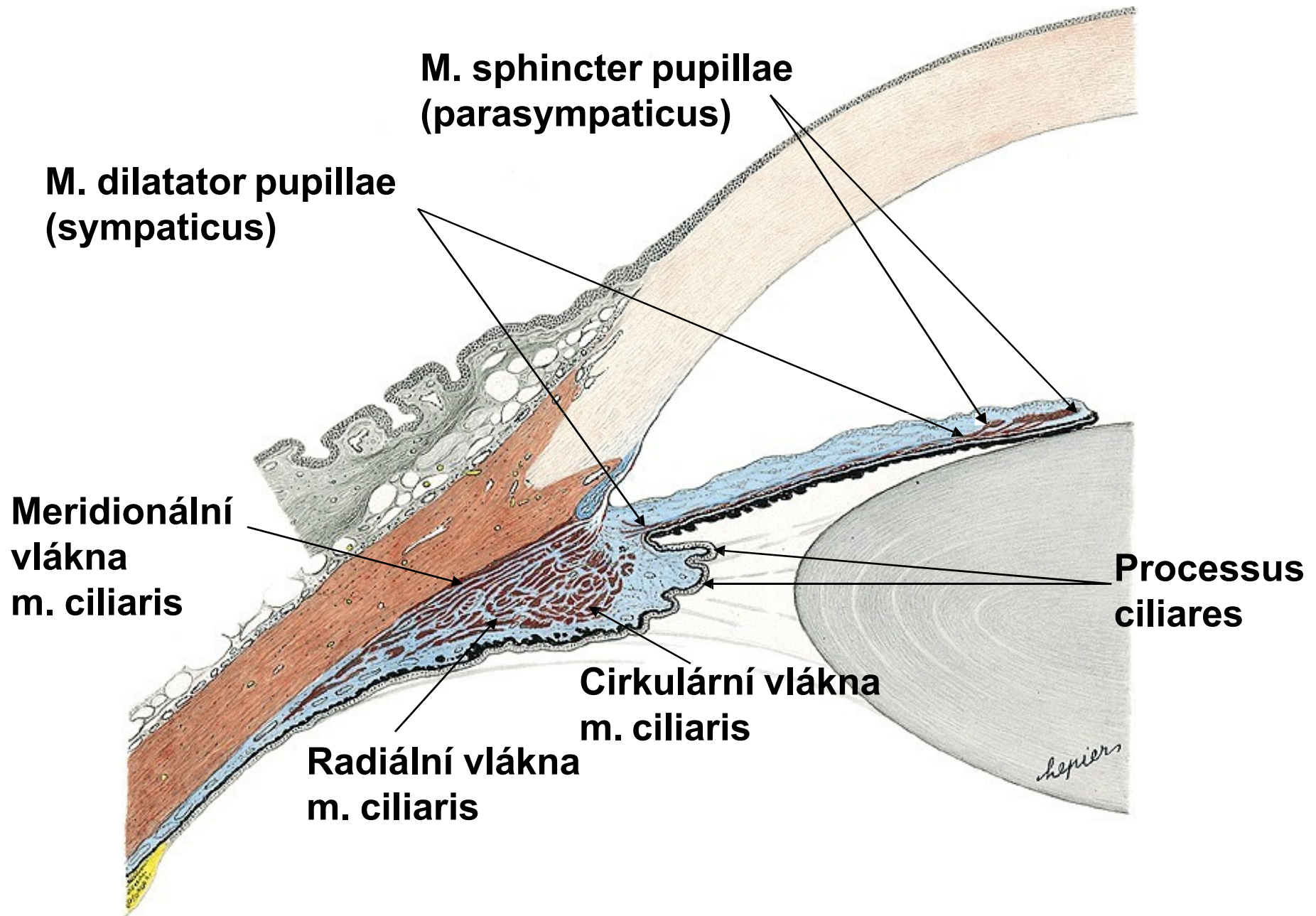
Některé ze zrakových
klamů mohou být
indikátorem zrakových
poruch.



Zornicové reakce



Svaly duhovky



Fyziologické funkce zornic

1. **Regulují a optimalizují množství světla dopadajícího na sítnici za různých podmínek a maximalizuje tak zrakový vjem. Pomáhá *rychlé adaptaci* na světlo i tmu při náhlé změně osvětlení (adaptace sítnice je pomalejší).**
2. **Zúžením *zmenšuje sférickou a chromatickou aberaci* optického systému oka zlepšuje tak kvalitu zobrazení (ale narůstá difrakce!)**
3. **Při užší zornici *narůstá hloubka ostrosti* – akomodace, konvergence, mioza**



Pupilomotorický reflex - fotoreakce

- Fotoreakce sestává ze 4 neuronů
- **1. Aferentní pupilomotorická vlákna** – axony malých gangliových bb. - W buňky (20% vláken primární zrakové dráhy) spojují sítnici s ncl. pretectalis na diencefalicko-mesencefalickém pomezí. Křížení neuronů v chiasma opticum! Obě pretektální jádra jsou propojena neurony mezi sebou.



Pupilomotorický reflex - fotoreakce

- **2. Druhý neuron** – spojuje pretektální jádro s parasympatickým jádrem n. III (Ncl. Edinger-Westphali) a to i s druhostranným jádrem (křížení). *Dvojité křížení* dráhy pupilomotorického reflexu zajišťuje *bilaterálně symetrické zornicové reakce*.

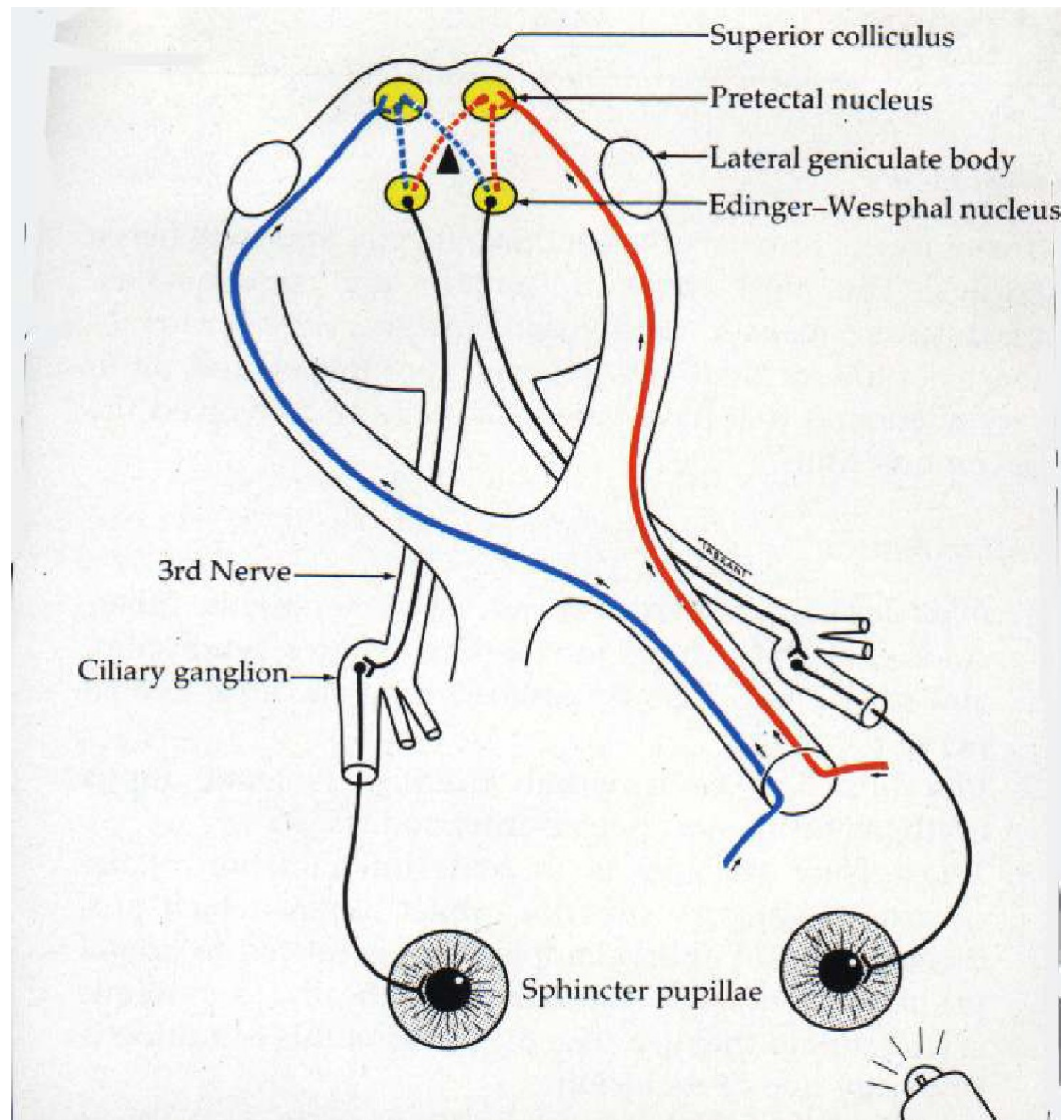


Pupilomotorický reflex - fotoreakce

- **3. Třetí neuron – eferentní parasympatická dráha** – spojuje Edinger-Westphalovo jádro mesencephala s *ganglion ciliare*. Je součástí n. III.
- **4. Postganglionární vlákna** – po přepojení v *ganglion ciliare* – procházejí sklérou jako nn. *ciliares breves* a inervují zornicový sfinkter a ciliární sval



Pupilmotorický reflex



Pupilmotorický reflex

- Inervace na neuromuskulární synapsi je **cholinergní** (muskarinové receptory), mediátorem je **acetylcholin**, (který je rozkládán cholinesterázou)
- Farmakologické ovlivnění:
 - Přímo působící agonisté (přímo na receptor)
Pilocarpin, Carbachol
 - Nepřímo působící agonisté (inhibují cholinesterázu a zabrání tak deaktivaci acetylcholinu) Prostigmin, eserin
 - Cholinergní antagonisté (blokují receptor)
Atropin, Scopolamin, Homatropin



Sympaticus

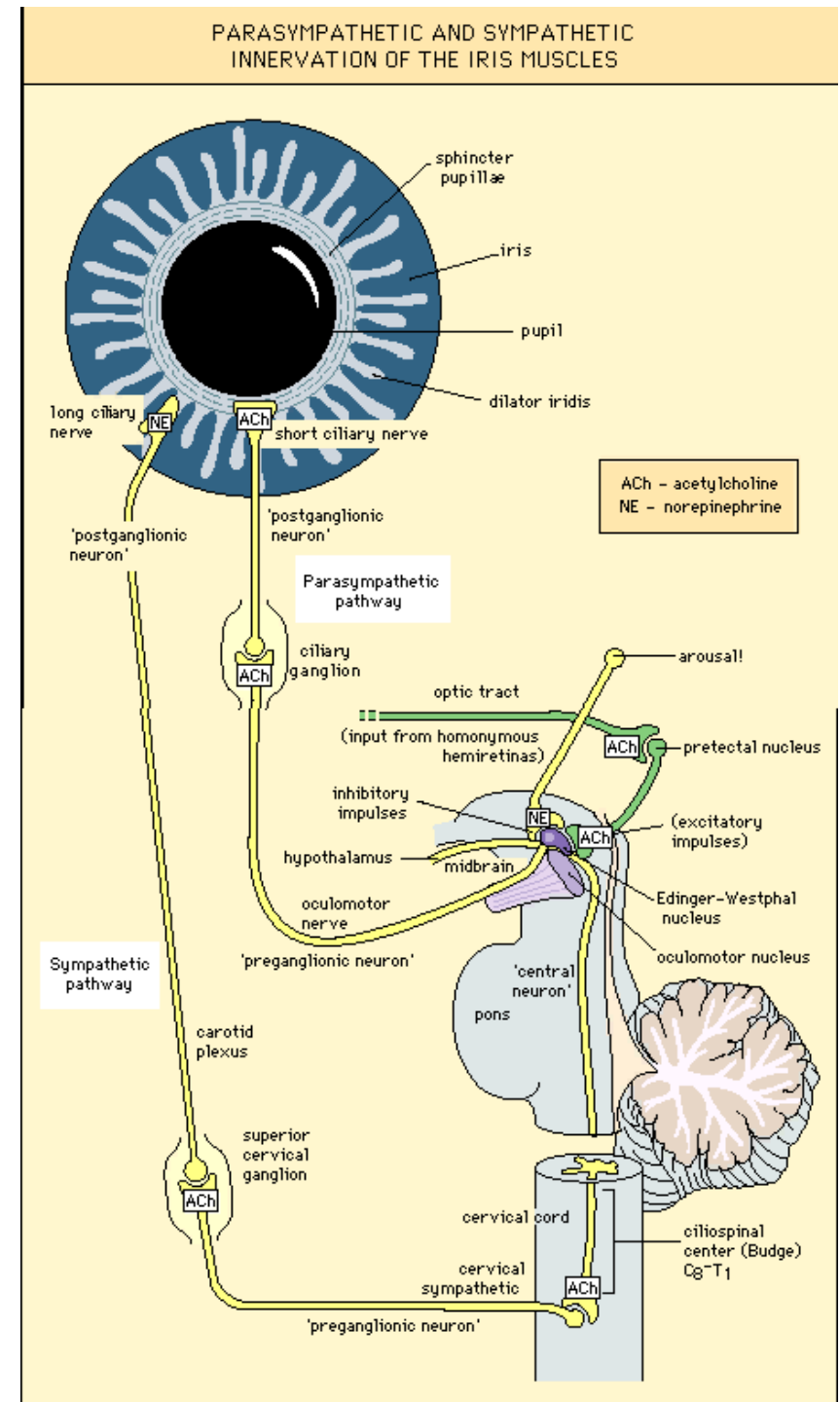
1. Neuron (centrální) začíná v zadním hypothalamu, sestupuje nezkříženě mozkovým kmenem a končí v Budgeho ciliospinálním centru míchy mezi C8 a Th2

2. Neuron (pregangliový) vystupuje z Budgeova ciliospinálního centra míchy a končí v ganglion cervicale superius krku

3. Neuron (postgangliový) vystupuje podél a. carotis a přidává se k oftalmické větvi n. trigeminus. Cestou n. nasociliaris a nn. ciliares longi dosahuje k dilatátoru zornice a corpus ciliare

Sympatická vlákna přes ganglion ciliare pouze probíhají, nepřepojují se zde!!

Sympatická pupilomotorická dráha se nikde nekříží! Tonus m. dilatator pupillae není ovlivněn osvitem či akomodací, ale jen hladinou cirkulujících katecholaminů!



Sympatická eferentní dráha

- Zornicový dilatátor obsahuje α adrenergní receptory
- Farmakologické ovlivnění:
 - Fenylefrin (NeoSynephrin) je relativně selektivní α_1 sympatomimetikum
 - Sympatické akční potenciály jsou ukončeny vstřebáním 98% noradrenalinu zpět do presynaptických nervových zakončení
 - Kokain zabraňuje zpětné resorpci noradrenalinu
 - 🕒 jeho hromadění v synaptické štěrbině
 - 🕒 vystupňovaná stimulace
 - Hydroxyamfetamin uvolňuje noradrenalin z nervových zakončení



Klinický význam zornicových reakcí

- 1. Objektivní indikátor světelné aferentace –**
RAPD hodnotí její interokulární asymetrii
- 2. Odráží stav vědomí –** poruchy spánku –
narkolepsie, monitorace hloubky anestézie.
Široké nereagující, rigidní a zneokrouhlené
zornice při hlubokém komatu svědčí pro
nezvratný výpadek funkce mozkového kmene
- 3. Anizokorie –** reflektuje stav inervace
(eferentní dráha) zornicových svalů
autonomními nervy; přímé poškození svěrače
zornice; farmakologicky navozená anizokorie



Klinický význam zornicových reakcí

- 4. Vliv velikosti zornic na optické vlastnosti oka** – mydriáza → fotofobie, oslňování (glare), nárůst optických aberací. Významné po refrakčních zákrocích a operaci katarakty
- 5. Reakce zornic na farmakologické testy** – testování denervační přecitlivělosti, význam při lokalizaci poruchy sympatiku



Patologické změny zornice

Anizokorie



Aferentní pupilární poruchy

- Vzhledem k dvojitému křížení aferentní pupilomotorické dráhy není ani při úplné amauroze jednoho oka přítomna anizokorie
- **Amaurotická zornice** - izokorie, při osvitu slepého oka jsou obě zornice bez reakce, při osvitu zdravého oka reagují obě zornice normálně. Při oboustranné amauroze jsou zornice izokorické, širší, nereagují na osvit, ale reagují na konvergenci
- **Relativní aferentní pupilární defekt** indikátor zejména inkompletních jednostranných lézí zrakového nervu. Na straně léze je při osvitu dilatace zornice – převáží reakce neosvětlené zdravé zornice



Eferentní parasymptické pupilární poruchy

- **Paréza n. III**
 - **Vnitřní oftalmoplegie** porucha pouze parasymptických vláken n. III 🕒 paralytická mydriáza
 - **Kompletní paréza n. III** ptóza, porucha hybnosti oka ve všech směrech kromě abdukce (divergentní paralytický strabismus), mydriatická zornice, obrna akomodace, binokulární diplopie
- **Pupilotonie** – afekce ganglion ciliare. Nemožnost akomodovat, širší zornice. Zornice je přecitlivělá k parasymptomimetikům (0,1% Pilocarpin zúží zornici do 30 min)



Eferentní sympatické poruchy

- **Hornerův syndrom** – mioza, ptóza, anhydróza. Anizokorie se zvýrazní ve tmě (postižená zornice se nerozšíří). Reakce na osvit a konvergenci je zachována. Klinicky: tumor plicního hrotu, chirurgický výkon na krku.



Binokulární vidění



Fyziologie binokulárního vidění

- **Jednoduché binokulární vidění (JBV)** je koordinovaná senzomotorická činnost, která zajišťuje vytvoření jednoduchého obrazu pozorovaného předmětu.
- **JBV** je schopnost vidět oběma očima pozorovaný předmět jednoduše
- **JBV** není vrozené, vyvíjí se do 1 roku věku dítěte a do 6 let věku se upevňuje



Vývoj binokulárních reflexů

- Do 2 měsíců se vyvíjí monokulární fixační reflex. Dítě se dívá převážně jedním okem
- Ve 2 měsících se vyvíjí binokulární fixační reflex. Dítě se začíná dívat oběma očima.
- Ve 3. měsíci se vyvíjí reflex konvergence a divergence – dítě dovede sledovat bližší a vzdálenější předměty.
- Ve 4. měsíci – reflex akomodace – dítě dovede zaostřovat na různou vzdálenost
- V 6. měsíci se vyvíjí reflex fúze = centrální schopnost spojit obrazy obou očí v jeden vjem

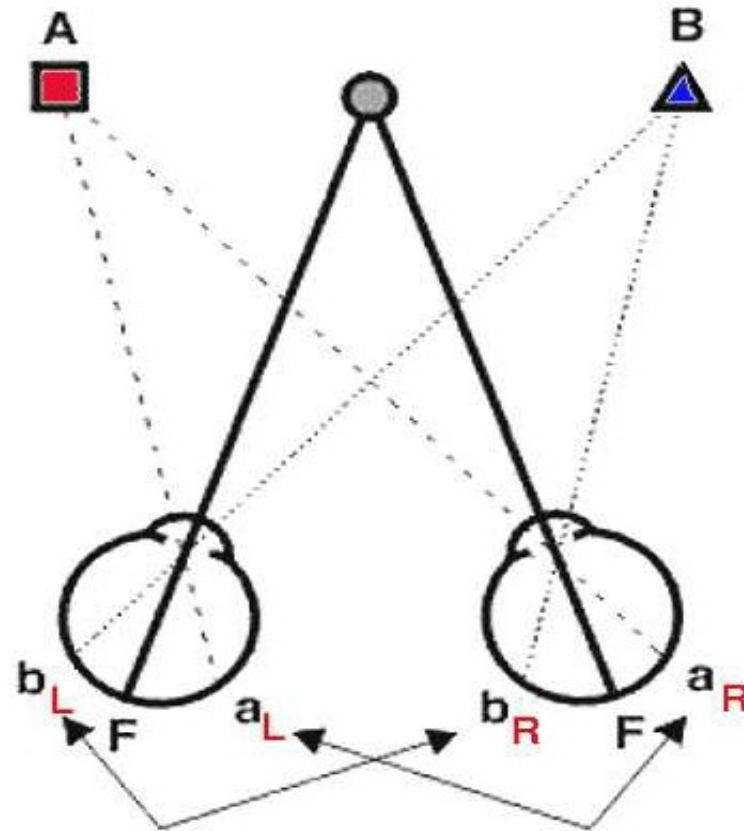


Korespondující místa sítnice

- Při fixaci určitého bodu v prostoru dopadá jeho obraz na obě fovey = ***hlavní vzájemně korespondující místa sítnice***
- Body nacházející se v prostoru kolem bodu fixace dopadají na sítnici pravého i levého oka nasádně a temporálně stejně daleko od fovey = dopadají na ***korespondující místa sítnice***
- Korespondující místa sítnice mají stejnou prostorovou orientaci



Korespondující místa sítnice



a_L and a_R are corresponding points
 b_L and b_R are corresponding points
 a_L a a_R jsou korespondující místa sítnice
 b_L a b_R jsou korespondující místa sítnice

Figure 3. Corresponding points of the two eyes.

F – fovea = hlavní
korespondující
místa sítnice



Korespondující místa sítnice

- Obrazy dopadající na korespondující místa sítnice vidíme v prostoru **jednoduše**
- Body sítnice, které spolu vzájemně nekorespondují = ***disparátní místa sítnice***
- Obrazy, které dopadají na disparátní místa sítnice vidíme v prostoru **dvojitě – binokulární diplopie**

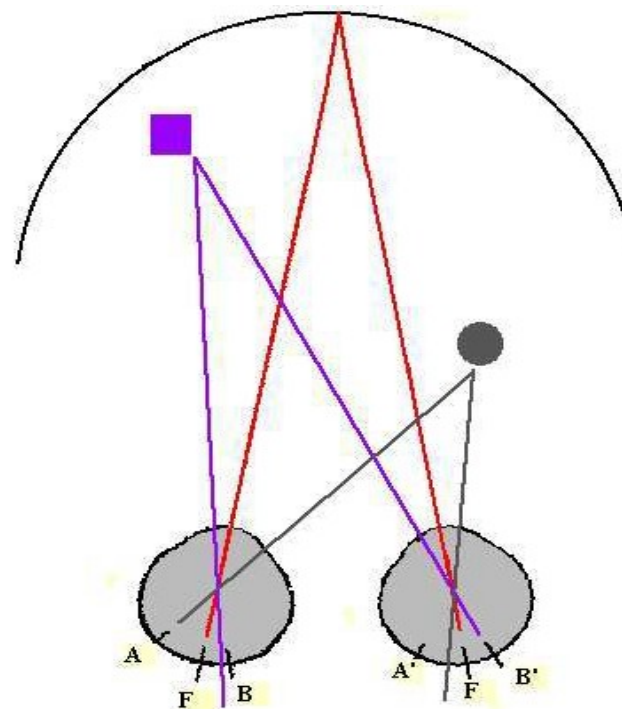
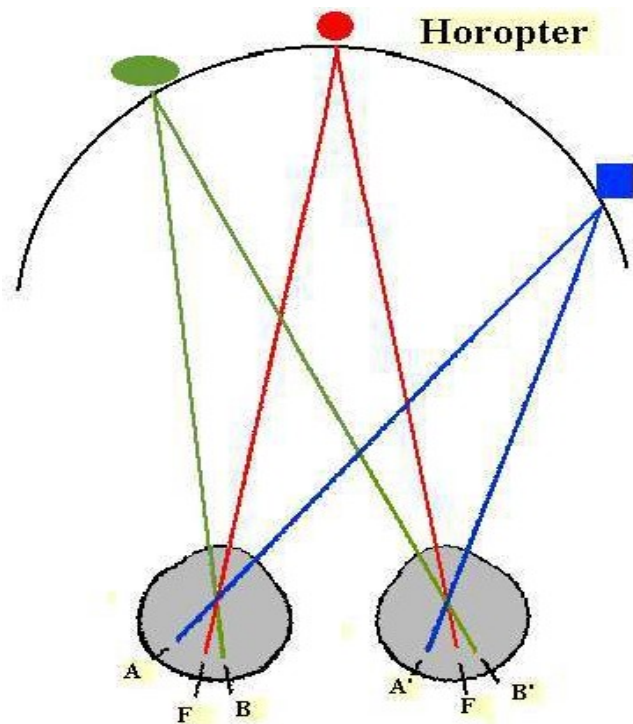


Horopter

- Je souhrn všech bodů v prostoru, jejichž obrazy dopadají (při určitém postavení očí) na korespondující místa sítnice
- Horopter tvoří vyklenutou plochu procházející fixačním bodem
- Předměty (body) nacházející se v rovině horopteru vidíme jednoduše
- Obraz bodů v prostoru, nacházejících se mimo horopter dopadá na disparátní místa sítnice a vyvolává diplopii



Horopter, korespondující místa sítnice, disparátní místa sítnice

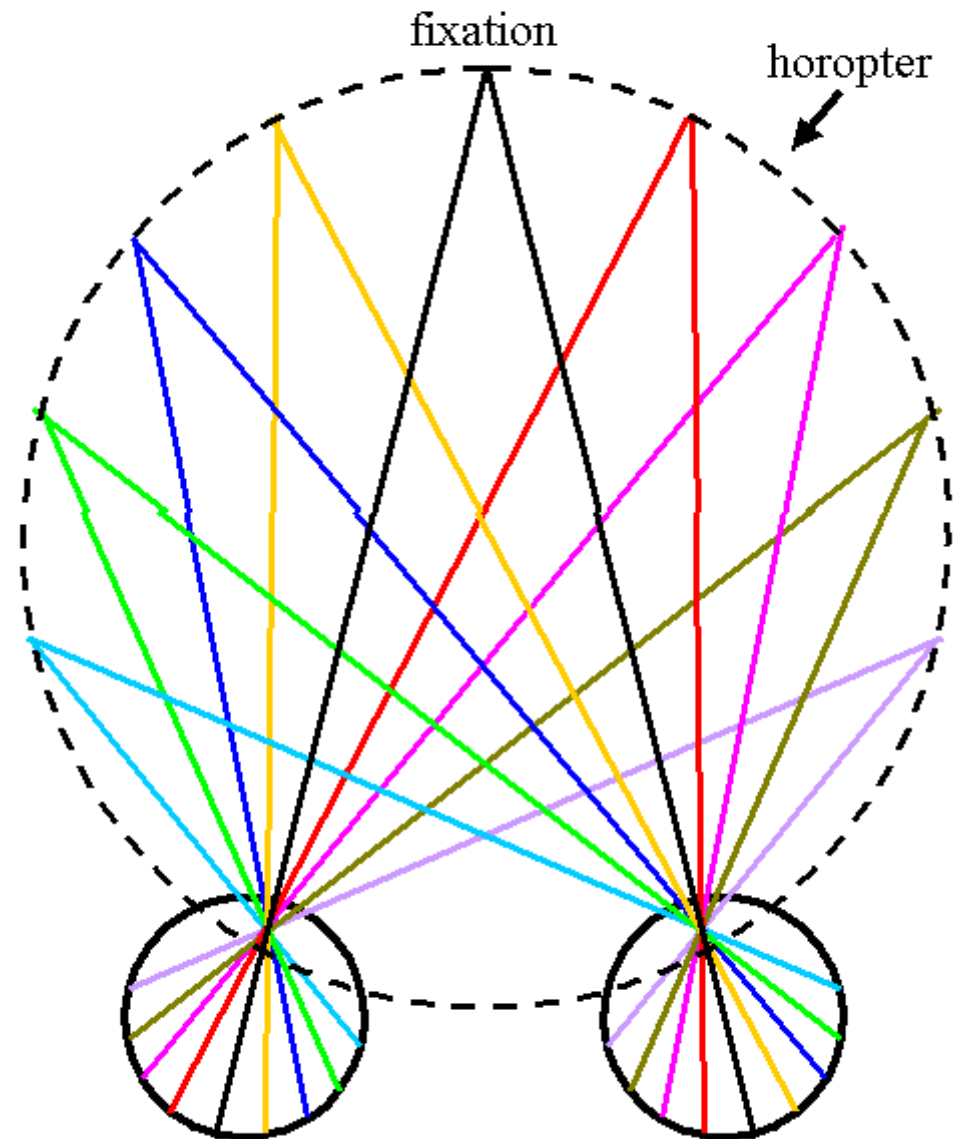


Fyziologická diplopie

- Horopter tedy představuje část prostoru, ve kterém vidíme korespondujícími body jednoduše
- Předměty před nebo za horoptermem se zobrazují dvojitě = *fyziologická diplopie*
- Fyziologickou diplopií se člověk (mozek) naučil nevnímat, lze ji však vyvolat



Objects on the horopter project images to corresponding retinal points and are seen as a single image.



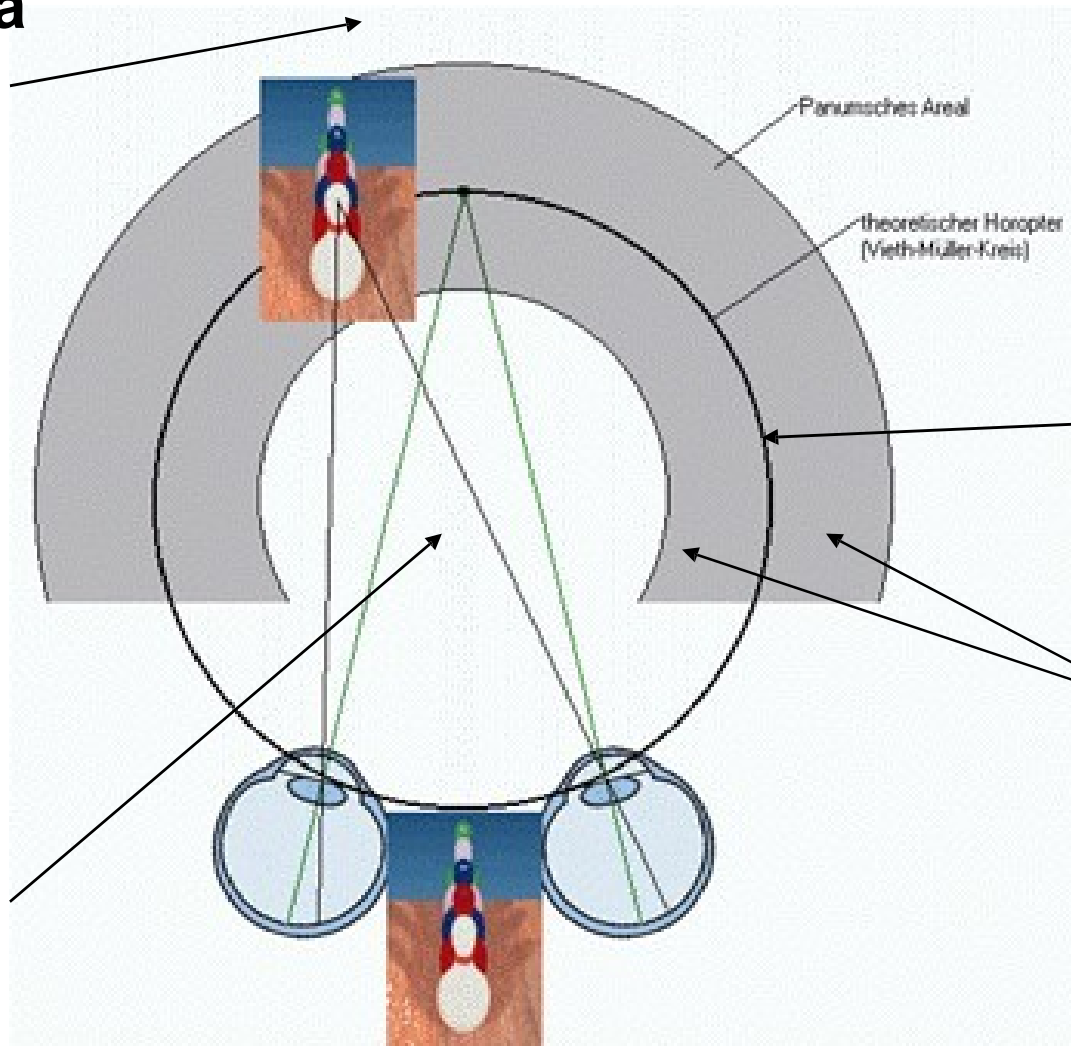
Panumův prostor

- Je prostor, ve kterém je možné stereoskopické (prostorové) vidění z lehce disparátních bodů obou sítnic
- Obraz předmětu, nacházejícího se v Panumově prostoru dopadá na sítnici obou očí na lehce disparátní místa, což umožňuje prostorové vidění
- Horopter → jednoduché vidění
- Panumův prostor → jednoduché prostorové (stereoskopické) vidění



Panumův prostor

Nezkřížená
disparátní
diplopie



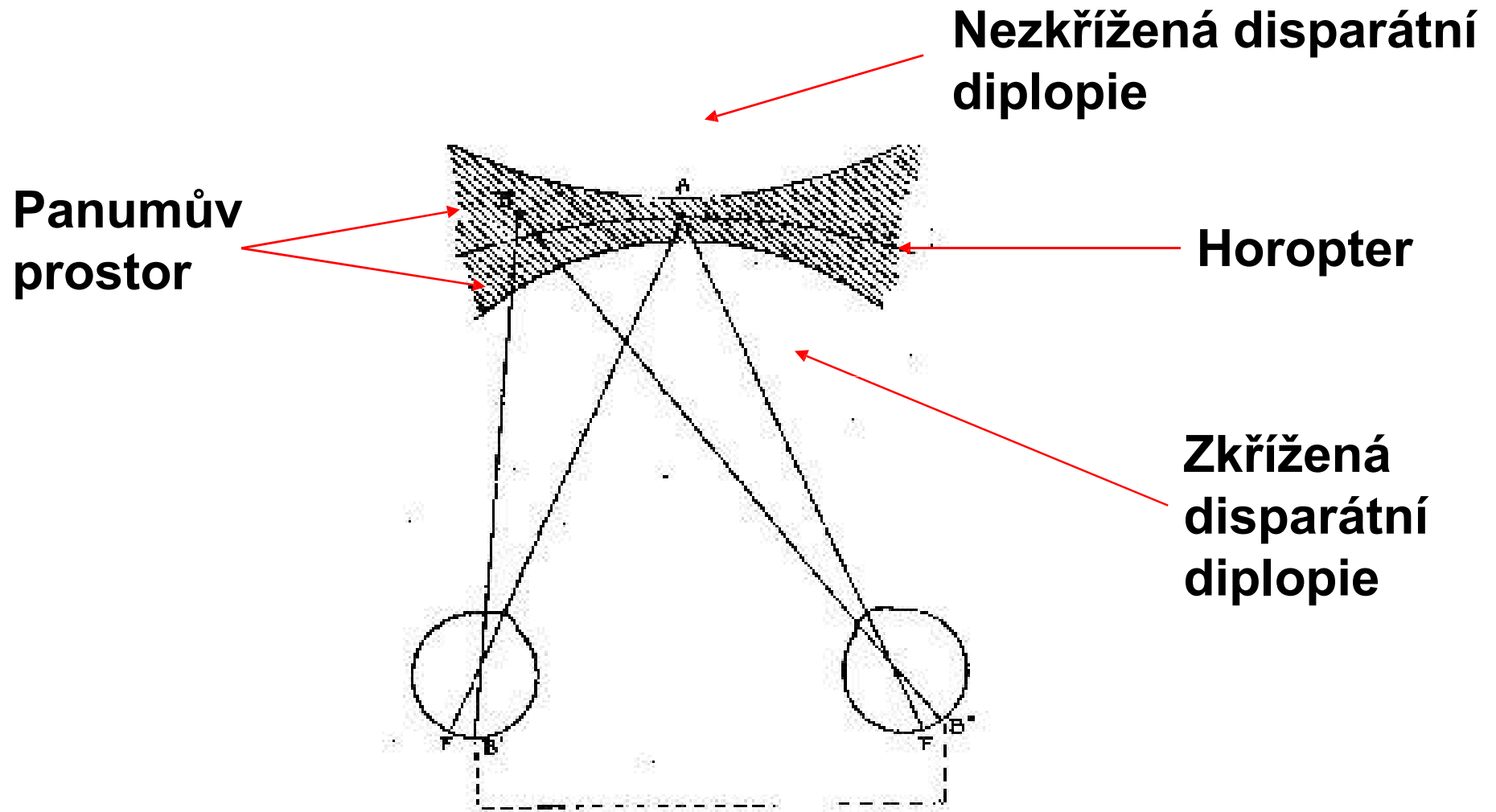
Horopter

Panumův
prostor

Zkřížená
disparátní
diplopie



Panumův prostor



Stupně jednoduchého binokulárního vidění

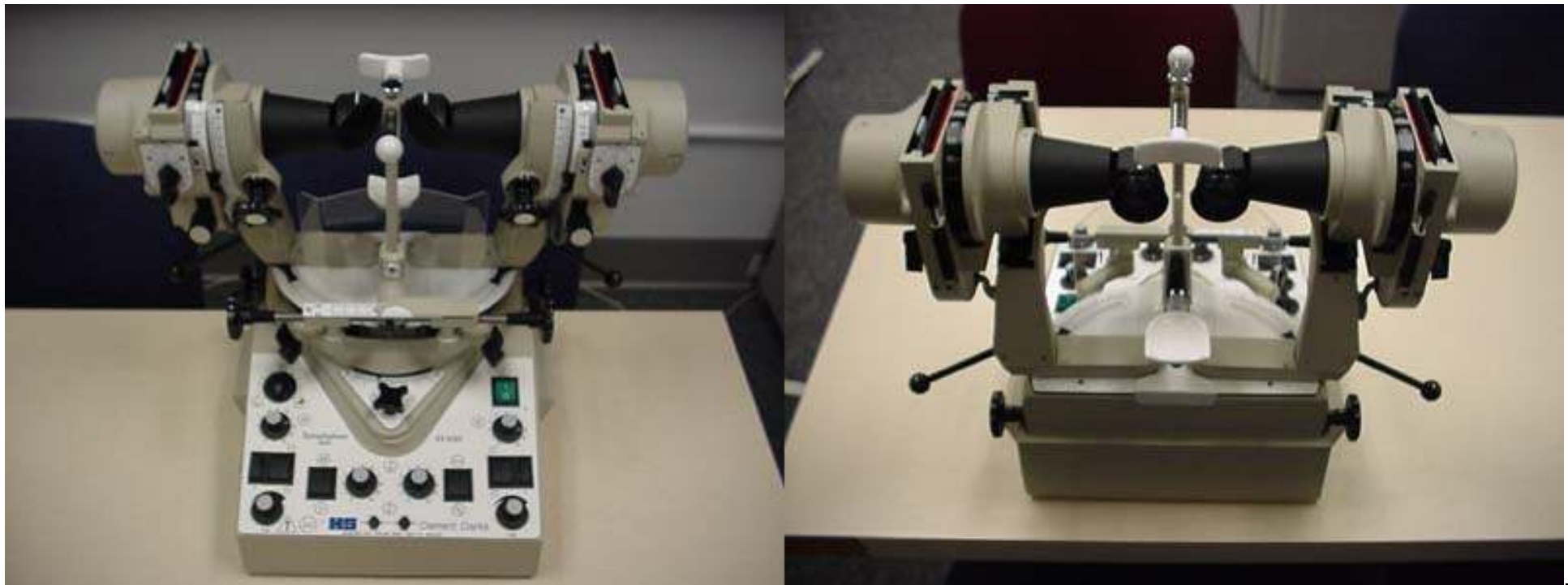
- **Superpozice** je schopnost překrýt oběma očima nestejně obrázky
- **Fúze** je schopnost CNS spojit stejné obrázky pravého i levého oka v jeden smyslový vjem
- **Stereopse** je schopnost vytvořit hloubkový vjem spojením obrazů, jejichž jednotlivé části dopadají na sítnici na lehce disparátní body
- Testování na *troposkopu*



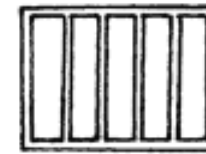
Troposkop (synoptofor)



Troposkop (synoptofor)



Superpozice na troposkopu



A



B



C

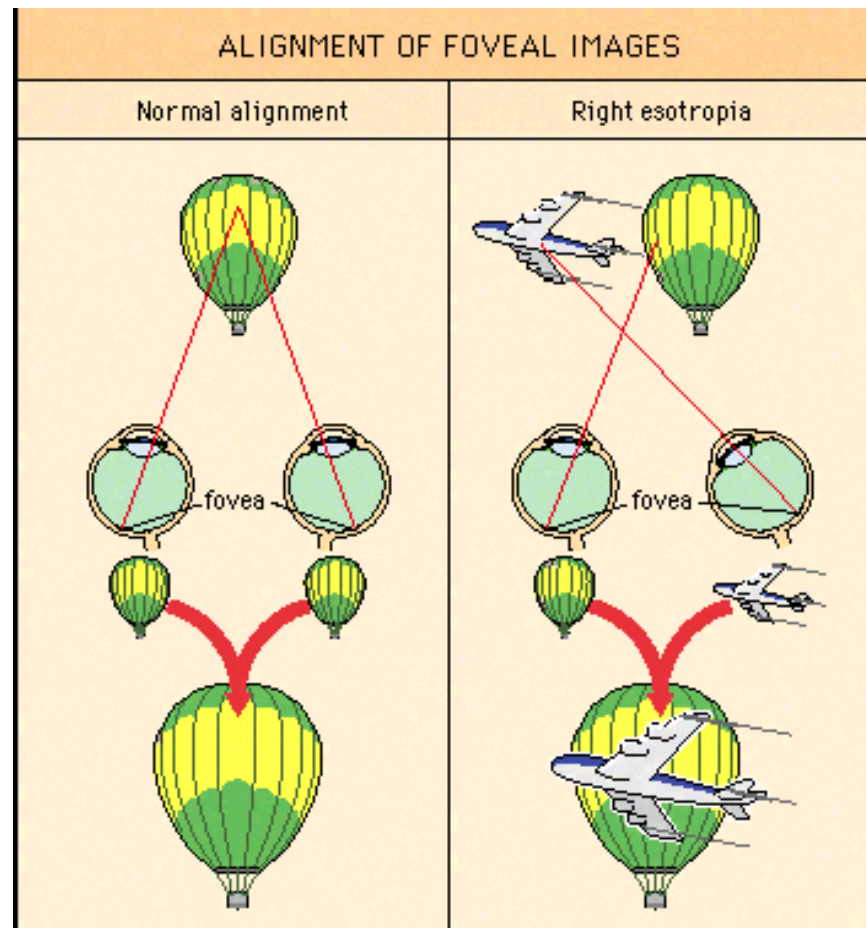


Patologie binokulárního vidění

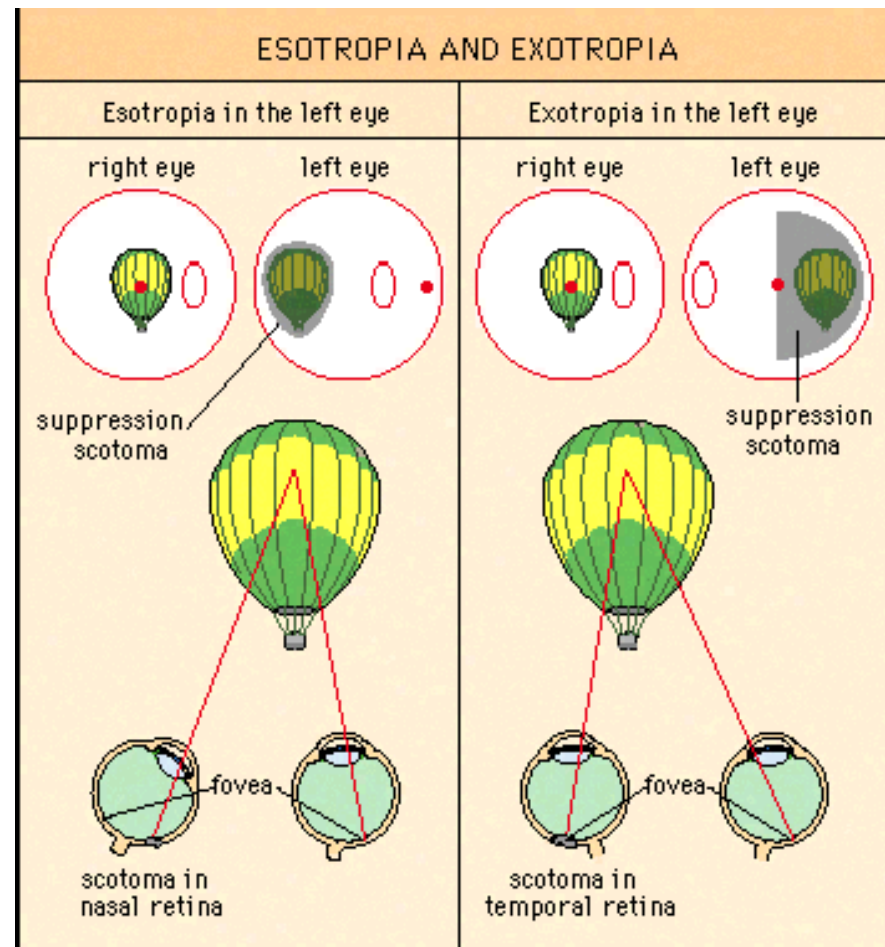
- Vývoj binokulárního vidění může být narušen například šilháním (strabismem)
- **Útlum** je proces zabraňující vstupu informací z uchýleného oka do zrakového centra a zabraňující jejich uvědomění
 - útlum kolem disparátního bodu kam dopadl obraz fixovaného předmětu na uchýleném oku zabraňuje *diplopii*
 - útlum kolem makuly uchýleného oka zabraňuje *konfúzi* (popletení mozku, který se snaží složit různé obrázky z makuly obou očí v jeden vjem)



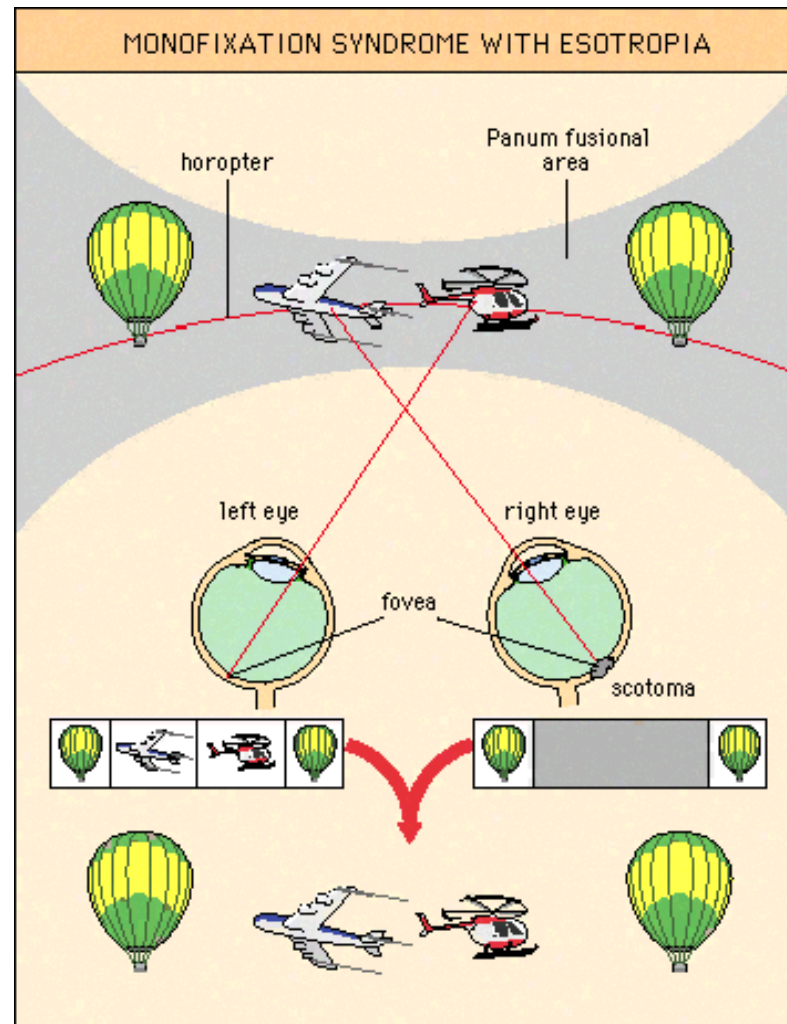
Konfúze



Útlum kolem disparátního bodu sítnice uchýleného oka kam dopadá obraz fixovaného předmětu zabraňuje diplopii



Dvojí útlum v uchýleném oku zabraňující diplopii a konfúzi



Amblyopie - tupozrakost

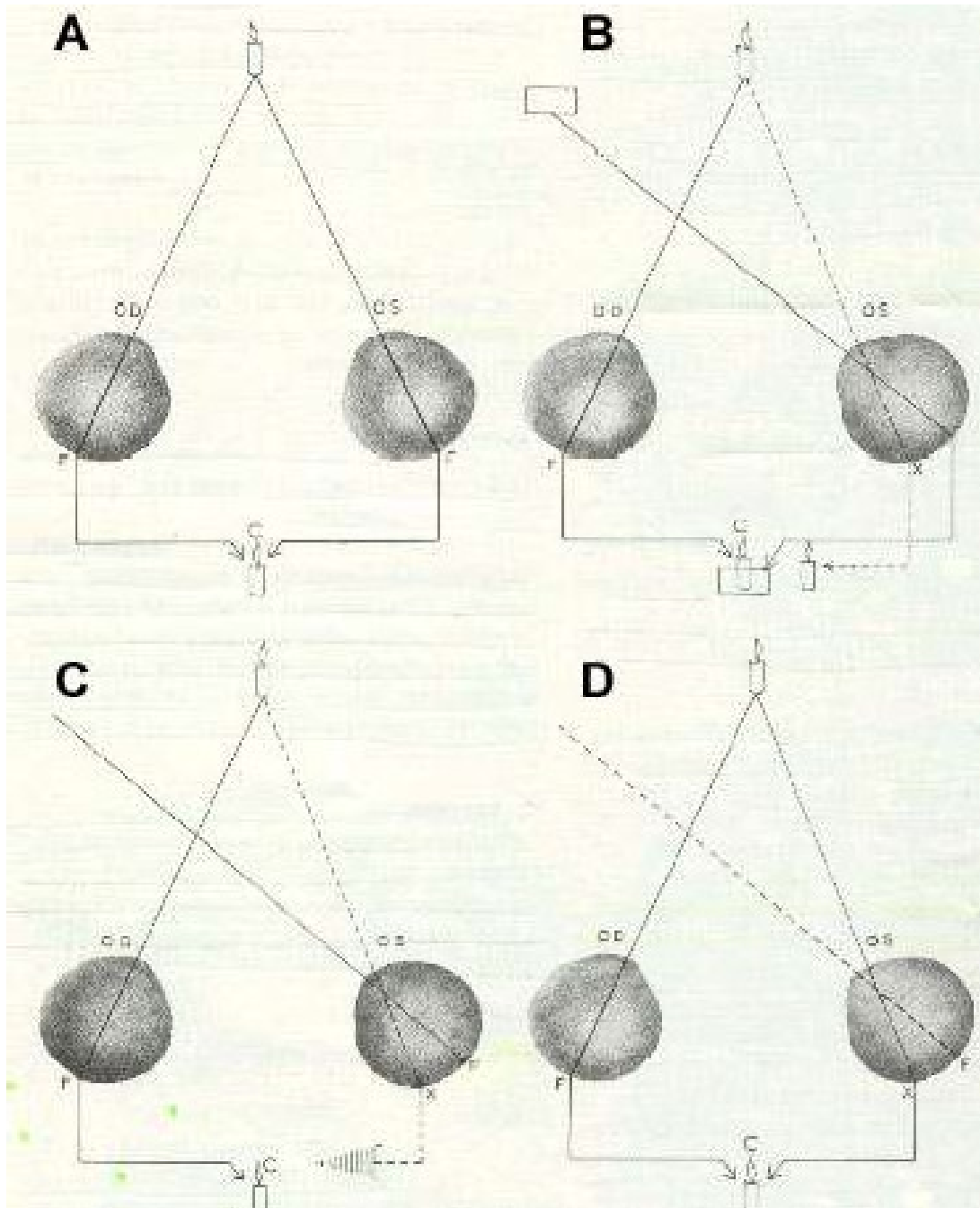
- **Amblyopie** vzniká trvalým aktivním útlumem obrazu uchýleného oka
- **Amblyopie (tupozrakost)** je snížení zrakové ostrosti různého stupně při normálním anatomickém nálezu na oku. Jednou z příčin vzniku amblyopie může být i šilhání (strabismus)



Anomální retinální korespondence

- **Anomální retinální korespondence** je binokulární funkční anomálie, kdy fovea vedoucího oka a místo sítnice uchýleného oka, na které dopadá obraz pozorovaného předmětu (= falešná makula) spolu začínají spolupracovat, vytvářejí sítnicový vztah a získávají společnou prostorovou lokalizaci
- Jedná se o patologické binokulární vidění u strabismu





- A – Normální retinální korespondence**
- B – Strabismus + disparátní binokulární diplopie (+ konfúze)**
- C – útlum uchýleného oka**
- D – Anomální retinální korespondence**



Vývoj zrakové ostrosti

- **Novorozenec** vnímá jen světlo a tmu - *světlocit*, protože je při narození žlutá skvrna ještě nezralá, čípky nejsou plně diferencovány (novorozenec vnímá zejména periferií sítnice). Vývoj žluté skvrny je zhruba dokončen v 6. měsících, definitivně ve 3 letech.
- Řasnaté tělíčko není při narození plně vyvinuto a u jednoměsíčního kojence je *akomodace* nastavena na fixních 18cm



Vývoj zrakové ostrosti

- **Koncem 1. roku věku dítěte stoupá zraková ostrost na 6/60**
- **Koncem 2. roku věku dítěte je visus přibližně 6/15**
- **Koncem 3. roku věku dítěte se zraková ostrost zlepšuje na 6/8**
- **Koncem 4. roku věku dítěte se visus dále zlepšuje na 6/6 a později na 6/4**



Vývoj zrakové ostrosti

- Někteří autoři považují zrakovou ostrost dětí za mnohem lepší
- Vliv na refrakci má i předozadní délka bulbu, která narůstá z 17-18mm u novorozence na průměrných 24mm u dospělého člověka
- Při narození jsou prakticky všechny oči dalekozraké (2,5-3,0 Dpt). Ve 3 letech je již axiální délka oka 23mm. Od 3 do 14 let je růst oka již pomalý, asi 0,1mm za rok (kompenzace narůstání délky oka spočívá v oplošťování rohovky a čočky)



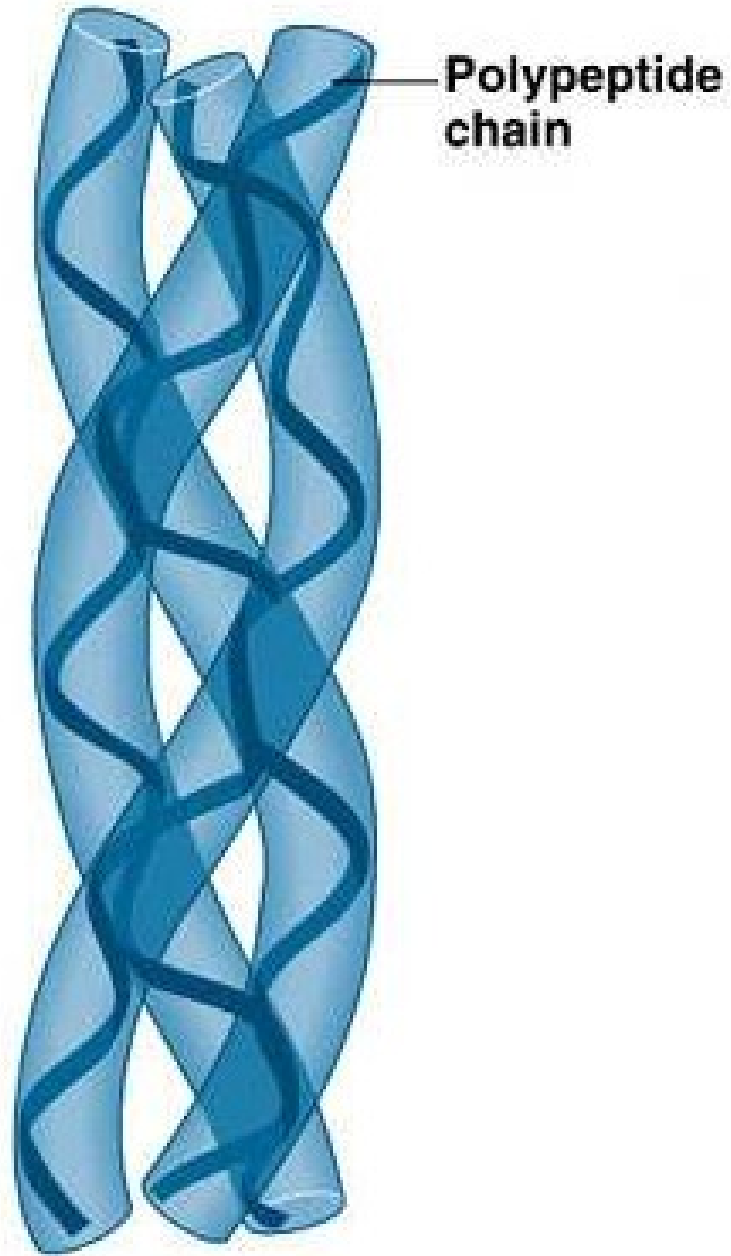
Biochemie, výživa a látková výměna oka



Biochemické složení tkání oka

- **Pojivové tkáně:** *proteiny* – kolagen, elastin, keratin a *proteoglykany*
- **Kolageny**
 - až 1/3 všech proteinů lidské tkáně
 - >30% aminokyseliny glycinu, 13% prolinu, 9% hydroxyprolinu
 - Trimery peptidového řetězce
 - Více typů kolagenů, liší se pořadím aminokyselin, velikostí molekuly řetězce kolagenu, hydroxylací a obsahem sacharidů
 - Rigidní – podpůrná funkce





(a) Collagen

Copyright © Pearson Education, Inc., publishing as Benjamin



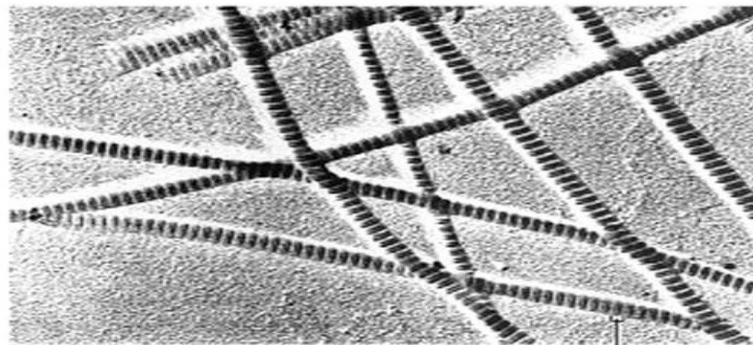
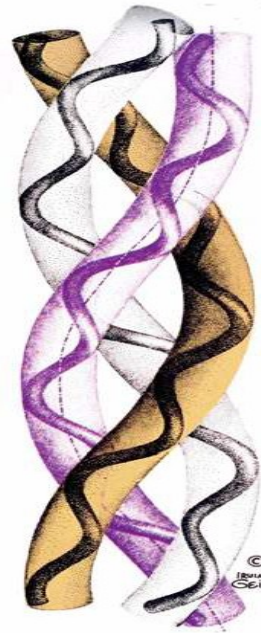
Collagen



(a)



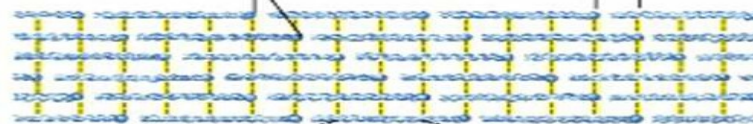
(c)



250 nm

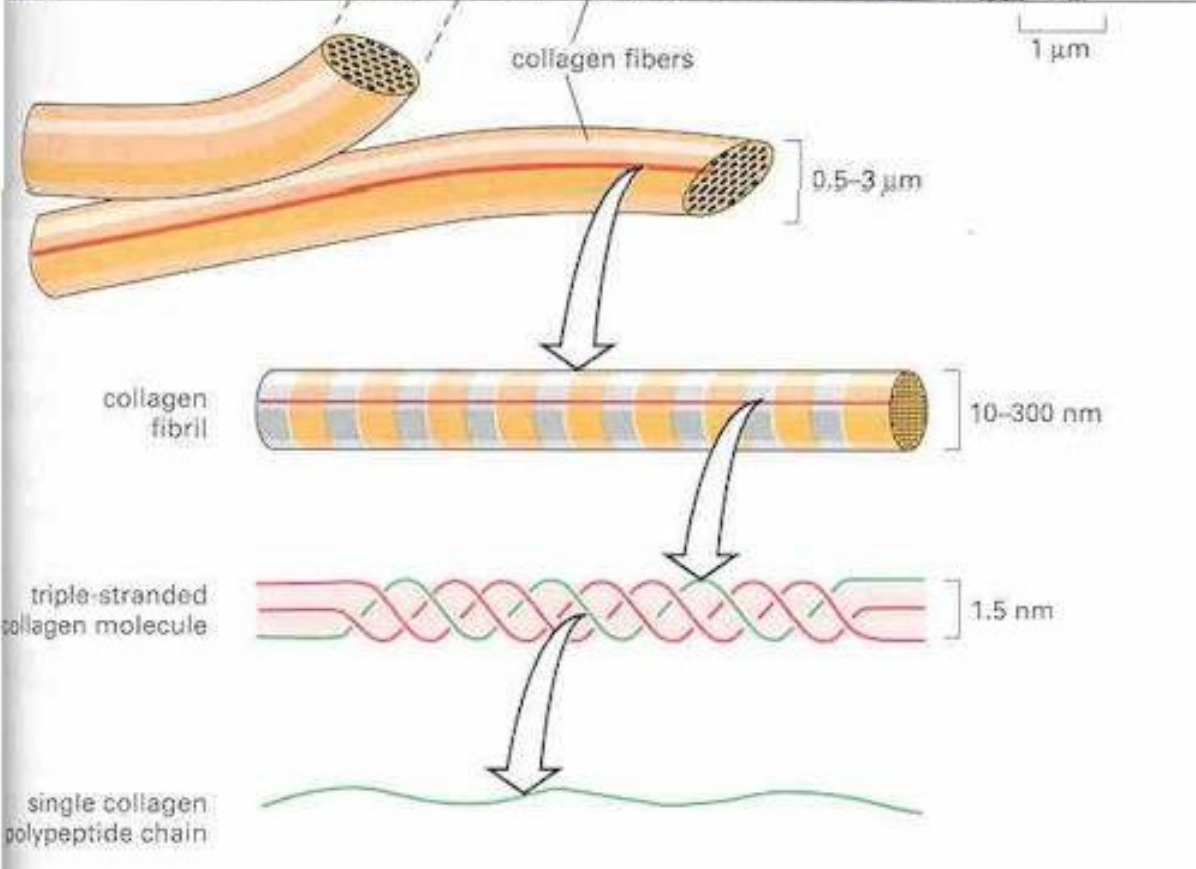
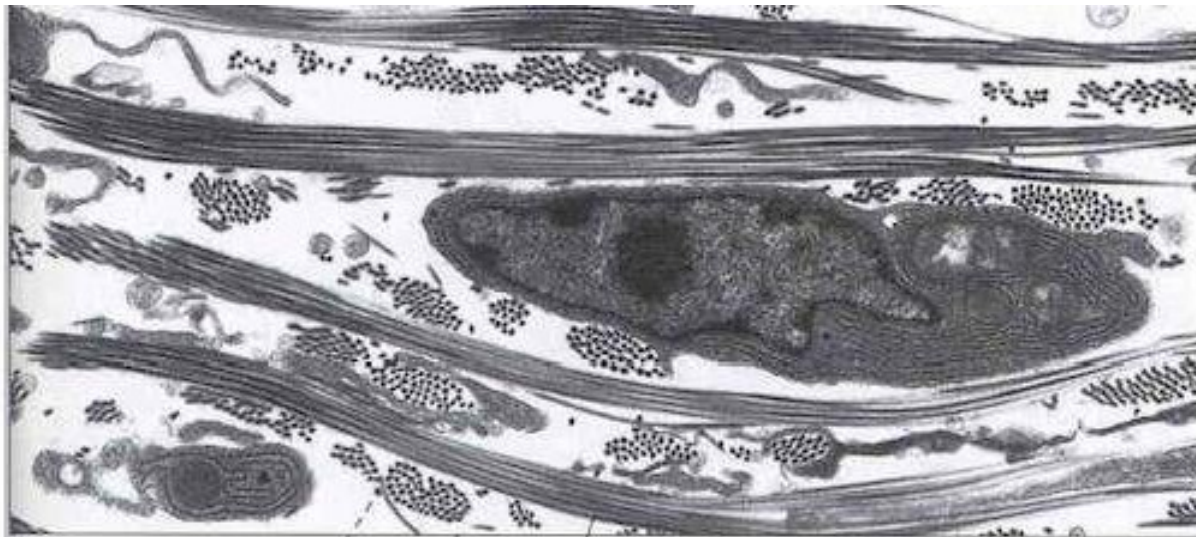
Heads of collagen molecules

Cross-striations
640 Å (64 nm)



Section of collagen molecule

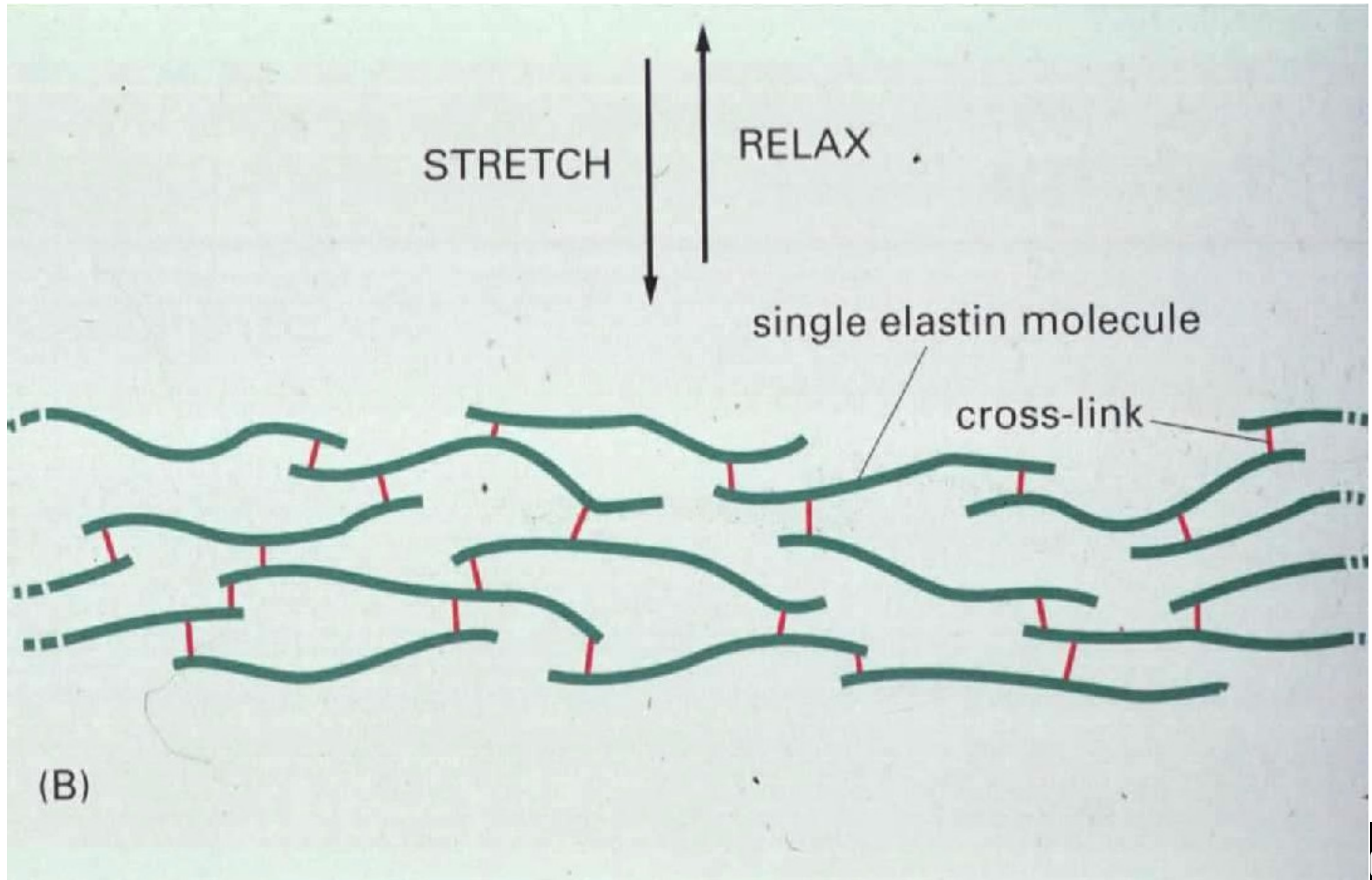




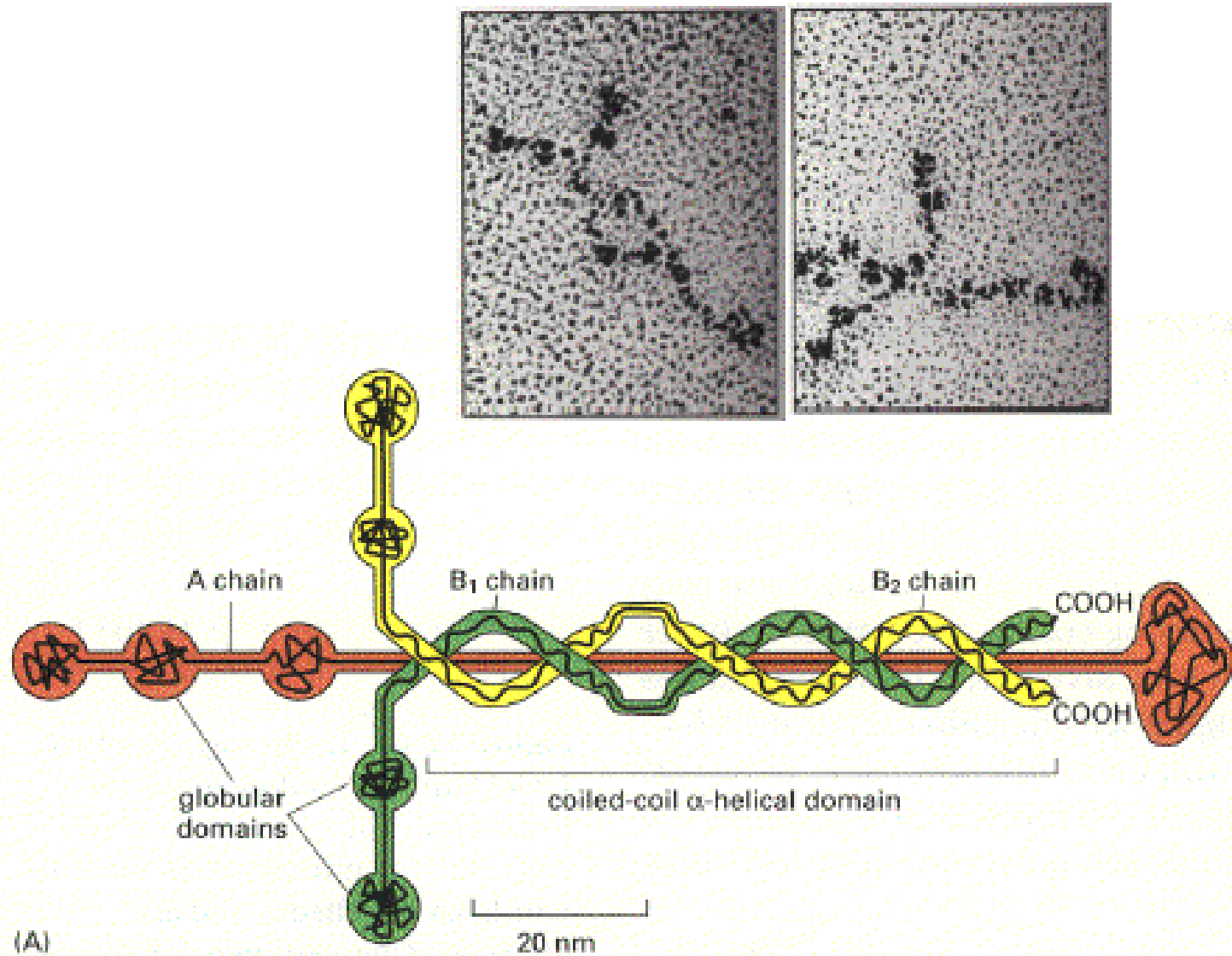
- **Elastin**
 - Elastický jako guma
- **Laminin**
 - Glykoprotein *bazálních membrán*
 - Cukerný podíl 12%
 - „tmel“ mezi vlákny kolagenu a povrchy buněk
- **Fibronektiny**
 - Glykoproteiny o vysoké rel. molekulové hmotnosti
 - Výrazná „tmelivá“ funkce
 - Vysoká afinita k bb. povrchům a kolagenu



Elastin



Laminin

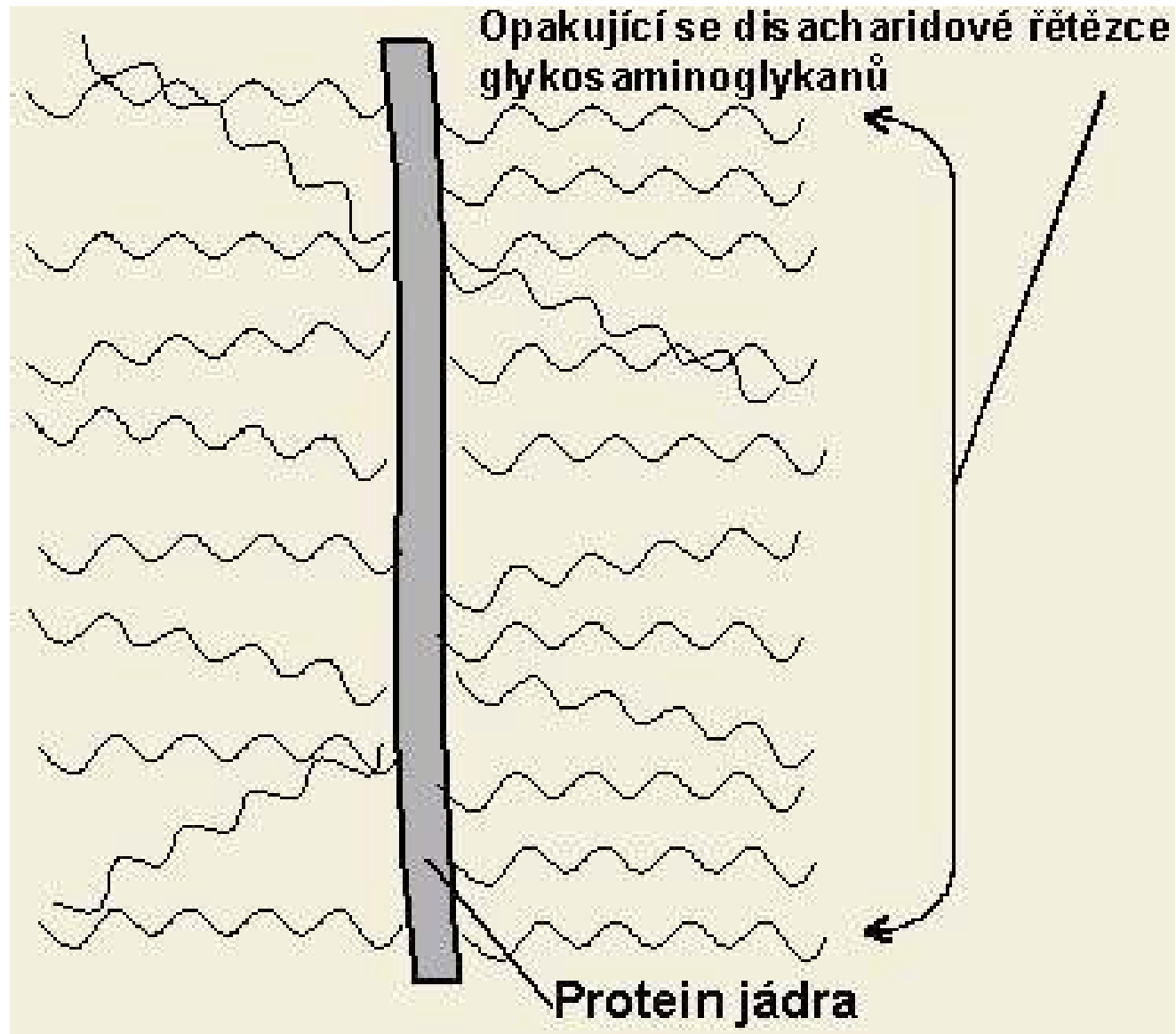


Proteoglykany

- **Heparansulfát, keratansulfát, chondroitinsulfát, dermatansulfát**
- **Jeden peptidový řetězec, na který jsou připojeny dlouhé řetězce sacharidů (struktura připomíná kartáč na čištění lahví)**
- **Součásti pojivových tkání (rohovka, skléra .)**



Proteoglykany

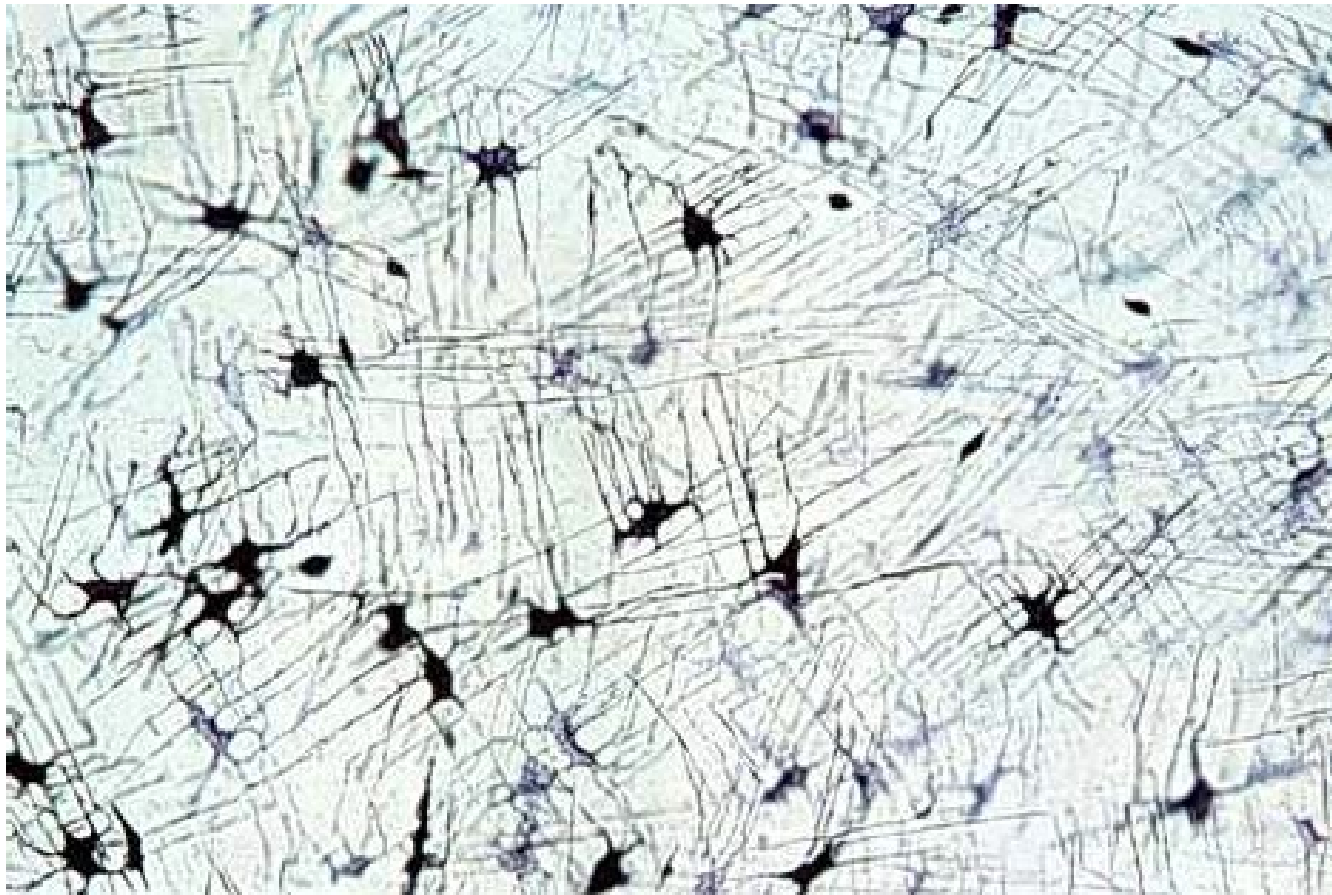


Rohovka

- **Bazální membrána endotelu:** *kolagen typu IV, laminin, fibronektin*
- **Extracelulární matrix stromatu:** *kolagen typu I, III, V, VI a proteoglykany keratansulfát, chondroitinsulfát, dermatansulfát na jejichž proporcích závisí hydratace stromatu. Extracelulární matrix je produktem nečetných bb. fibroblastů*



Stroma rohovky s fibroblasty

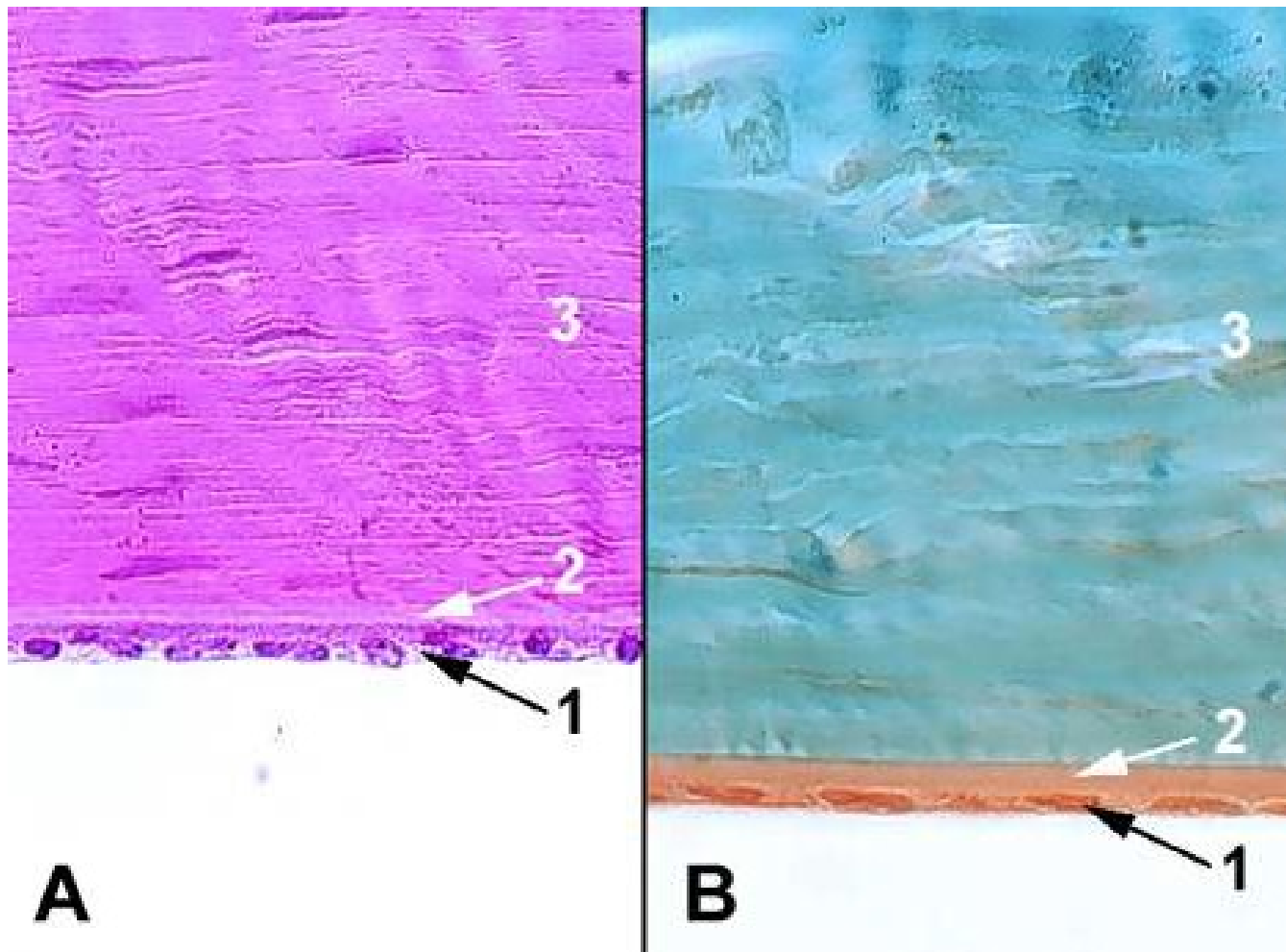


Rohovka

- **Descemetova membrána** je produktem buněk endotelu: *kolagen typu IV a VII, laminin, fibronektin*
- **Endotel** – jedna vrstva hexagonálních bb.
- **Transparence rohovky** je dána specifický paralelním uspořádáním kolagenních fibril stromatu a hydratací rohovky ~ 78% (aktivní ATPáza i pasivní mechanismy).
↓ endotelií pod 500/mm² → porucha endotelové pumpy → průnik tekutiny z PK do stromatu → edém stromatu a striáta Descemetové membrány



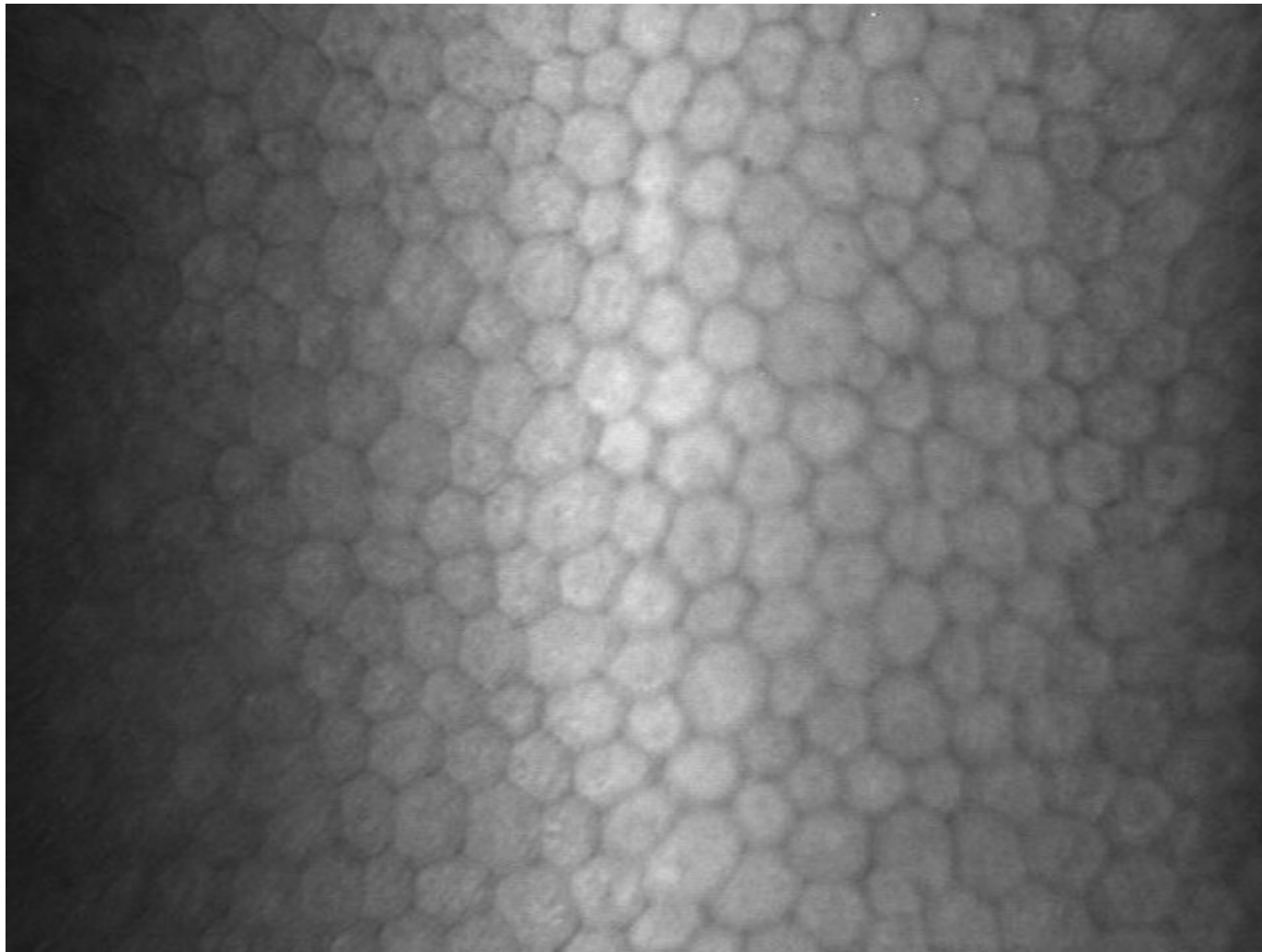
Endotel rohovky, Descemetova membrána a stroma



Endotel rohovky

Narození: 4000-5000 bb/mm²

Po 60. Roce: 2000 bb/mm²



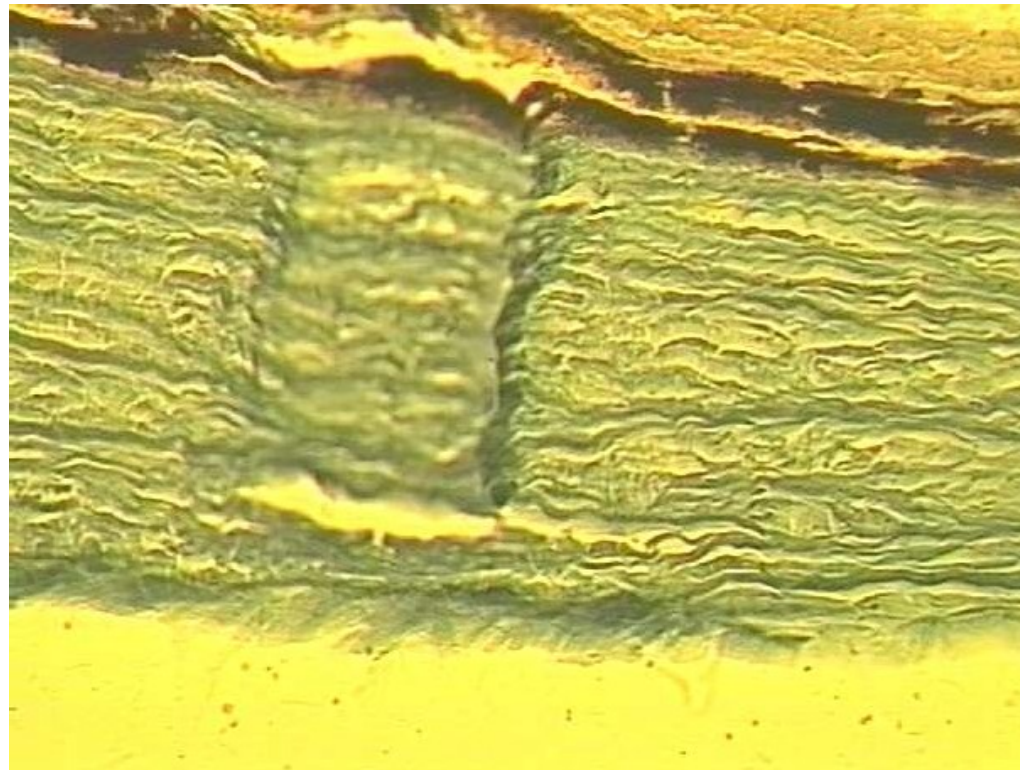
Skléra

- Svazečky neuspořádaných *kolagenních a elastinových vláken, proteoglykany a glykoproteiny, ojediněle fibroblasty*
- V oblasti **papily** jsou *kolagenní* vlákna uspořádána cirkulárně
- Kolageny skléry: typ I, méně jsou zastoupeny typy II-VI
- Málo elastických vláken → malá možnost vyklenutí
- 90% vody, ve stáří ↓ vody a ↑Ca²⁺



Skléra

- **Lamina fusca sclerae** je vnitřní vrstvou skléry v kontaktu s uveou. Obsahuje *kratší kolagenní vlákna a melanocyty*

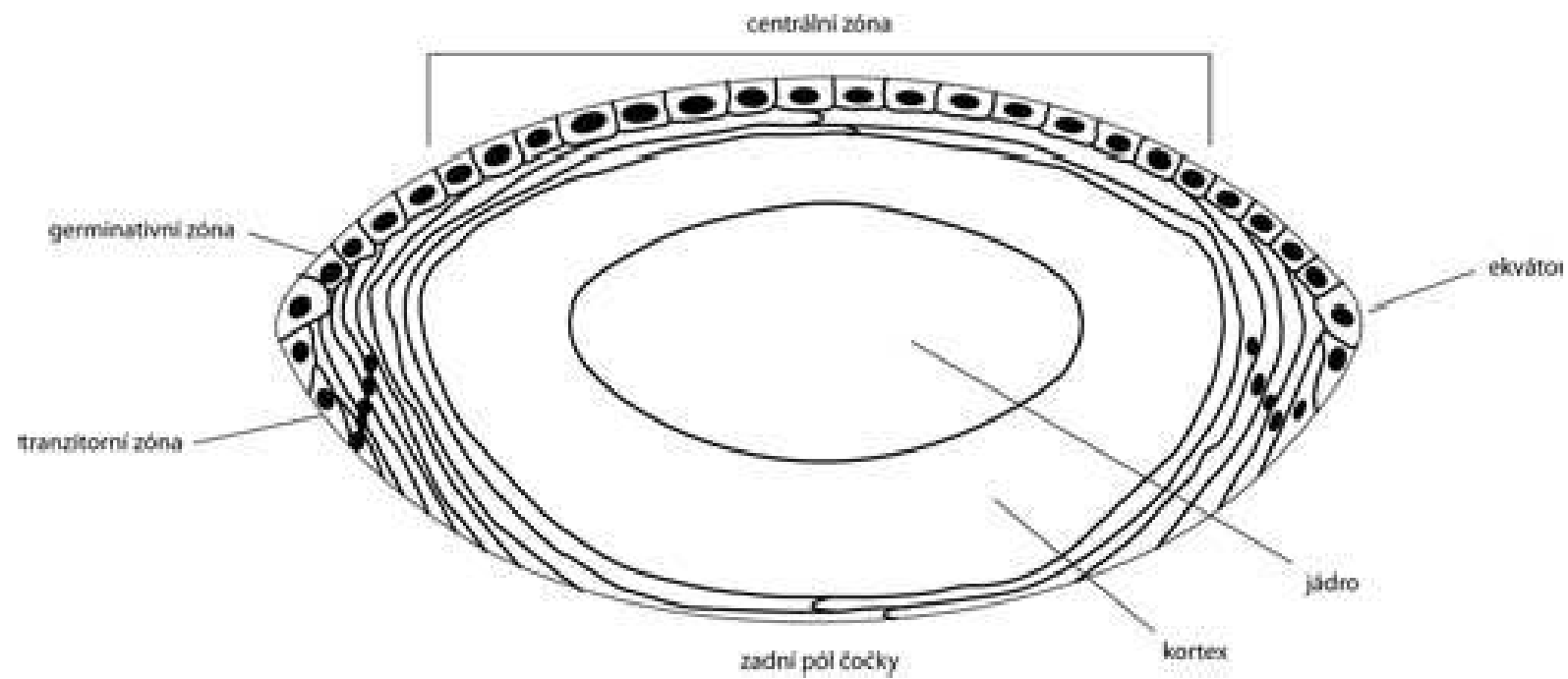


Čočka

- **Bazální membrána – capsula lentis**
kolagen typu IV a slouží i k úponu zonulárních fibril
- **Čočkové fibrily** z ekvatoriálních epitelových bb. elongací, ztrátou bb. organel a vzestupem obsahu proteinů
- **Katarakta:** chemické změny čočkových proteinů s tvorbou pigmentace, ↓ K^+ a glutathionu, ↑ Na^+ a Ca^{2+} , ↑ hydratace



Čočka



Komorová voda a sklivec

- **Komorová voda** je čirá bezbarvá tekutina, 98,8% tvoří voda, obsahuje aminokyseliny, minerály, bílkoviny, ionty (Na, K, Ca), kyselinu mléčnou a askorbovou
- **Sklivec** je čirý gel tvořený trámčinou jemných *kolagenních fibril* na kterou jsou přichyceny molekuly *hyaluronové kyseliny* (zodpovídá za jeho viskozitu)

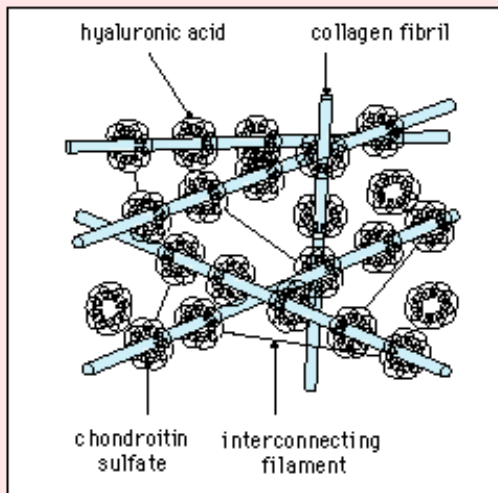
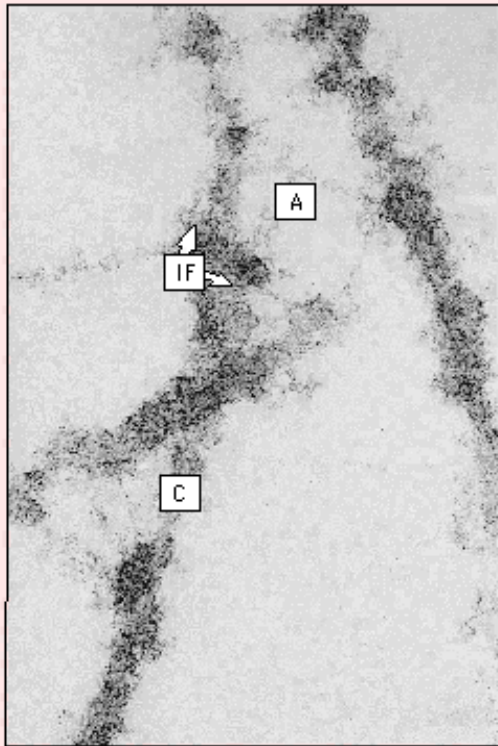


Sklivec

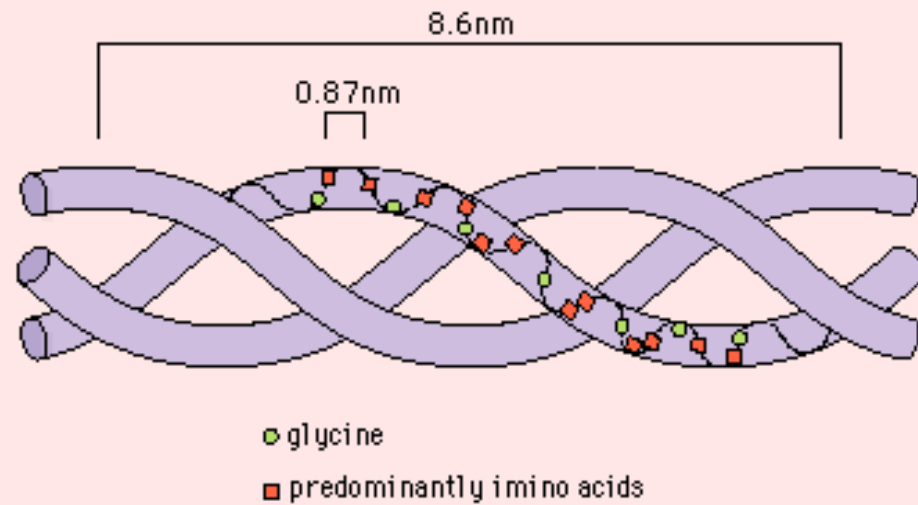
- ***Kyselina hyaluronová*** na sebe váže vodu – ta tvoří 98% hmoty sklivce
- V periferní kůře sklivce jsou kolagenní vlákna zahuštěná a jsou zde i ***fibrocyty*** a ***lymfocyty*** (produkce kolagenních vláken a kyseliny hyaluronové)
- Speciální bílkovinou sklivce je ***vitrein***, který vytváří jeho trámčinu



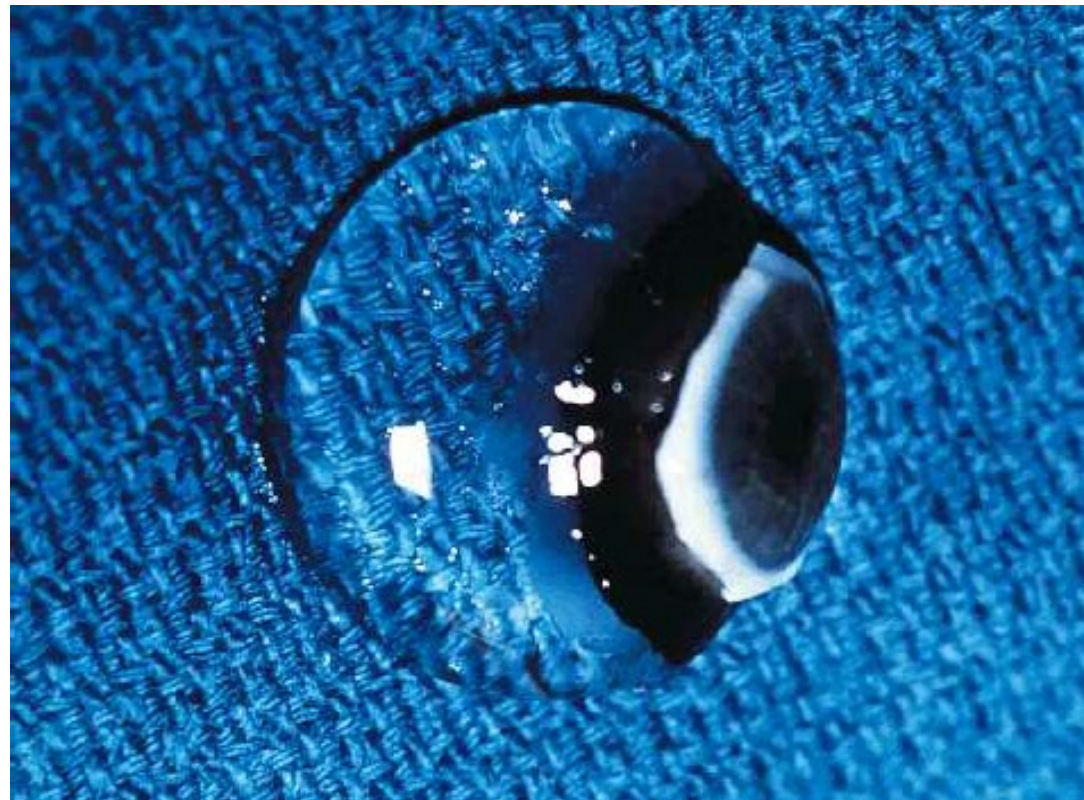
ULTRASTRUCTURE OF HYALURONAN-COLLAGEN INTERACTION IN THE CORPUS VITREUS



TRIPLE HELIX CONFIGURATION OF THE COLLAGEN MOLECULE



Sklivec je 16x viskóznější než komorová tekutina



Biochemie vidění

- **11-cis izomer aldehydu vitaminu A₁** = chromofor všech zrakových pigmentů oka
- **Opsin** = bílkovinný nosič tvořící fotoreceptor-pigmentový komplex. Je pro tyčinky a tři druhy čípků mírně odlišný. Geny kódující opsinové proteiny patří do rodiny příbuzných receptorů zvané *receptory spřažené s G-proteinem (G protein-coupled receptors)* (senzorické a intercelulární signální receptory organismu)



Biochemie vidění

- **Receptory spřažené s G-proteinem (Opsiny)** – jde o *membránové* proteiny se stejnou strukturální organizací: 7 transmembránovými segmenty. K přenosu signálu dochází prostřednictvím spřažení s celulárními cytoplasmatickými proteinovými přenašeči signálu – *heterotrimerickými G-proteiny*. U tyčinek a čípků se tyto G-proteiny nazývají **transduciny** (tyčinky a čípky mají každý specifickou formu transducinu)



Cyklus rhodopsinu

- **Rhodopsin: chromofor** – absorbuje světlo
= **retinal**, **bílkovinný nosič** - **opsin**
- **Retinal** = retinaldehyd = aldehyd vitamínu A
- Regenerovaný stav = retinal je v *cis* formě a zapadá do opsinové molekuly
- Absorpce světla → izomerizace na *trans* retinal – prelumirhodopsin – nestálý → lumirhodopsin → metarhodopsin I → metarhodopsin II → hydrolýza na *trans* retinal a opsin



Chemická podstata vidění pomocí tyčinek

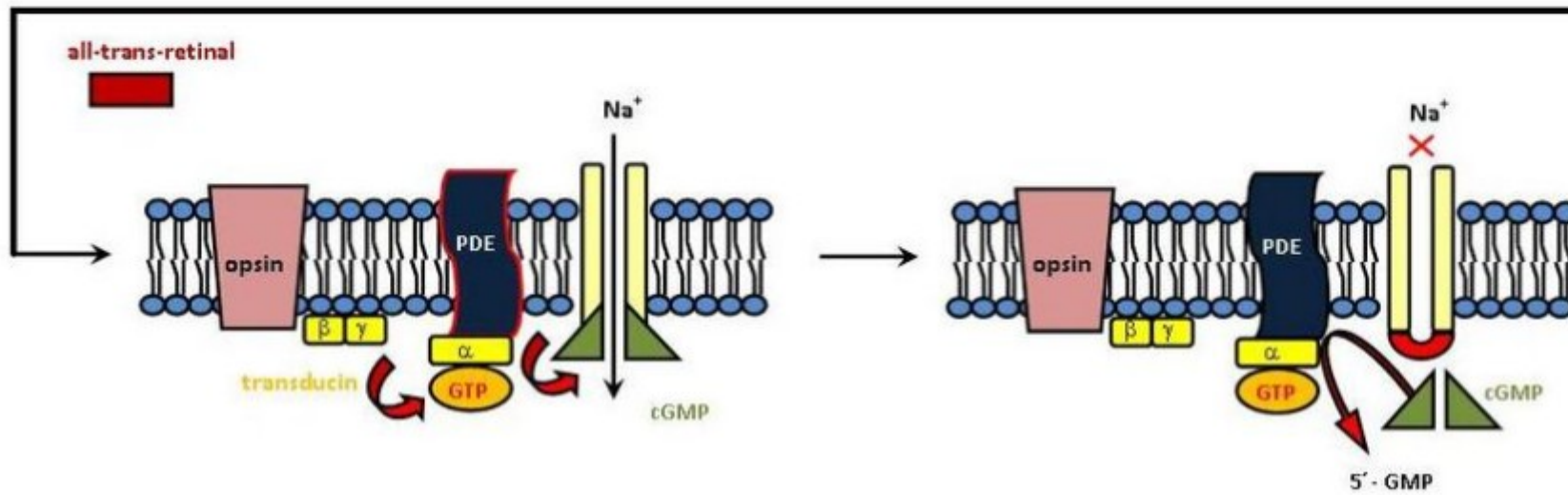
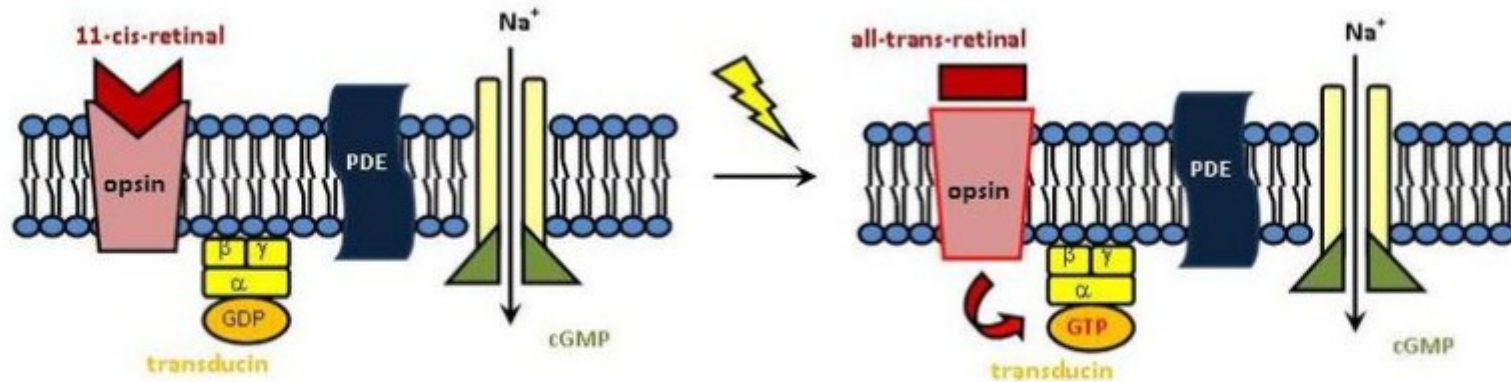
Po dopadu světla na sítnici dochází k jeho **absorpci** → Absorpce vede k **excitaci** membrány, která se projeví **izomerací 11-cis- retinalu na ALL-TRANS-RETINAL**. Dochází tak ke změně jeho geometrie. Energie fotonu se tedy transformovala na pohyb atomů.

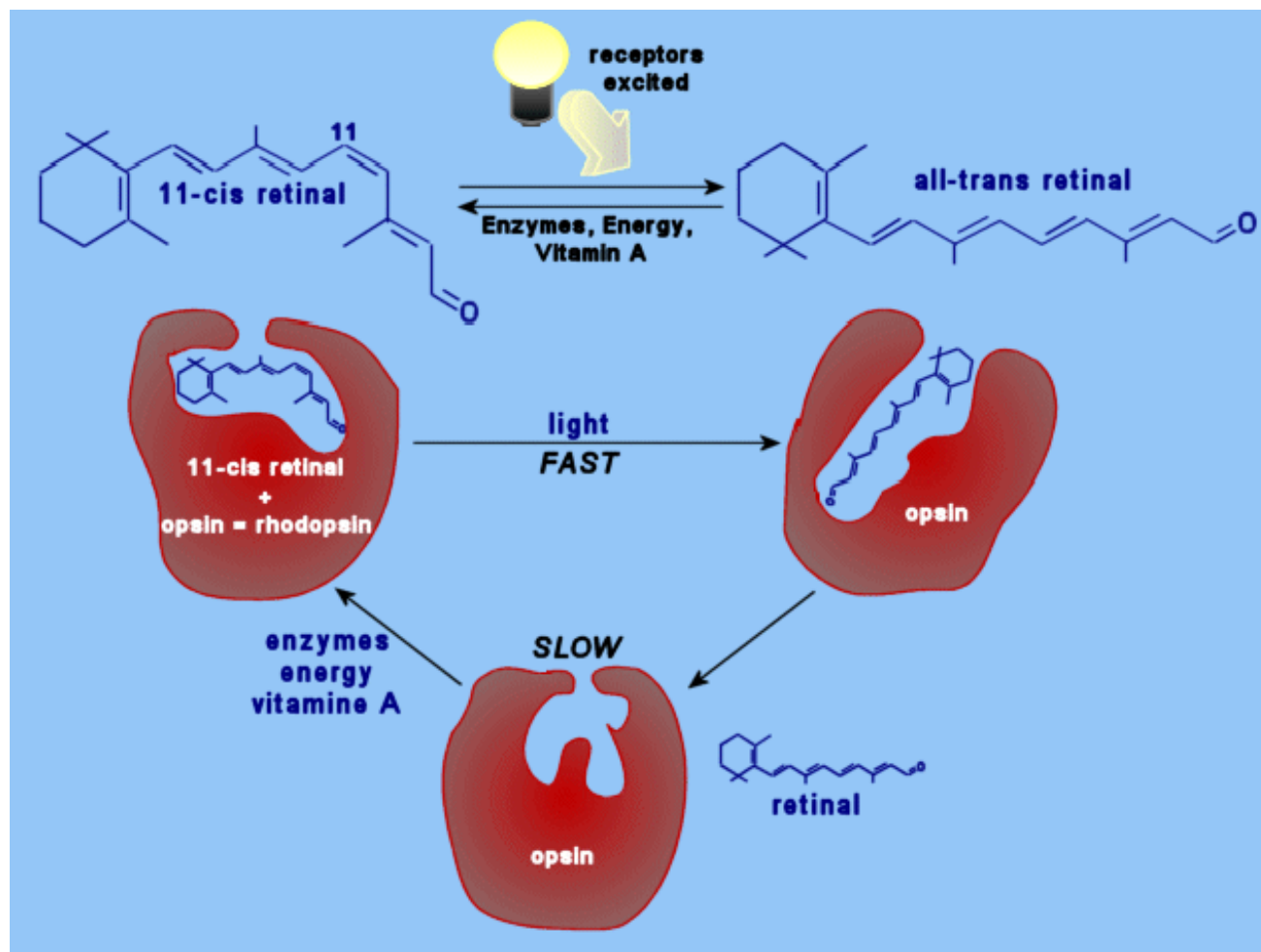
Světelná aktivace je velice rychlá a přitom složitá. Během milisekund proběhne řada fotochemických reakcí, jejichž meziprodukty (bathorodopsin, lumirodopsin, metapodopsin I, metarodopsin II) vykazují různá maxima od 500 do 380 nm.

Dopad fotonu → **odpoutání barviva od bílkoviny**. Trans-izomer už nezapadá do vazebného místa. Rhodopsin se tak rozpadá na opsin a all-trans-retinal. Takto aktivovaný rhodopsin dále **aktivuje G-protein TRANSDUCIN**. Kaskáda pokračuje aktivací **FOSFODIESTERÁZY (PDE)**, která **hydrolyzuje cGMP na NECYKlický 5'-GMP**. Původně otevřený **kanál pro Na⁺ ionty se uzavírá**, tok iontů se zastaví. Následkem je **HYPERPOLARIZACE** membrány

Hyperpolarizace se šíří k [synapsi](#), čímž umožňuje přenos vzruchu dál po [zrakové dráze](#). Od gangliových buněk signál pokračuje jako depolarizace.





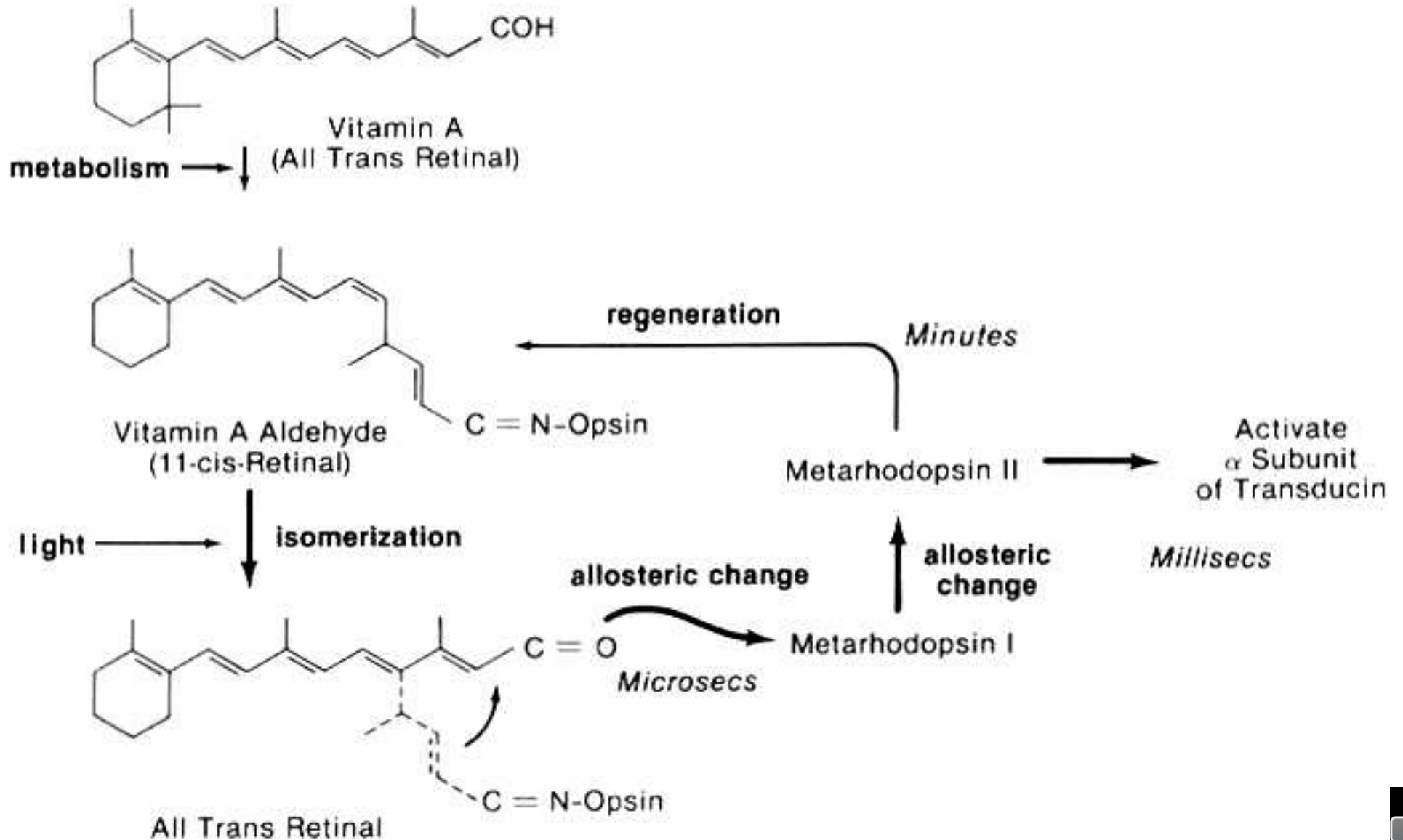


Cyklus rhodopsinu

- **Regenerace rhodopsinu z *trans* formy retinalu (vitaminu A) a z opsinu je děj, který je podstatou adaptace na tmu (přeměna *trans* formy retinalu v *cis* formu, přeměna vitaminu A na retinal a dále vazba retinalu na opsin)**
- **V bb. RPE bylo prokázáno hromadění vitaminu A**
- **Čípkové pigmenty obsahují stejný retinal a liší se v opsinové komponentě ⇒ spektrální posun tří typů ftopigmentu.**



Cyklus rhodopsinu

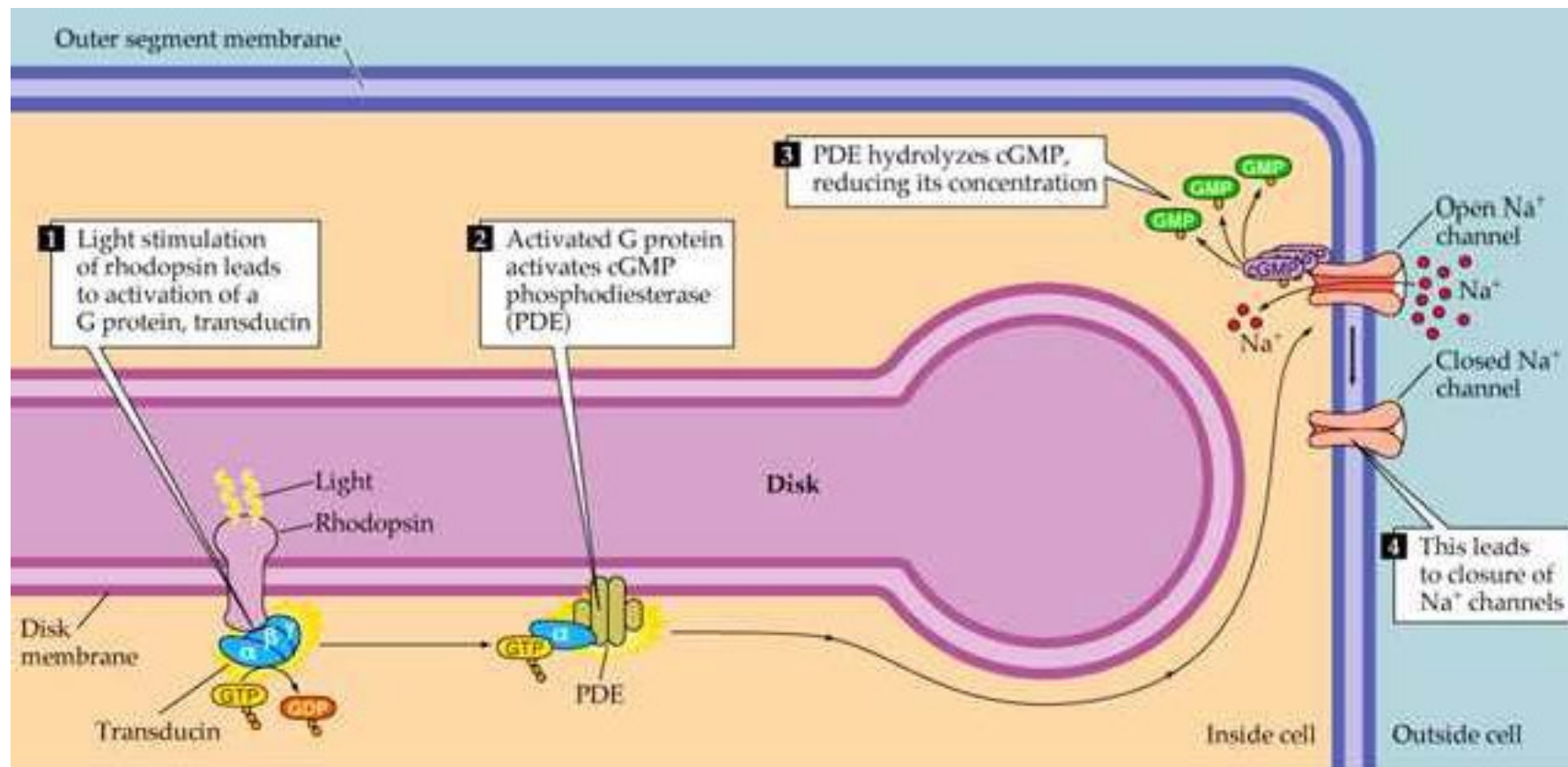


Biochemie barevného vidění

- **Spektrální citlivost** tří typů čípků a tyčinek má na molekulární úrovni původ v **opsinovém posunu** – jde o změnu v absorpci chromoforu po jeho vazbě na specifickou opsinovou molekulu.
- **Absorpce světla** → konformační změny rhodopsinu → aktivace transducinu → aktivace cGMP fosfodiesterázy → hydrolýza cGMP → ↓ cGMP → uzávěr Na⁺ membránového kanálu → hyperpolarizace fotoreceptorové b.



Pochody zevního segmentu tyčinek po aktivaci rhodopsinu světlem

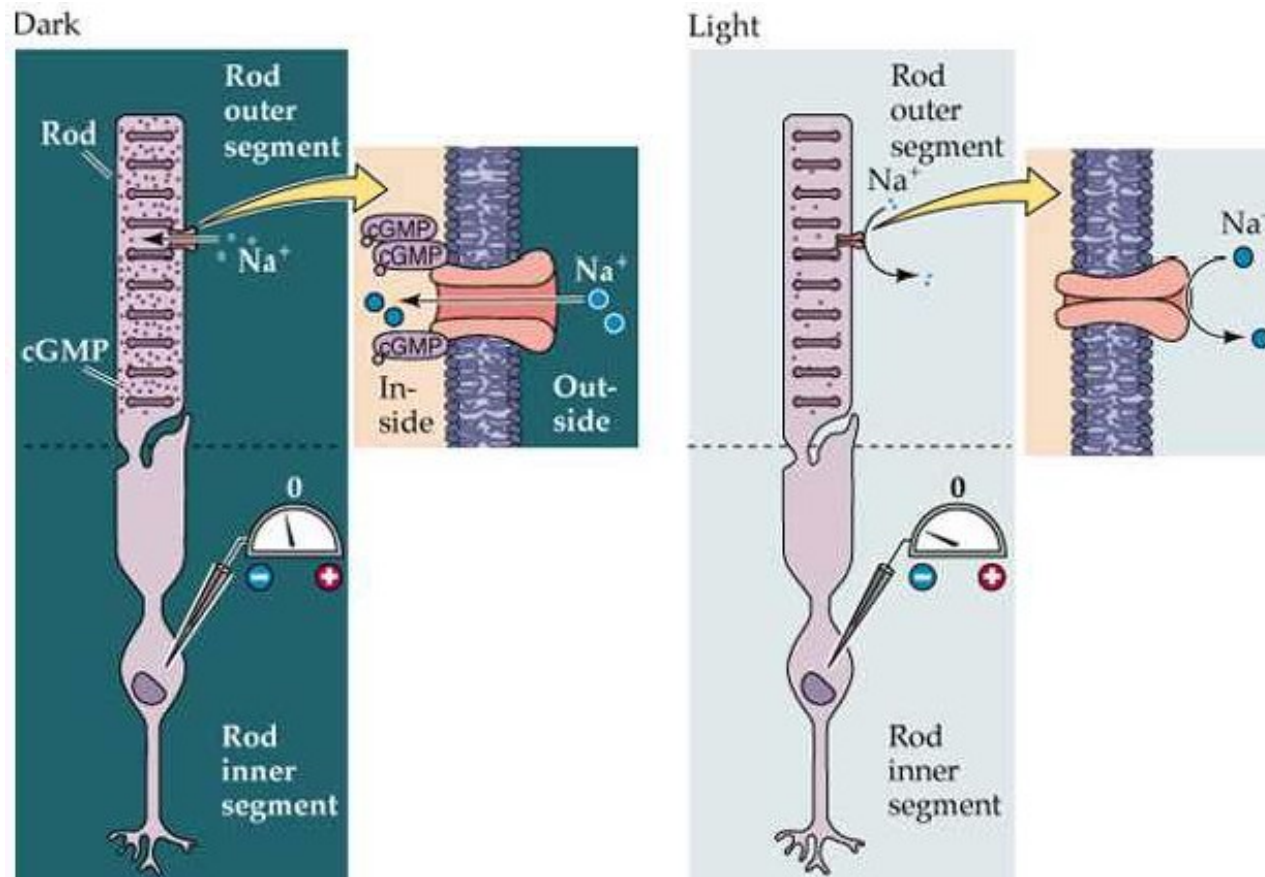


Biochemie vidění

- **Hyperpolarizace tyčinky (čípku) vyvolá změnu na synapsi, čímž je spuštěno zpracování sítnicového signálu vedoucí k zrakovému vjemu.**
- **Hlavní biochemické součásti kaskády přenosu světelného signálu v sítnici tvoří:**
 - **Fotopigment (Rhodopsin)**
 - **Protein G (Transducin)**
 - **Fosfodiesteráza (cGMP PDE)**
 - **Transmembránový iontový kanál**



Pochody zevního segmentu tyčinek po aktivaci rhodopsinu světlem



Tyčinky a čípky

- Polynenasycené mastné kyseliny:
- **Omega 3 (DHA)**
- **Omega 6 (EPA)**
- Omega 3
 - Na vnějších segmentech fotoreceptorů
 - Nepostradatelná v období růstu sítnice
 - Prodlužuje dobu přežití fotoreceptorů, chrání je před poškozením ischemií
 - Snižuje hromadění *lipofuscinu* v sítnici



Makulární pigment

- Macula lutea (žlutá skvrna) \Rightarrow ***makulární pigment*** – *hydroxy-karotenoidy*:
- **Lutein**
- **Zeaxanthin**
- Pocházejí výhradně z potravy; hypotéza ochranné úlohy před rozvojem degenerace sítnice (VPMD)



Produkce a proudění nitrooční tekutiny

- Nitrooční tekutina je produkována výběžky řasnatého tělíska
 - Difúzí
 - Ultrafiltrací
 - Aktivní sekrecí
- Produkce KV $\sim 2,2 \text{ mm}^3/\text{min}$
- Objem KV $\sim 1,23\text{-}1,32 \text{ cm}^3$
- Cirkulace KV je podmíněna tepelným rozdílem mezi teplotou duhovky a rohovky

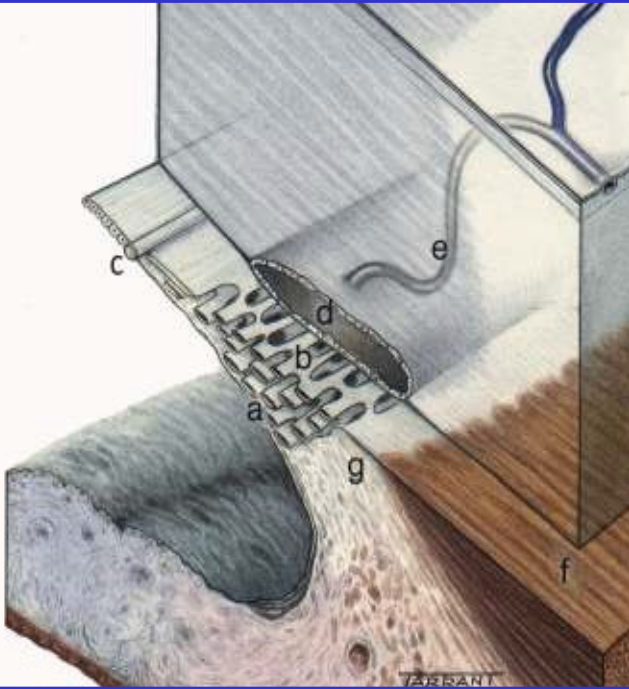
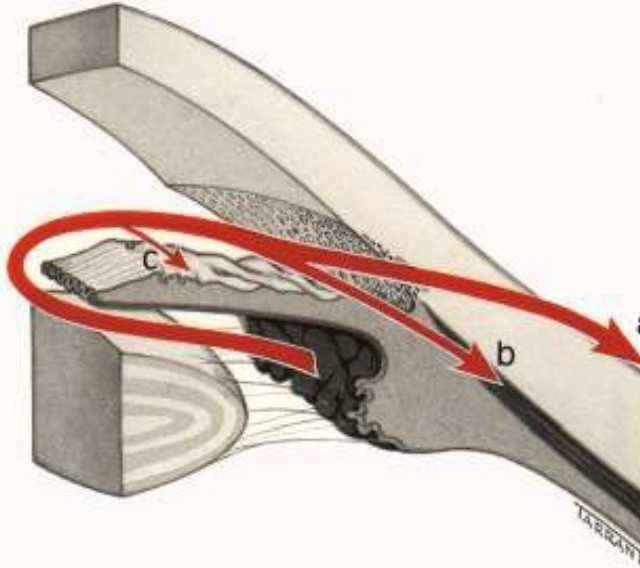


Produkce a proudění nitrooční tekutiny

- **Odtokové cesty KV z PK:**
 - Klasická přes trabekulum komorového úhlu
 - Přes ciliární sval do supraciliárních a suprachoroidálních prostor = nekonvenční, uveosklerální odtoková cesta
 - Resorpce přes iris (velmi malá část KV)
- **Nitrooční tlak je dán poměrem mezi tvorbou a odtokem komorové tekutiny**



Odtokové cesty komorové tekutiny

Anatomie	Fyziologie
	
<p>a - Uveální trámčina b - Korneosklerální trámčina c - Schwalbeho linie d - Schlemmův kanál e - Kolektorové (sběrné) cévy f - Longitudinální svalová vlákna ciliárního tělíska g - Sklerální ostruha</p>	<p>a – Klasická odtoková cesta b - Uveosklerální cesta c - Resorpce přes iris</p>



Cévní zásobení oka

- **Sítnicový cévní systém** (systém a. centralis retinae)
- **Ciliární systém** (systém zadních dlouhých, krátkých a předních ciliárních artérií)
- **Spojivkový systém**



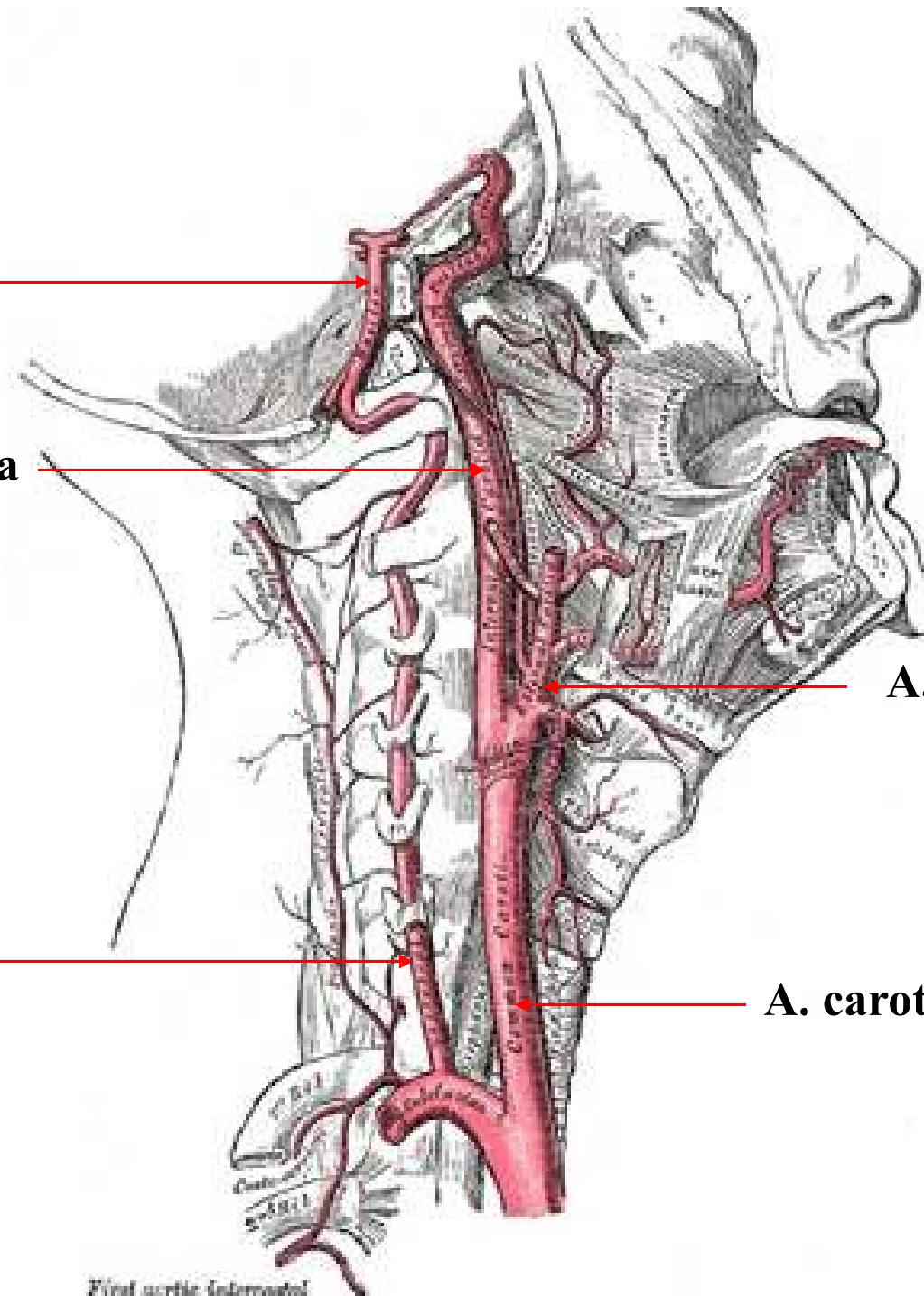
A. basilaris

A. carotis interna

A. vertebralis

A. carotis externa

A. carotis communis



First costal intercostal



N. opticus

A. cerebri anterior

A. ophthalmica

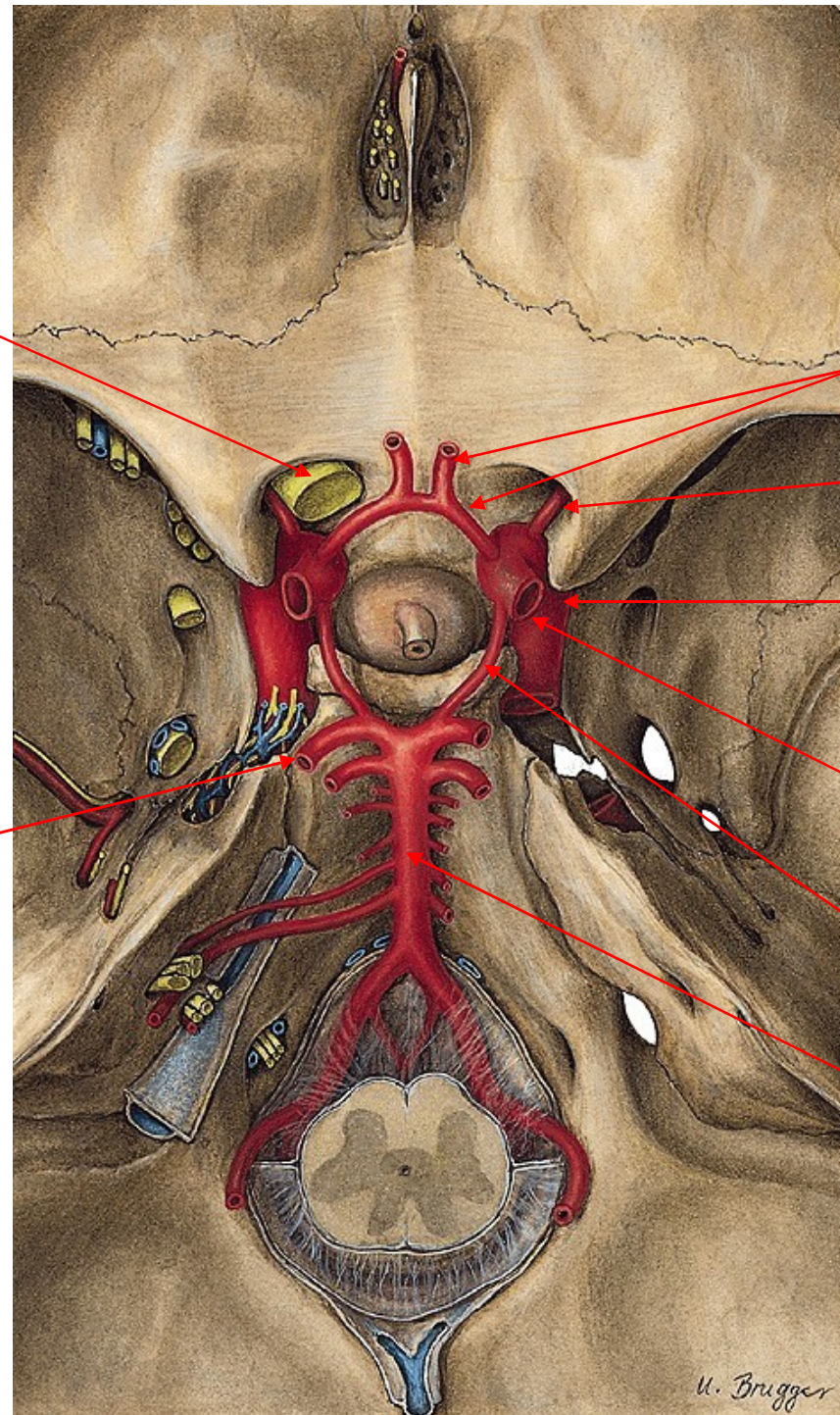
A. carotis interna

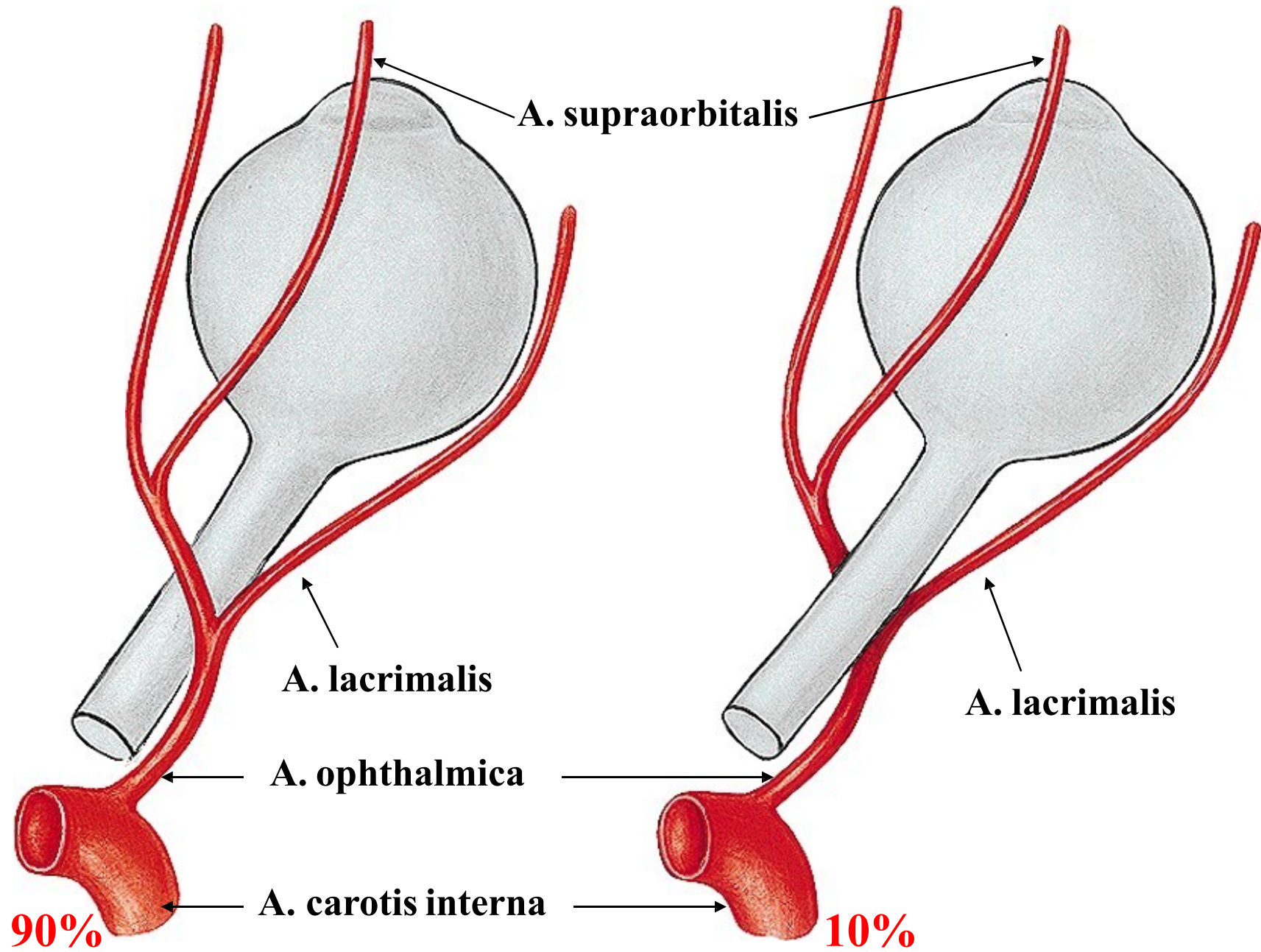
A. cerebri media

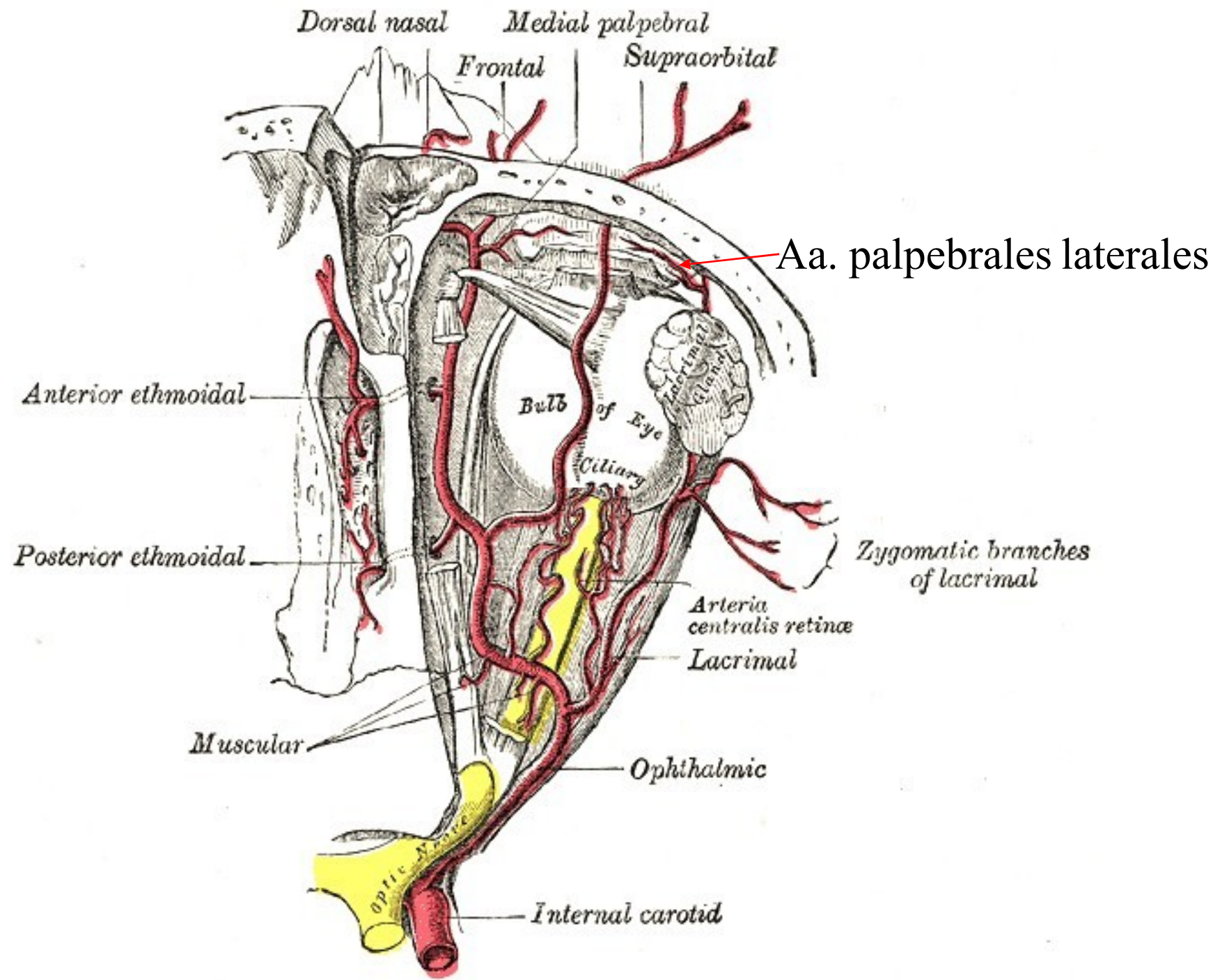
A. communicans posterior

A. basilaris

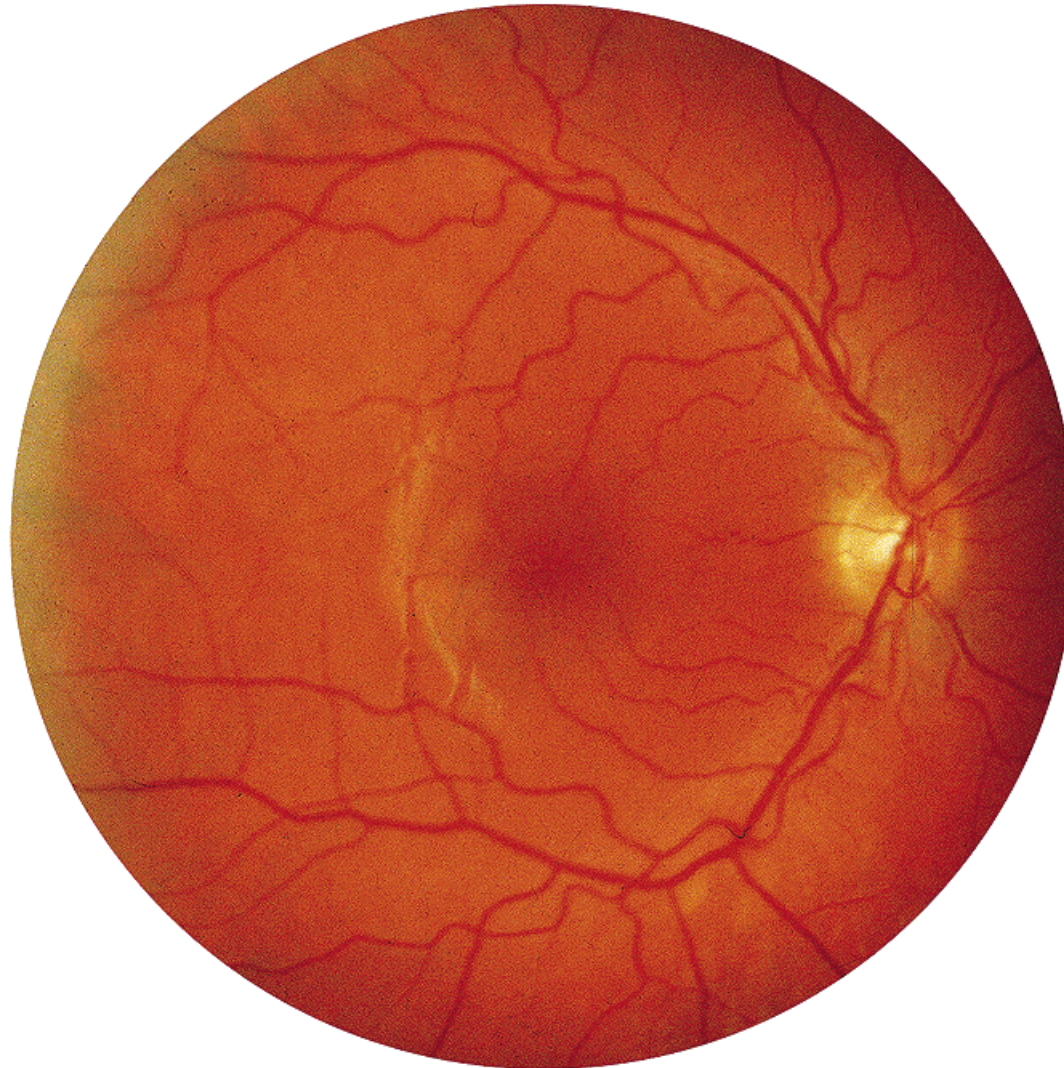
A. cerebri posterior







Větve a. centralis retinae

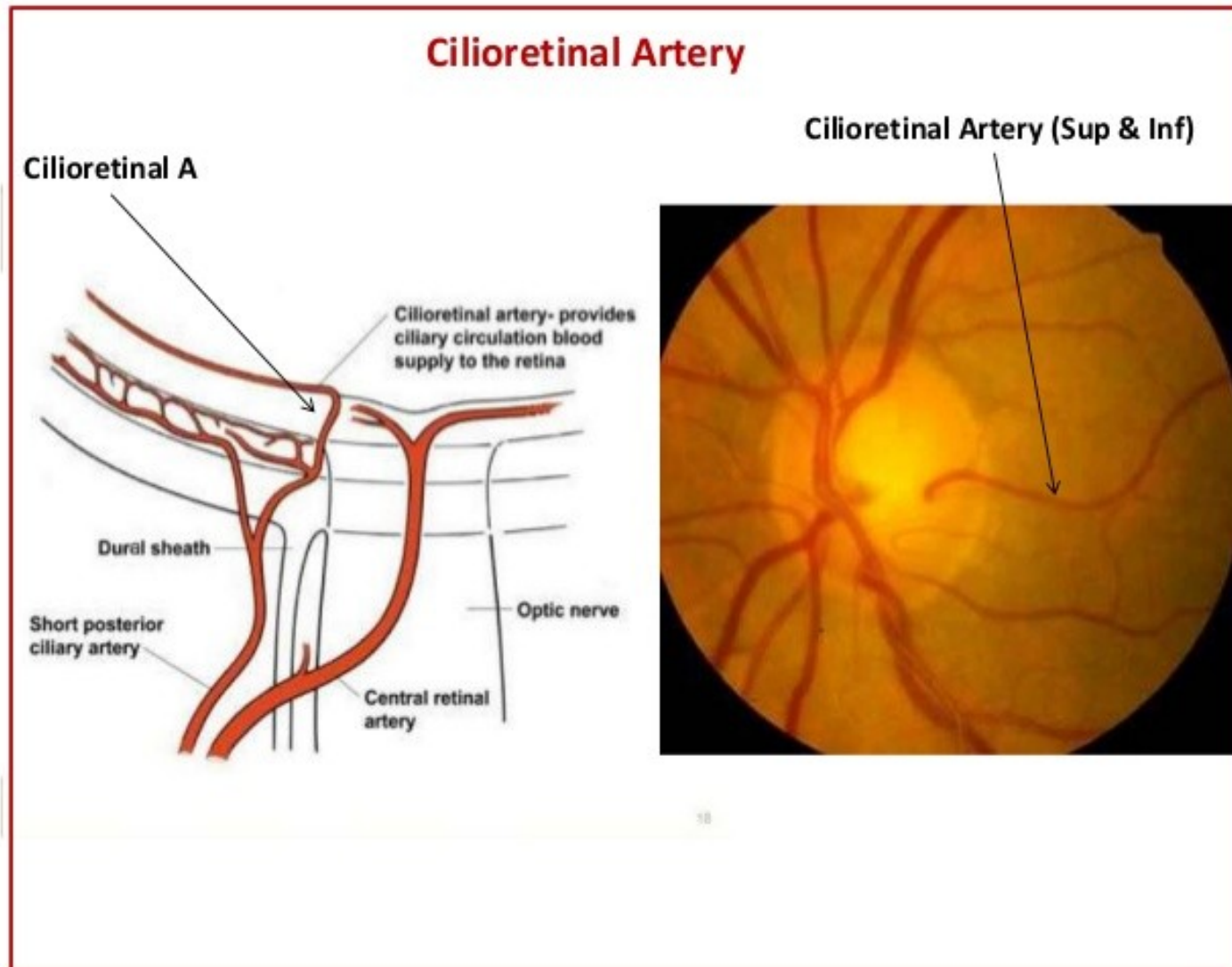


Cévní zásobení sítnice

- **A. centralis retinae** (z a. ophthalmica z a. carotis interna) – oddělena od sklivce MLI, vyživují 1. a 2. neuron (bipolární a gangliové bb.)
- **Choriokapilaris** – zásobuje RPE a smyslový epitel tyčinek a čípků
- **A. cilioretinalis** – variabilní, může zásobovat tyčinky a čípky
- **V. centralis retinae**



Cilioretinální arterie



Větve a. ophthalmica

1. A. centralis retinae vstupuje ~ 1cm za okem do n.opticus
2. **A. lacrimalis** ke gland. lacrimalis; 🕒 **rr. musculares** pro okolní okohybné svaly; konečné větve **aa.palpebrales laterales** pro laterální koutek oční (spojivka, víčka)
3. **Rr. Musculares** k okohybným svalům; 🕒 aa.ciliares anteriores **ke corpus ciliare**; **aa.episclerales**, **aa.conjunctivales**
4. Aa. ciliares posteriores breves **pro cévnatku**



5. **Aa. ciliares posteriores longae nasal. et temporal.**
jdou po průchodu sklérou ke corpus ciliare a spolu a
aa. ciliares ant. tvoří **circulus arteriosus iridis
major a minor**
6. **A. supraorbitalis** zásobuje oblast čela
7. **A. ethmoidalis posterior** pro sliznici sinus
sphenoidalis a cellulae ethmoidales posteriores
8. **A. ethmoidalis anterior** pro sliznici sinus frontalis
a cellulae ethmoidales anteriores
9. **Aa. palpebrales mediales** jdou k víčkům. Při jejich
volném okraji vytvářejí s aa. palpebrales laterales
(z a. lacrimalis) **arcus palpebralis sup. et inf.**



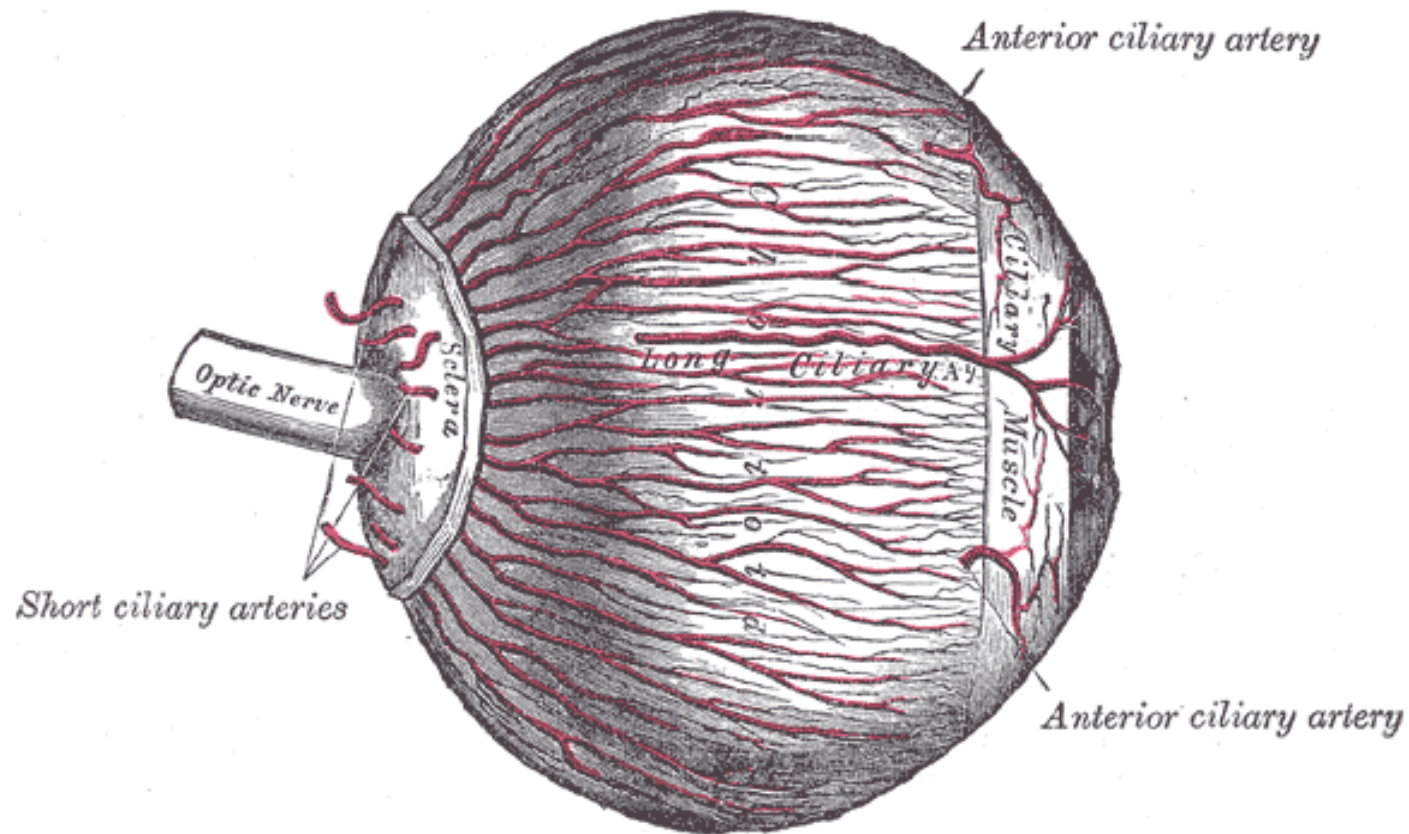
Konečné větve a. ophthalmica

10.A. supratrochlearis (a. frontalis) přechází do kůže nad kořenem nosním

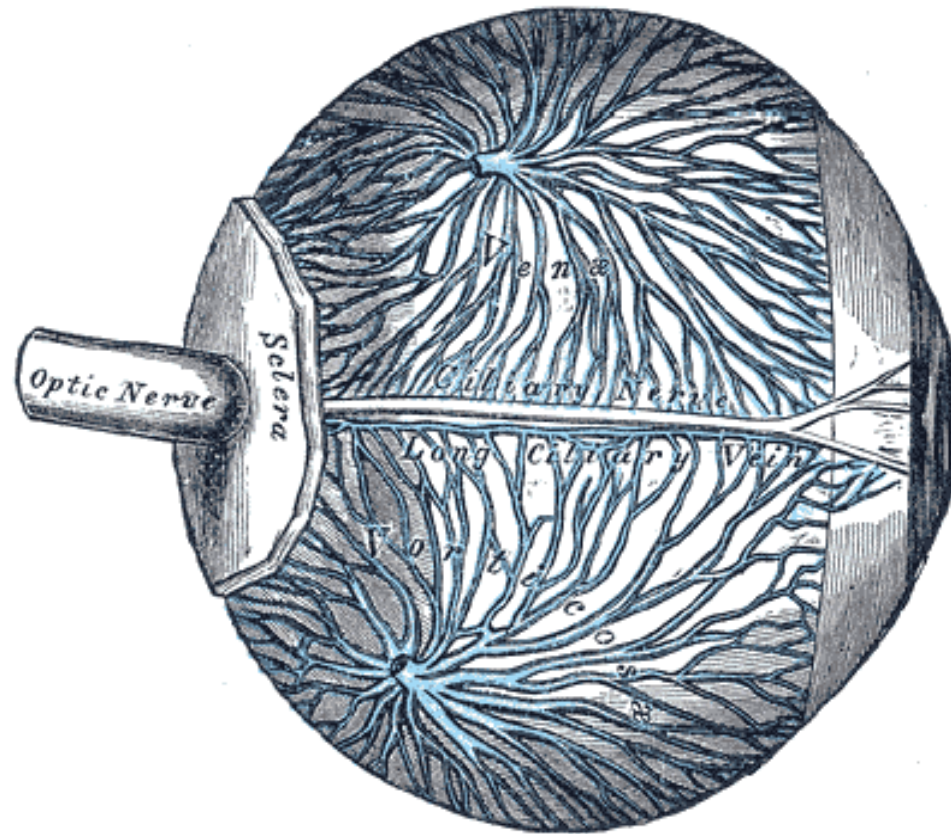
11.A. dorsalis nasi přechází na dorsum nosu a anastomozuje s **a. angularis** z **a. facialis!!!** (a. carotis externa)



Průběh ciliárních artérií



Průběh vortikozních žil sklérou v oblasti ekvátoru



Výživa tkání oka

- Cévní výživa
- Výživa bezcévných tkání (rohovka, čočka – komorová voda, slzný film)



Motorická inervace oka

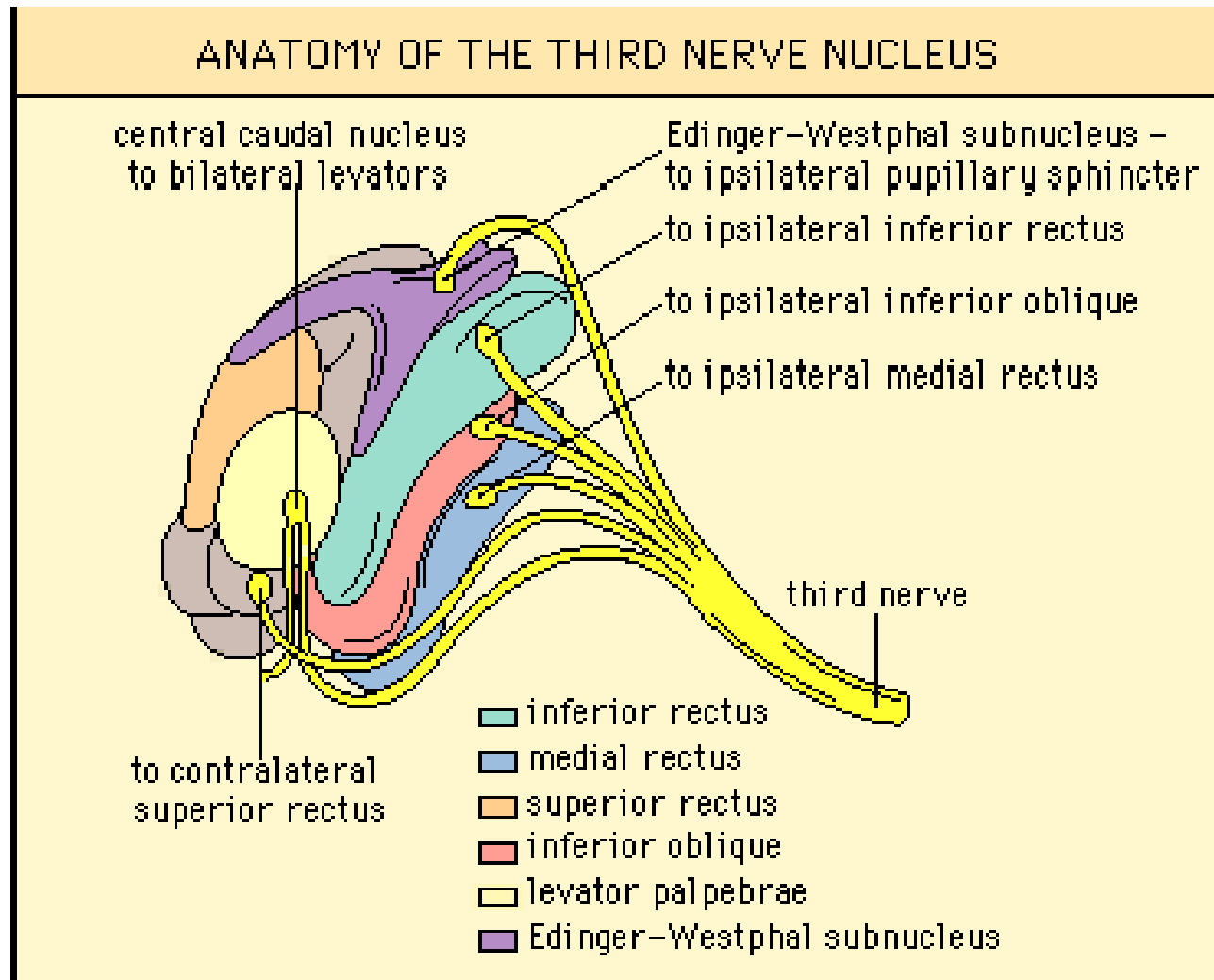


N. oculomotorius (III)

- **Jádrový komplex leží v mesencefalu na úrovni colliculus superior pod Silvioým akveduktem**
- **Podjádro pro m. levator palpebrae superioris je nepárová středová struktura, která inervuje oba levátory (pravého i levého oka) !!**
- **Podjádro pro m. rectus superior je párové a inervuje kontralaterální horní přímý sval**
- **Podjádra pro m. rectus medialis, inferior a m. obliquus inferior jsou párové a inervují stejnostranné svaly**



Struktura jádrového komplexu n.III

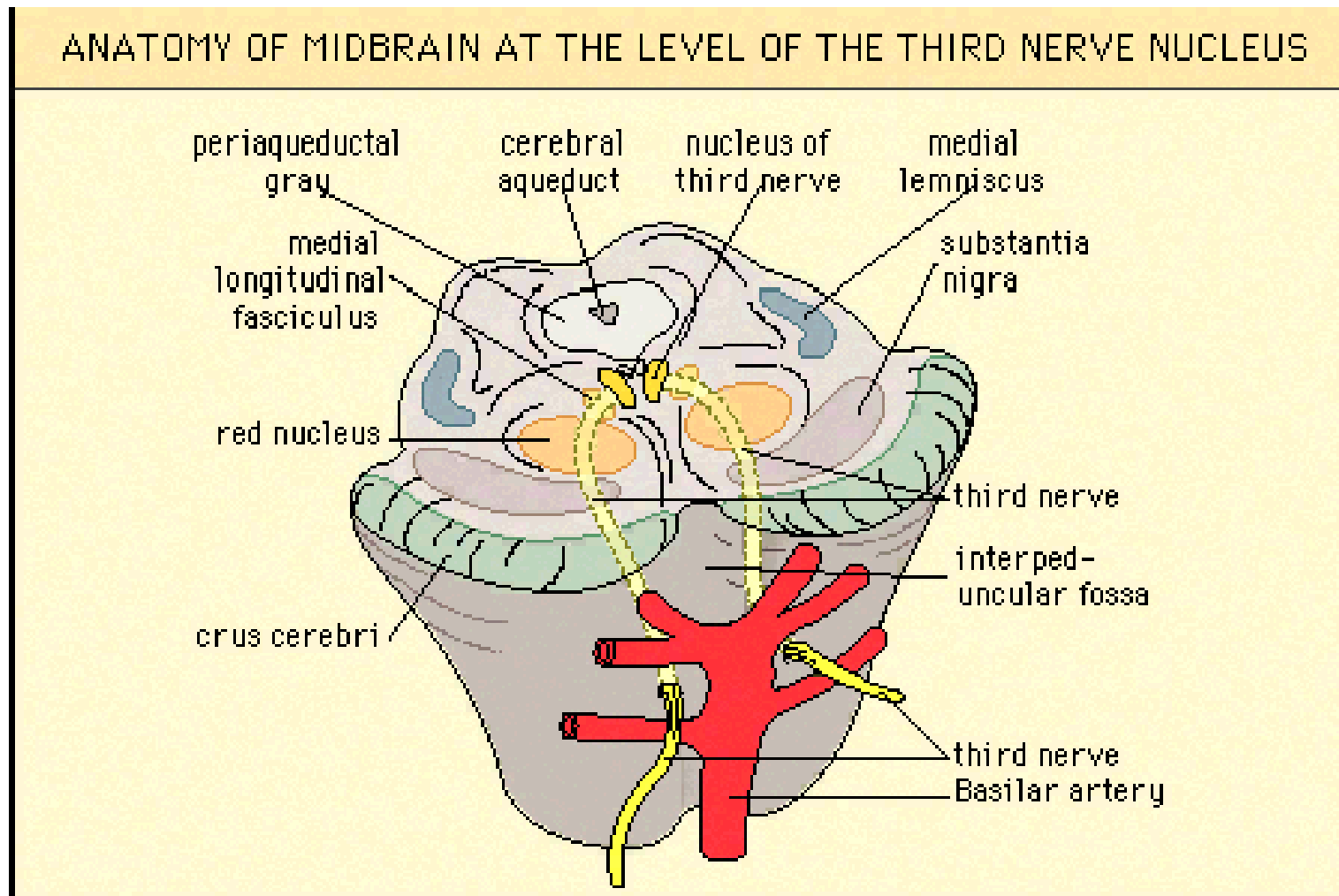


Léze postihující jádrový komplex n. III

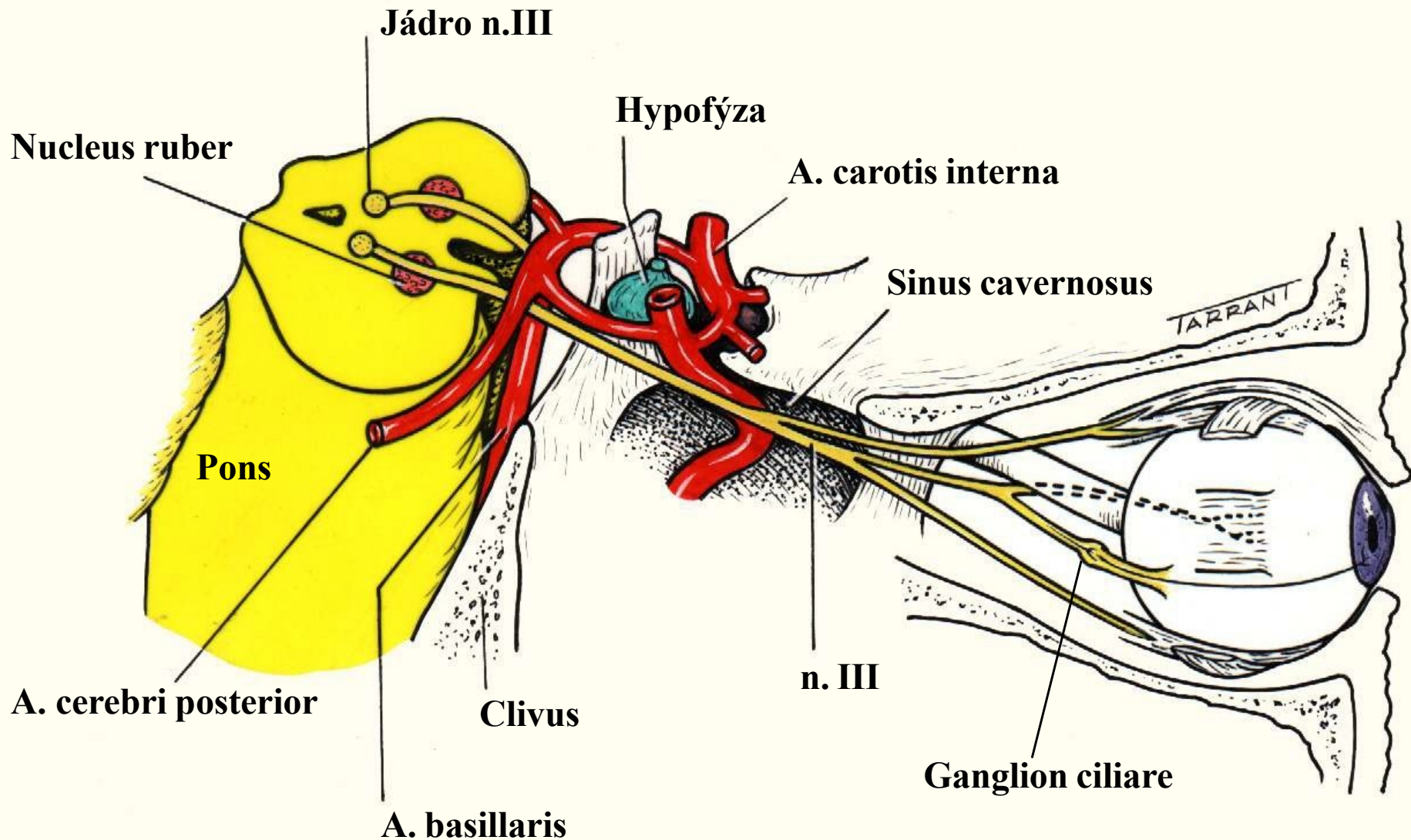
Stejnostranná paréza n. okulomotorius s ipsilaterálním ušetřením a kontralaterálním postižením elevace oka (m. rectus superior) a bilaterální parciální ptózou (m. levator palpebrae superioris)



Anatomie mesencefala v úrovni jádrového komplexu n.III



N. oculomotorius (III) - průběh nervu



N. trochlearis (IV)

A. Carotis interna

A. Communicans post.

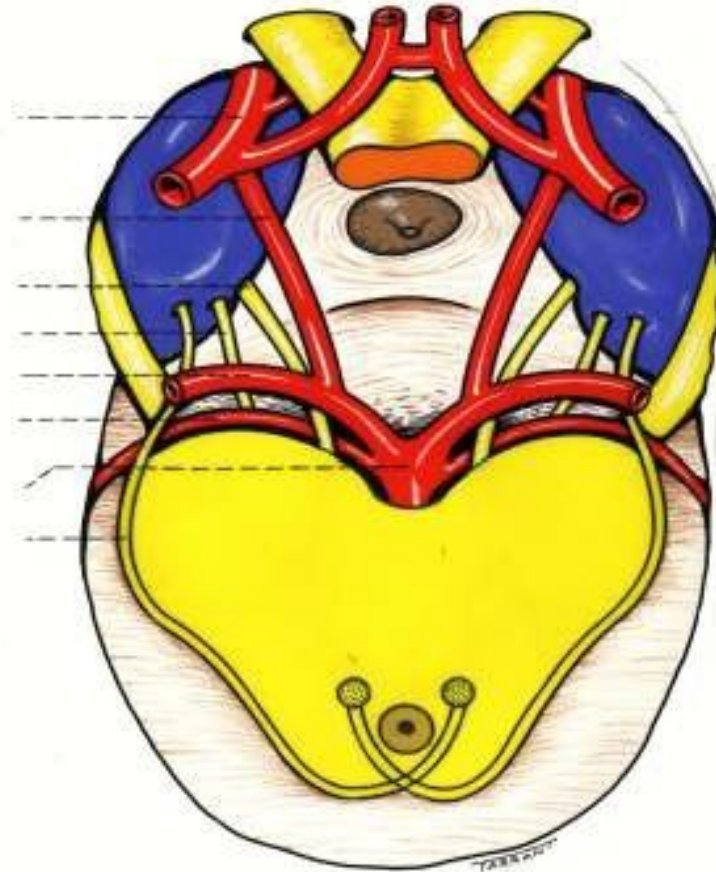
III
VI

A. cerebri post.

A. Cerebellaris super.

A. basillaris

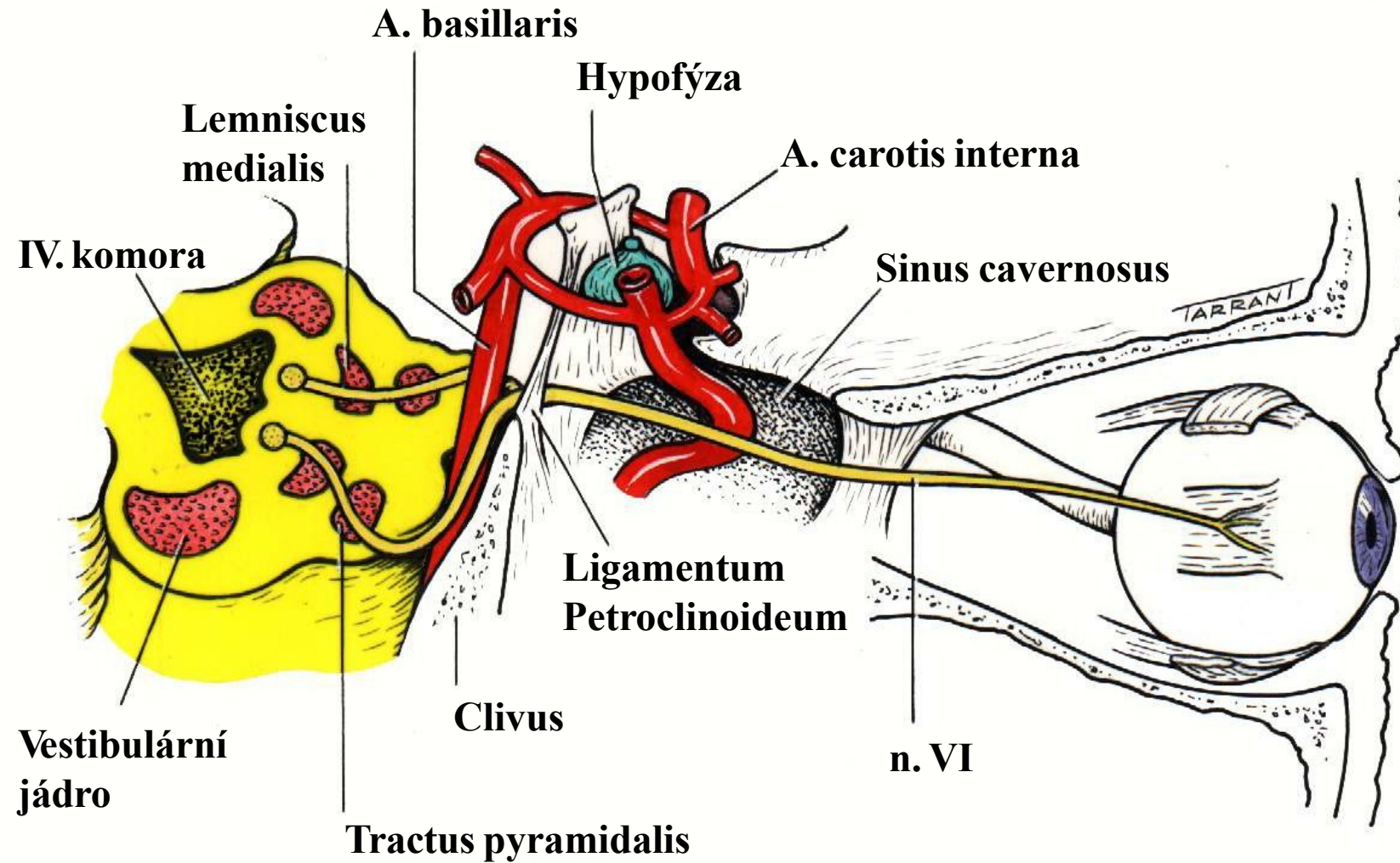
IV



- **Jediný hlavový nerv, který vybíhá dorzálně !!!**
- **Zkřížený hlavový nerv !**
- **Velmi dlouhý průběh; tenký nerv**



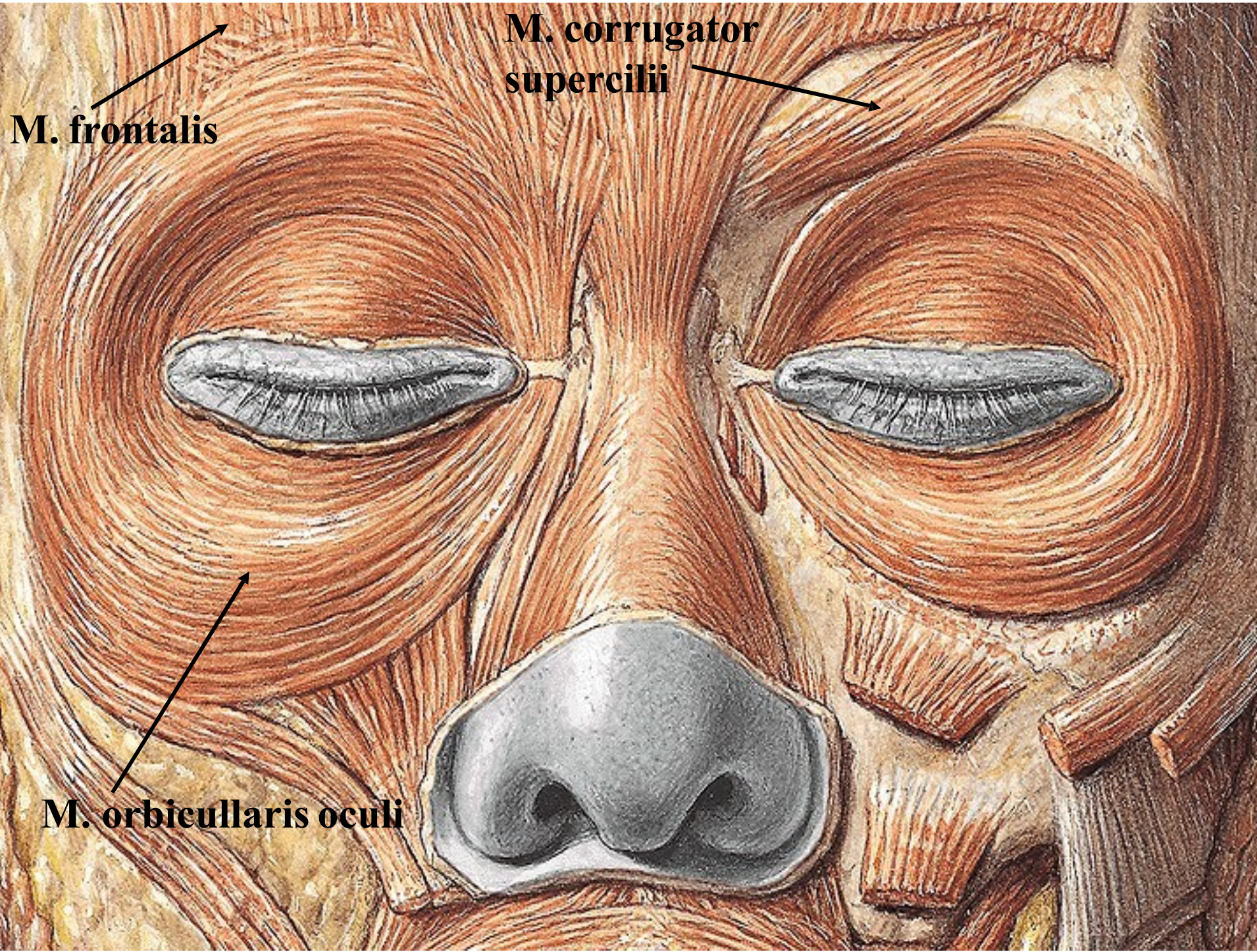
N. abducens (VI)



N. facialis (VII)

- **Motorická inervace**
 - **M. orbicularis oculi**
 - **M. corrugator supercilii**
 - **M. frontalis**
- **Autonomní (parasympatická) inervace**
 - **Nucleus salivatorius superior → n. intermedius → ganglion pterygopalatinum (přepojení na postsynaptické vlákno) → n. maxillaris (V/2) → n. zygomaticus → n. lacrimalis (V/1)**

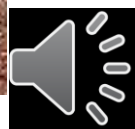




M. frontalis

**M. corrugator
supercilii**

M. orbicularis oculi



Senzitivní inervace oka



**Parasympatické Edinger
Westphalovo jádro n. III**

Jádro n. III

Jádro n. IV

Motorické jádro n. V

Jádro n. VI

Jádro n. VII

**Nucleus salivatorius
superior n. VII**

**Nucleus salivatorius
inferior**

Nucleus ambiguus

**Nucleus dorsalis
nervi vagi**

**Nucleus nervi
hypoglossi**

**IV. Komora
mozková**

Corpus pineale

Pulvinar thalami

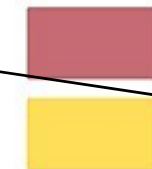
**Corpus geniculatum
mediale**

**Corpus geniculatum
laterale**

Colliculus superior

Colliculus inferior

**Jádro n. V (mesencefalické,
pontinní, spinální)**



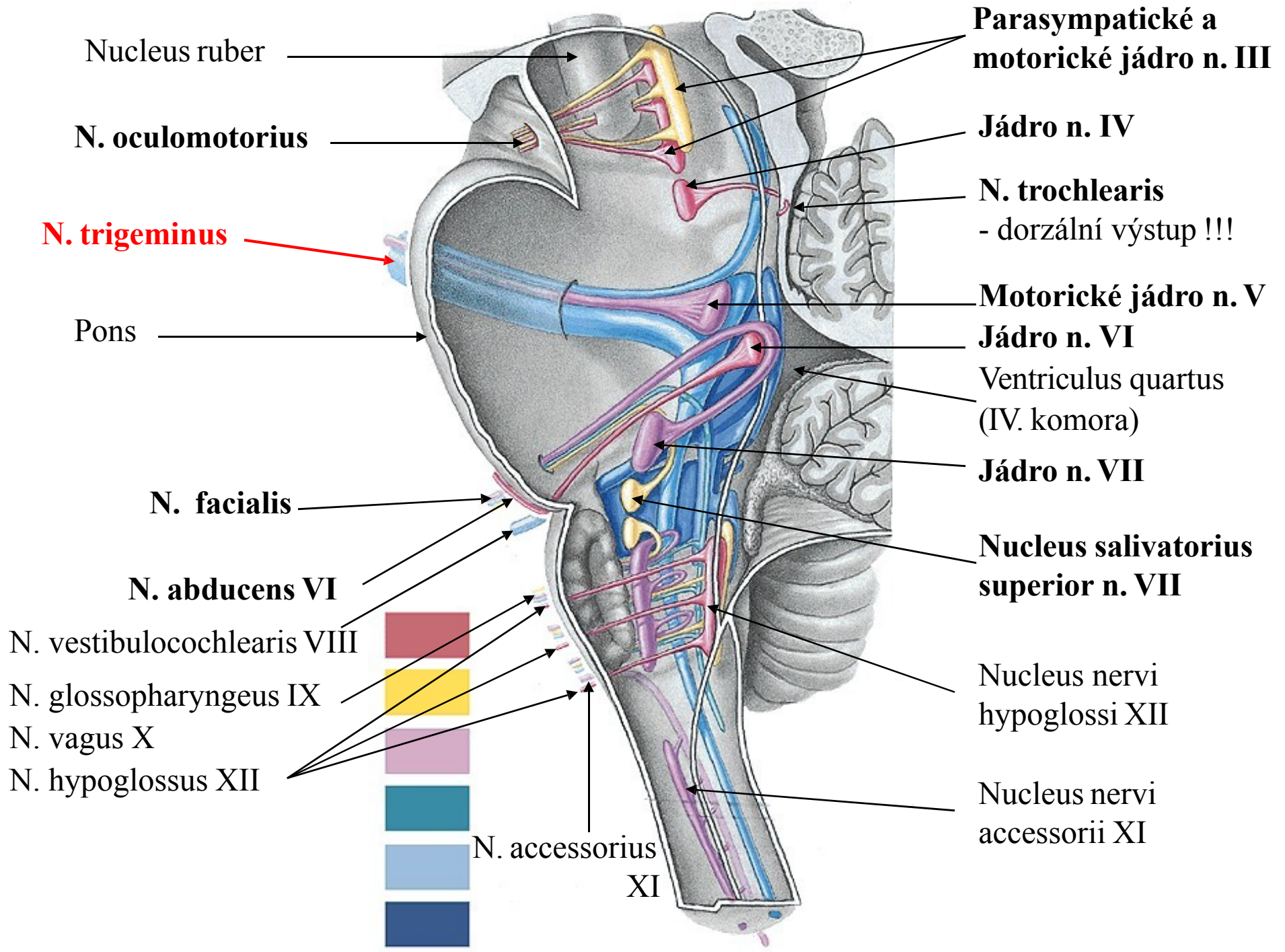
**Nucleus cochlearis
posterior**

**Nucleus vestibularis
medialis**

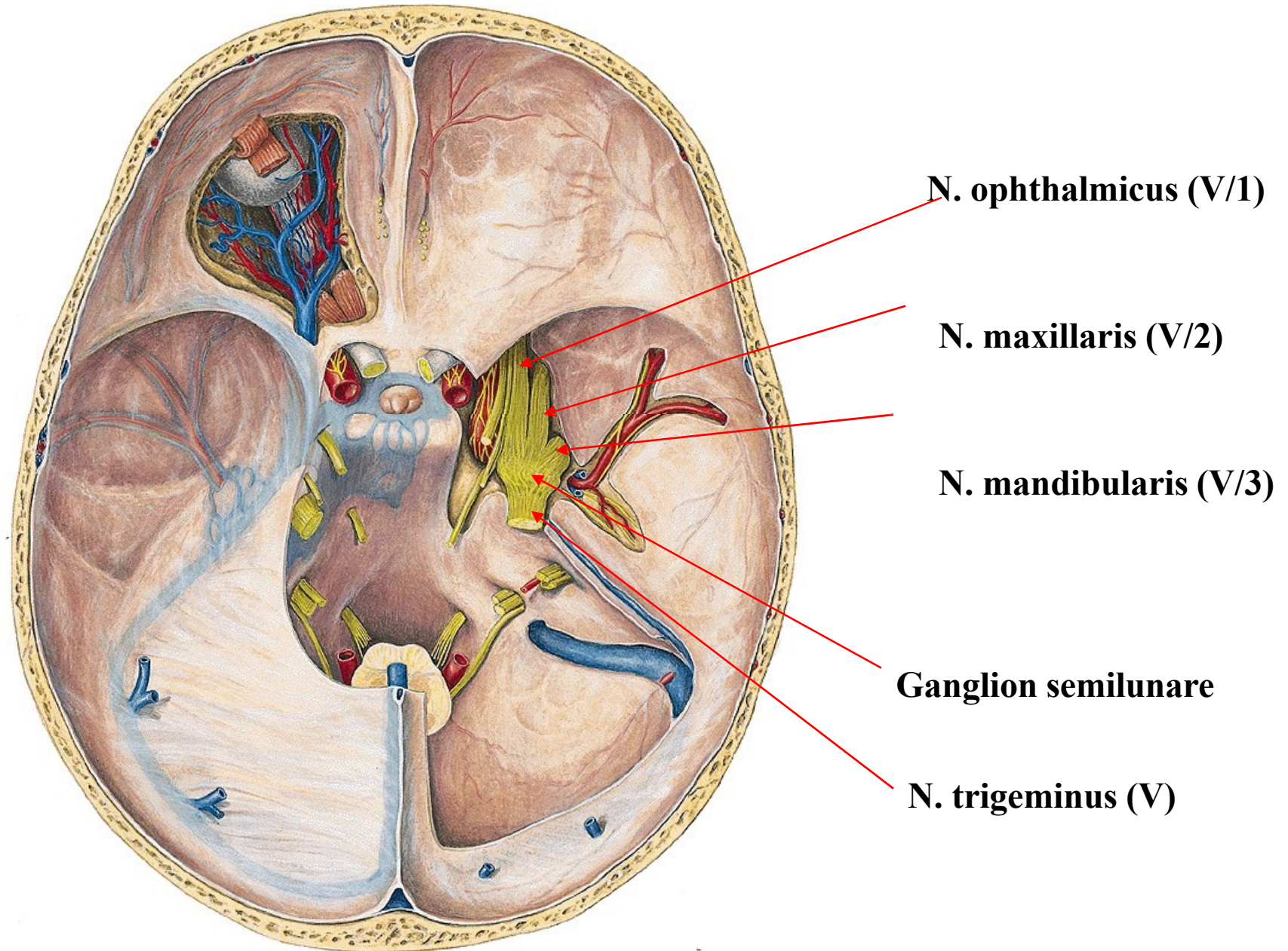
Nucleus solitarius

Nucleus nervi accessorii

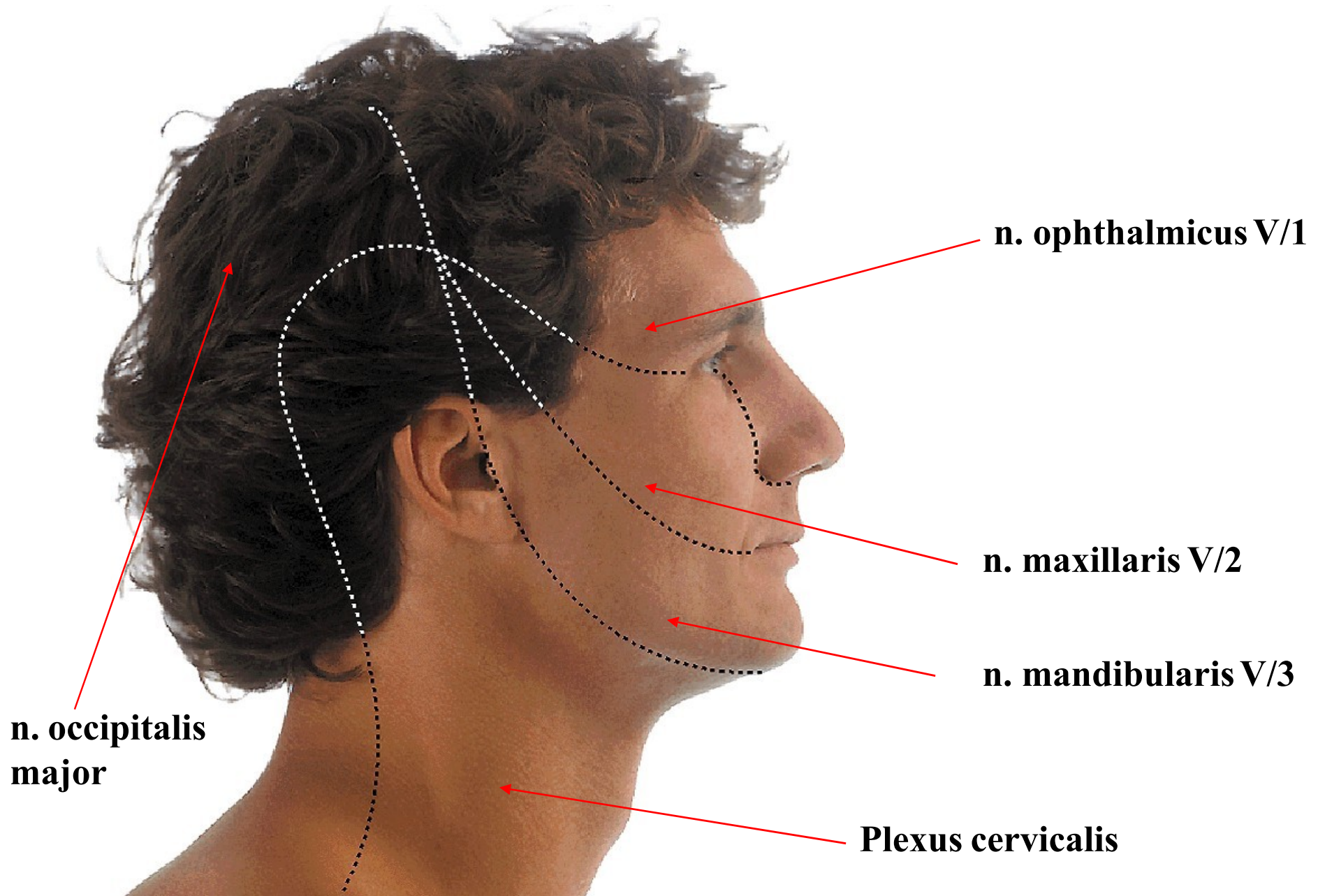




Ganglion trigeminale



Oblasti senzitivní inervace n. V



Senzitivní inervace oka

- **N. ophthalmicus V/1** (čistě senzitivní větev)
 - **N. lacrimalis** – slzná žláza, zevní koutek, parasympaticus z n. VII (přes V/2) → sekrece slz
 - **N. frontalis** → **n. supraorbitalis**, **n. supratrochlealis** – čelo, horní víčko, kořen nosu, vnitřní koutek
 - **N. nasociliaris** → **n. ethmoidalis ant.**, **n. ethmoidali posterior**, **n. infratrochlearis**, senzitivní kořen k ciliárnímu gangliu – nosní sliznice, víčka, , slzný váček, rohovka ...
- **N. maxillaris V/2** (čistě senzitivní větev)
 - **N. infraorbitalis** spojivka dolního víčka
 - **N. zygomaticus** – sekretorická parasympatická vlákna z n. VII pro slznou žlázu



A. supraorbitalis

N. supratrochlearis

N. supraorbitalis

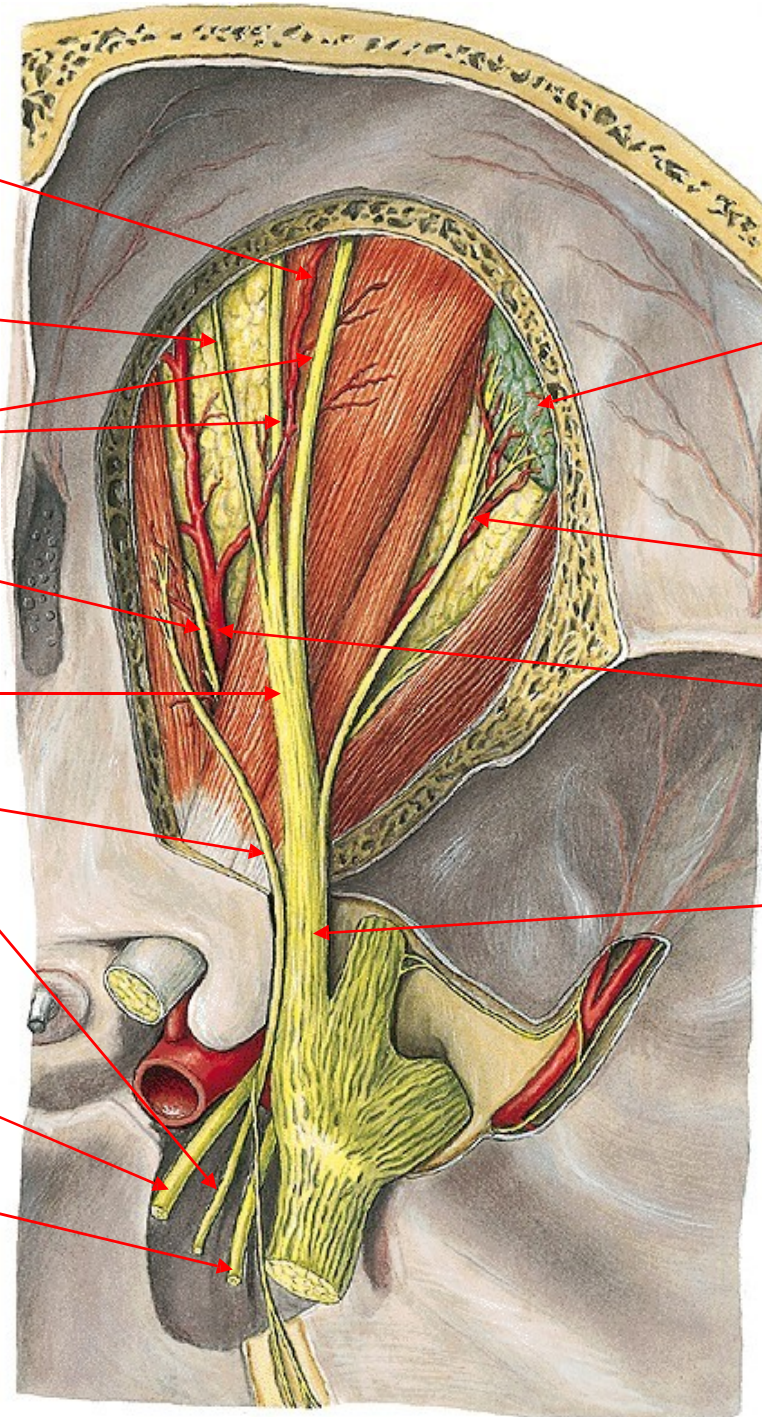
N. nasociliaris

N. frontalis

N. trochlearis (IV)

N. oculomotorius (III)

N. abducens (VI)



**Glandula lacrimalis
- pars orbitalis**

A a N. lacrimalis

A. ophthalmica

N. ophthalmicus V/1



A. supraorbitalis

A. supratrochlearis

A. dorsalis nasi

A. ophthalmica

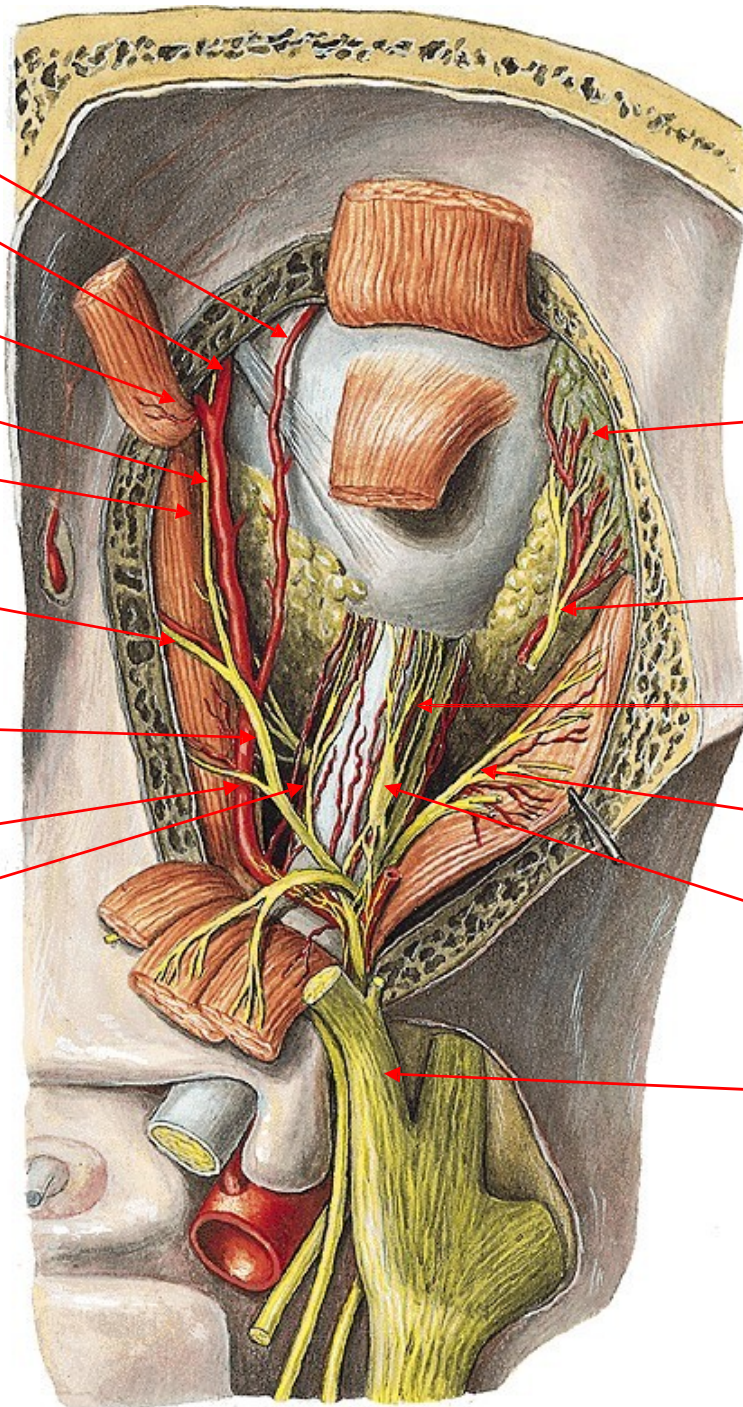
N. infratrochlearis

N. ethmoidalis anterior

N. nasociliaris

N. ethmoidalis posterior

N. ciliaris longus



Glandula lacrimalis

A a N. lacrimalis

N. Ciliares breves

N. abducens (VI)

Ganglion ciliare

N. Ophthalmicus V/1



Autonomní inervace oka



**Parasympatické Edinger
Westphalovo jádro n. III**

Jádro n. III

Jádro n. IV

Motorické jádro n. V

Jádro n. VI

Jádro n. VII

**Nucleus salivatorius
superior n. VII**

Nucleus salivatorius
inferior

Nucleus ambiguus

Nucleus dorsalis
nervi vagi

Nucleus nervi
hypoglossi

**IV. Komora
mozková**

Corpus pineale

Pulvinar thalami


Corpus geniculatum
mediale


**Corpus geniculatum
laterale**

Colliculus superior


Colliculus inferior

**Jádro n.V (mesencefalické,
pontinní, spinální)**

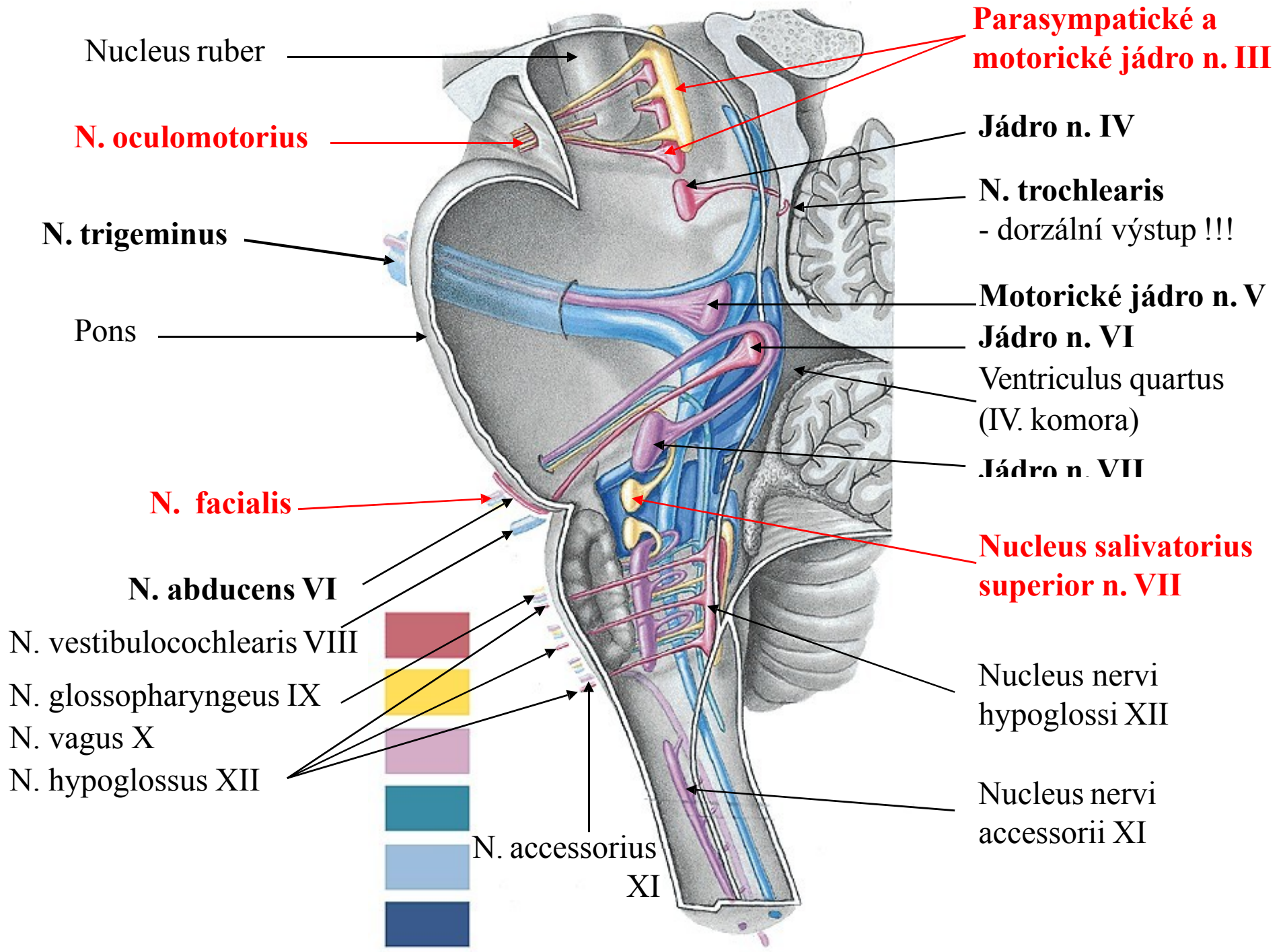
 Nucleus cochlearis
posterior

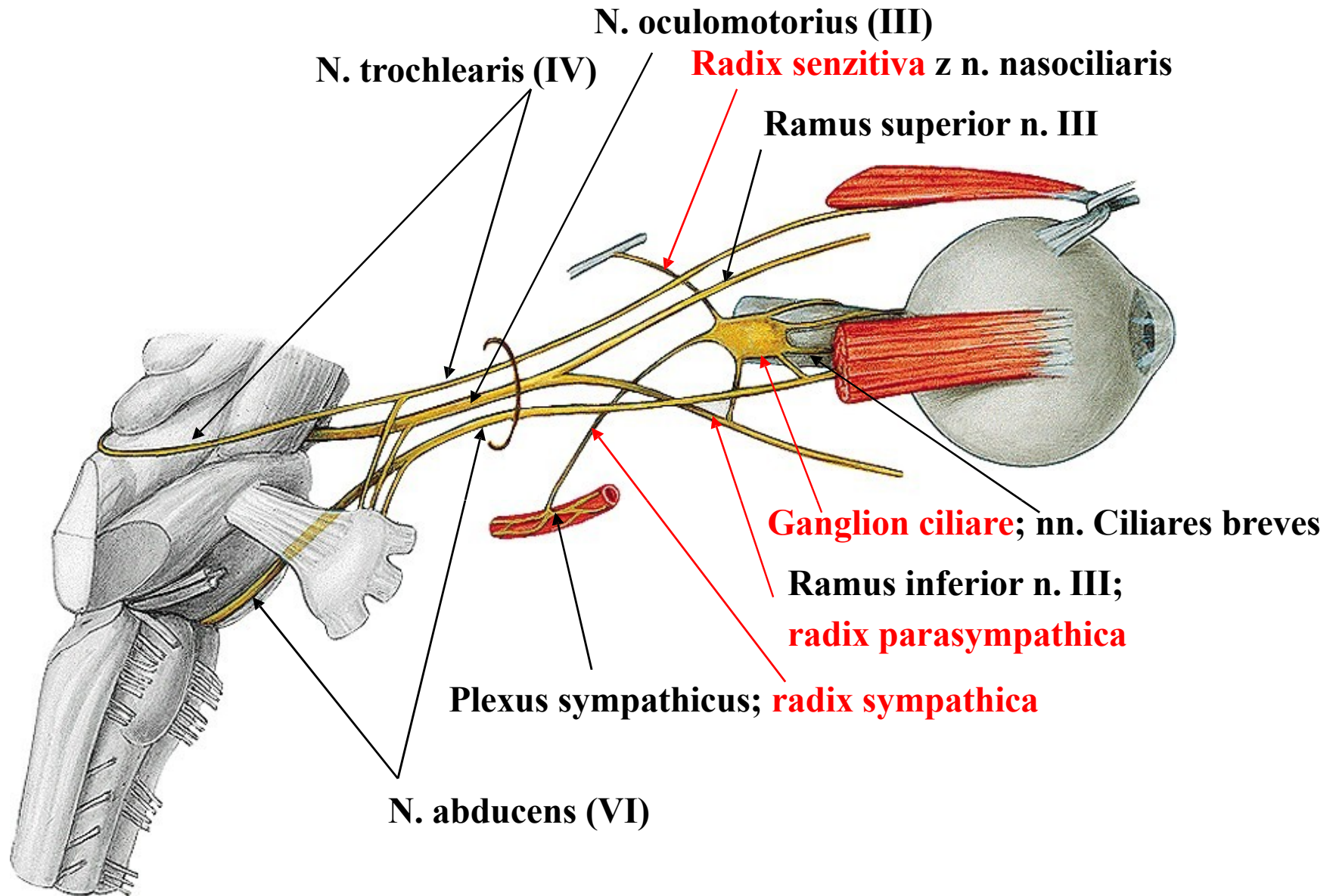
 Nucleus vestibularis
medialis

 Nucleus solitarius

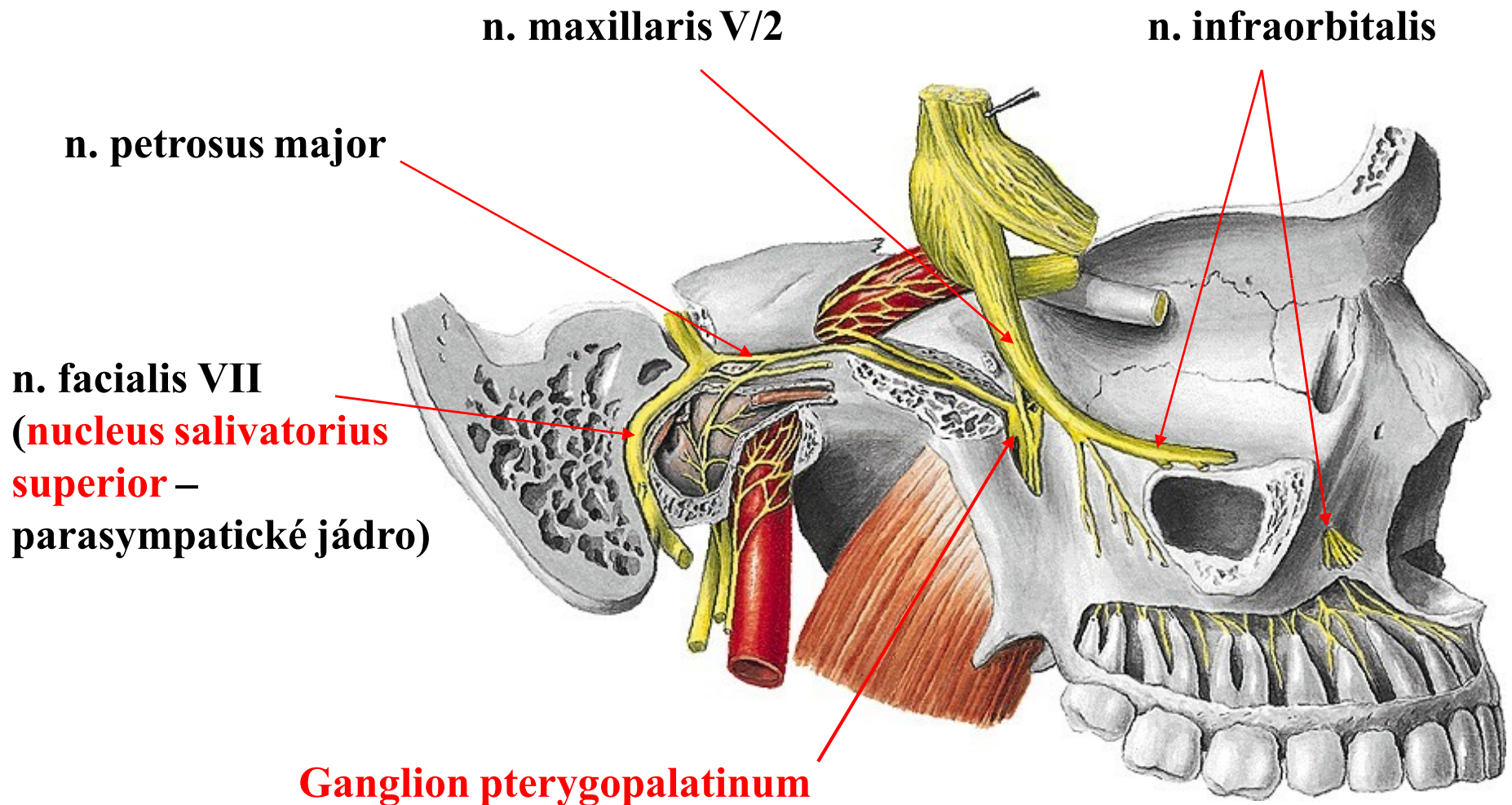
 Nucleus nervi accessorii



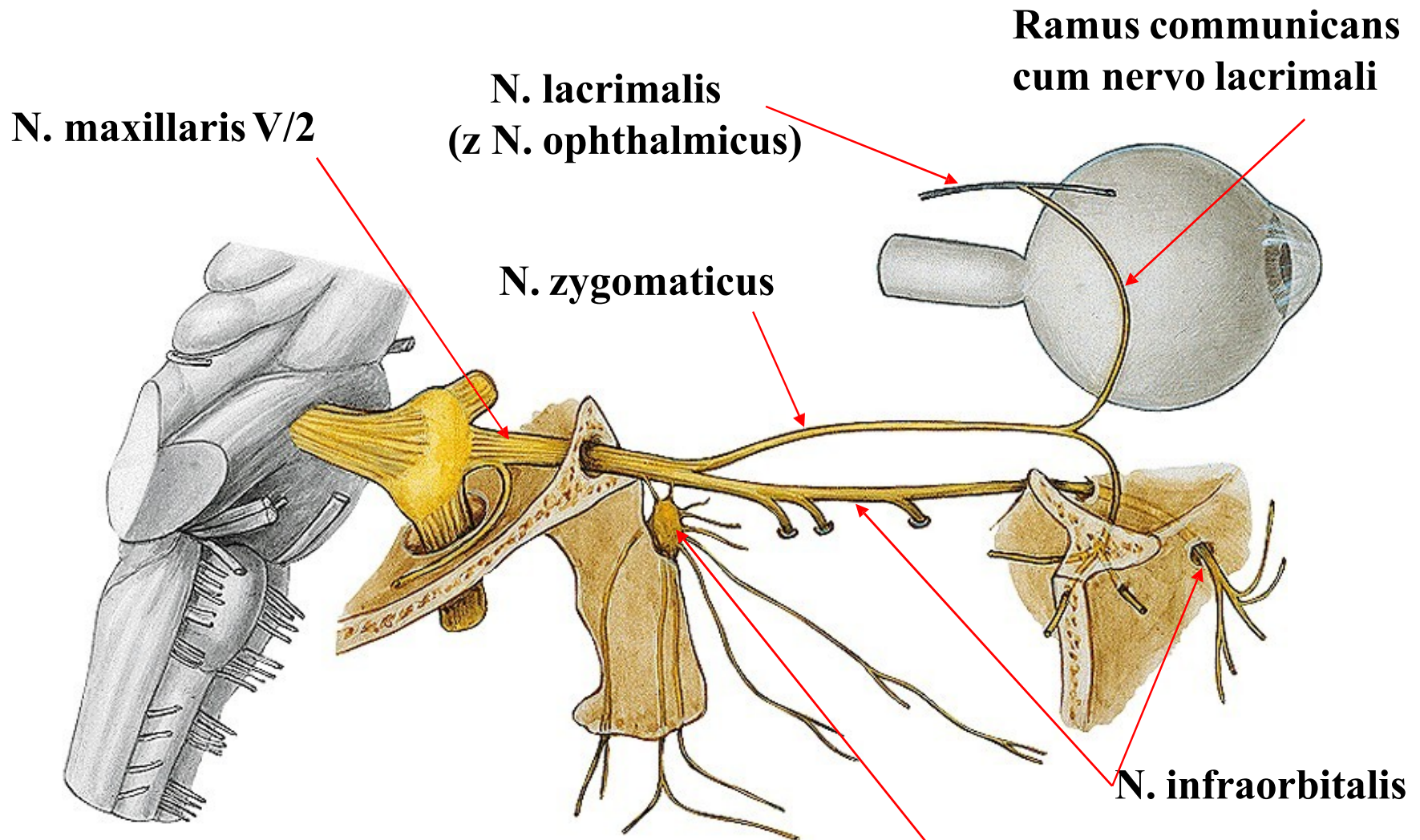




Parasympatická sekretorická vlákna pro slznou žlázu z n. VII



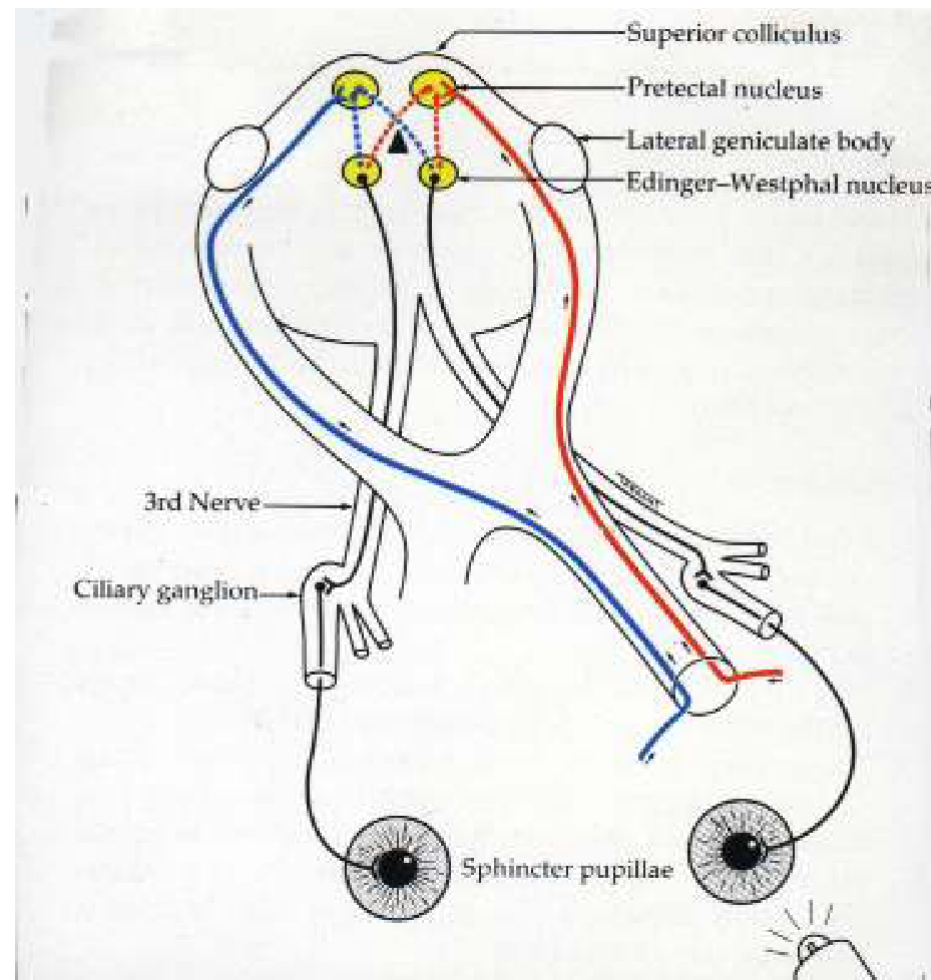
Parasympatická sekretorická vlákna pro slznou žlázu



Ganglion pterygopalatinum přepojení na postganglionární neuron



Zornicové reakce - parasymphatická pupilomotorická vlákna



Autonomní nervový systém oka

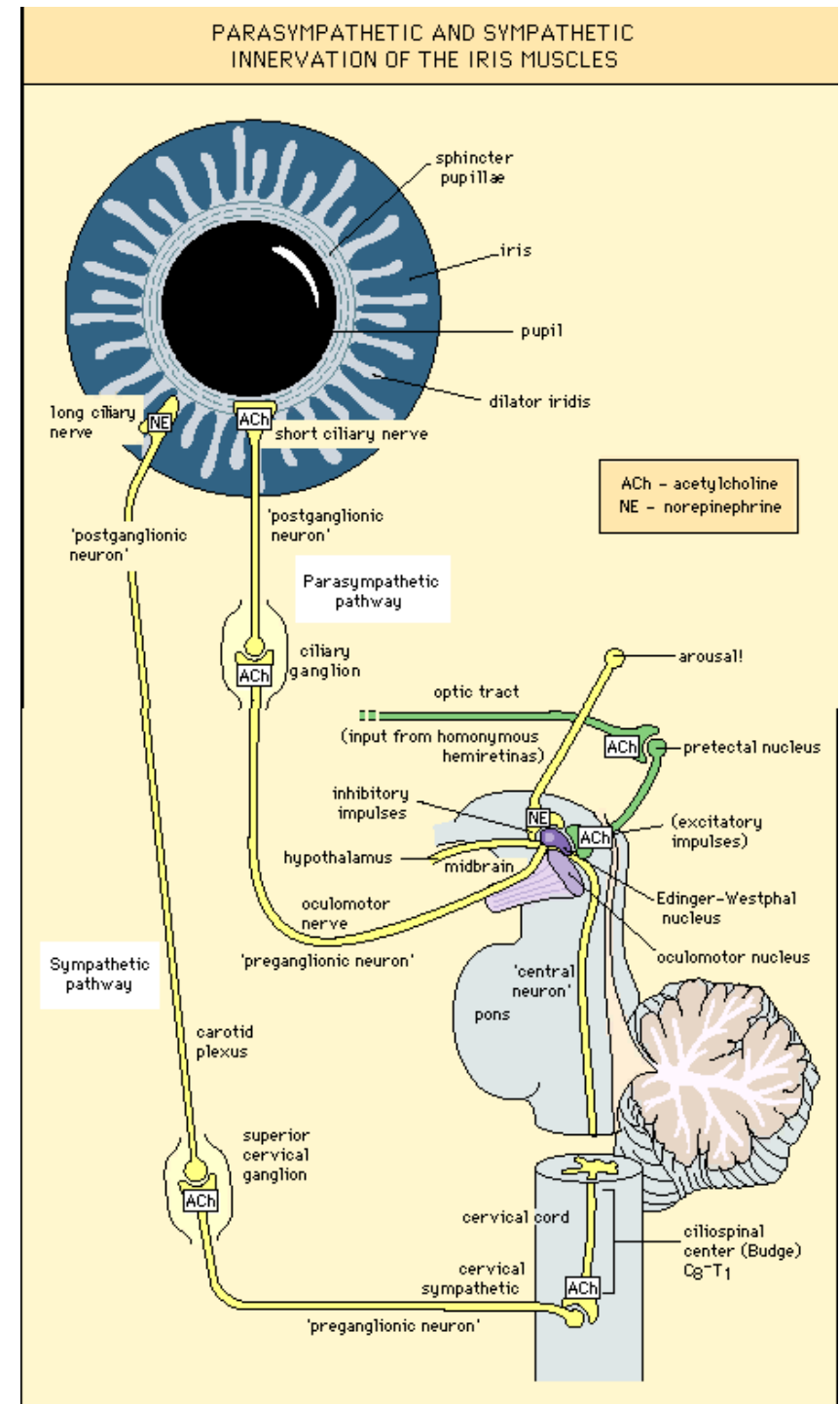
Sympaticus (nikde se nekříží)

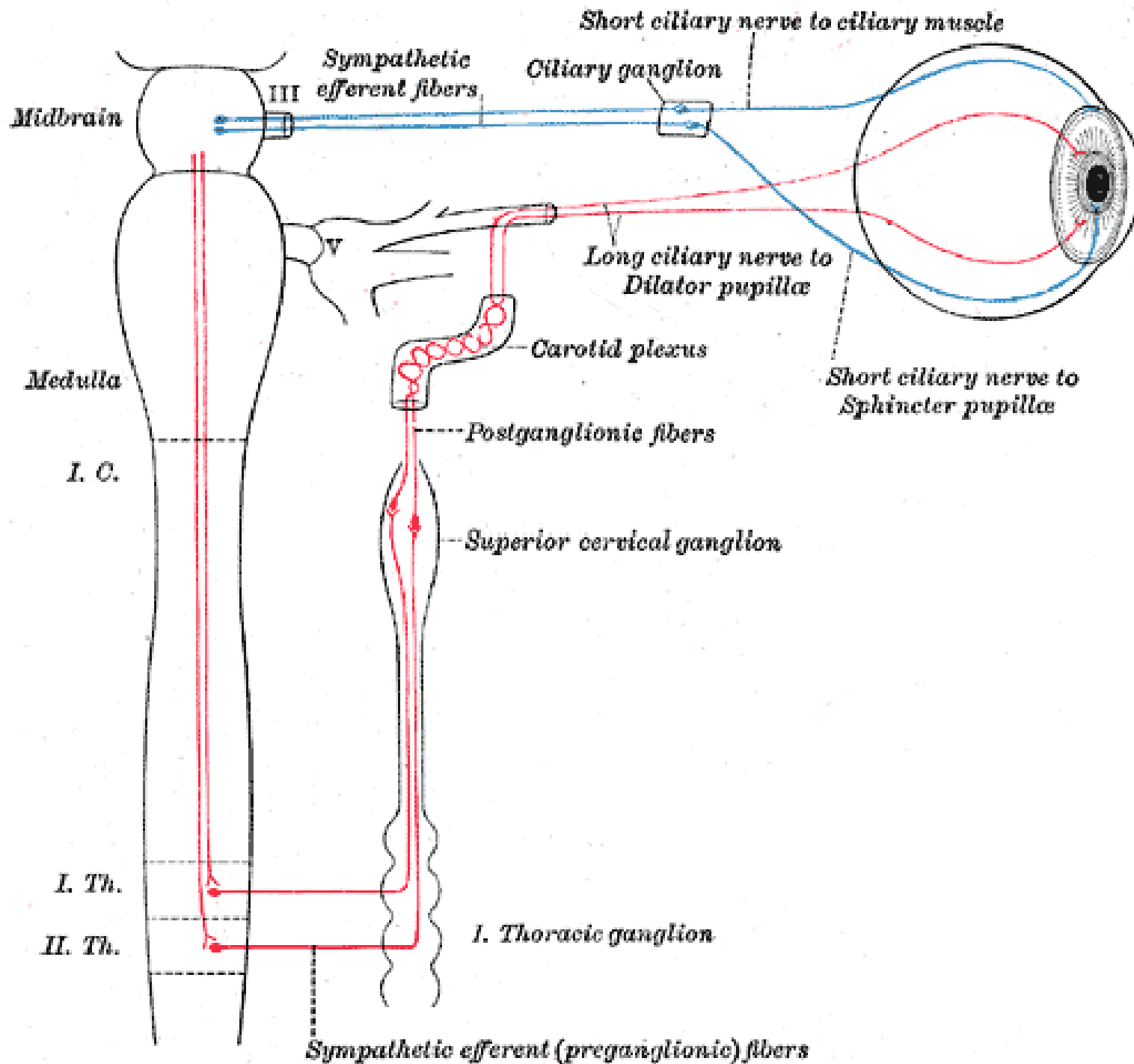
1. Neuron (centrální) začíná v zadním hypothalamu, sestupuje nezkříženě mozkovým kmenem a končí v Budgeho ciliospinálním centru míchy mezi C8 a Th2

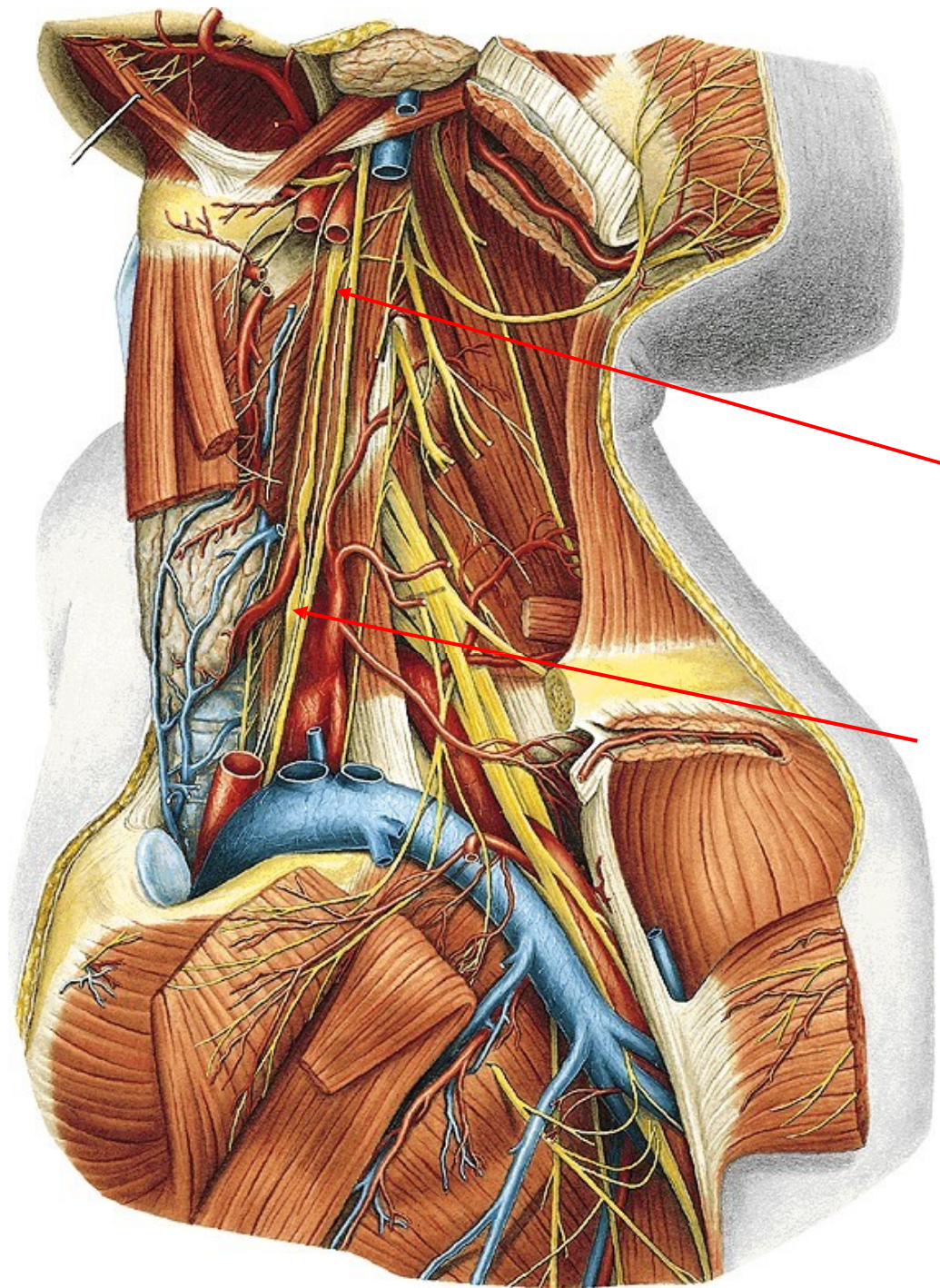
2. Neuron (pregangliový) vystupuje z Budgeova ciliospinálního centra míchy a končí v ganglion cervicale superius krku

3. Neuron (postgangliový) vystupuje podél a. carotis a přidává se k oftalmické větvi n. trigeminus. Cestou n. nasociliaris a nn. ciliares longi dosahuje k dilatátoru zornice a corpus ciliare

Sympatická vlákna přes ganglion ciliare pouze probíhají, nepřepojují se zde!!







Ganglion cervicale superius

Ganglion cervicale medium



Fyziologie sekrece a odtoku slz - slzný systém



Složky slzného systému

- **Sekreční**
 - Hlavní slzná žláza
 - Přídatné slzné žlázy
- **Slzný bazén**
 - Slzy ve fornixech spojivky
 - Slzný film (preokulární, prekorneální)
 - Slzné proužky
- **Exkreční**
 - Odvodné slzné cesty



Funkce slzného filmu

- **Zvlhčování a svlažování rohovky a spojivky** (lubrikační funkce)
- **Odstraňování odumřelých buněk rohovky a bakterií** (čistící funkce)
- **Výživa rohovky a okysličování epitelu rohovky** (výživná funkce)
- **Ochrana oka proti infekci** (lysozym, lactoferrin, Ig, β -lysin, ochranná funkce)
- **Zajištění hladkého povrchu oka \Rightarrow optimalizace refrakce** (optická funkce)



Produkce, distribuce a drenáž slz

- **Produkce slz: $1-2\text{mm}^3/\text{min}$** (při dráždění předního očního segmentu a emočním vzrušení se sekrece zvyšuje až několikasetnásobně)
- **Drenážní kapacita slzných cest :**
 $\sim 50\text{mm}^3/\text{min}$
- Mrkání \Rightarrow na rohovce a bulbu **slzný film - prekorneální, preokulární**
- Odtok slz, absorpce slz (spojivka, slzovod), vypařování slz (10-25% objemu)



Sekreční složka slzného systému

- **Glandula lacrimalis**
 - pars orbitalis
 - pars palpebralis
 - tuboalveolární serózní žláza
 - vývody vyúsťují do fornix conj. superior
 - vodná složka slzného filmu
- **Glandulae accesoriae** (sliznice spojivky)
 - **Krauseho žlázy** sliznice fornixu spojivky
 - **Wolfringovy žlázy** při orbitálním okraji tarsů

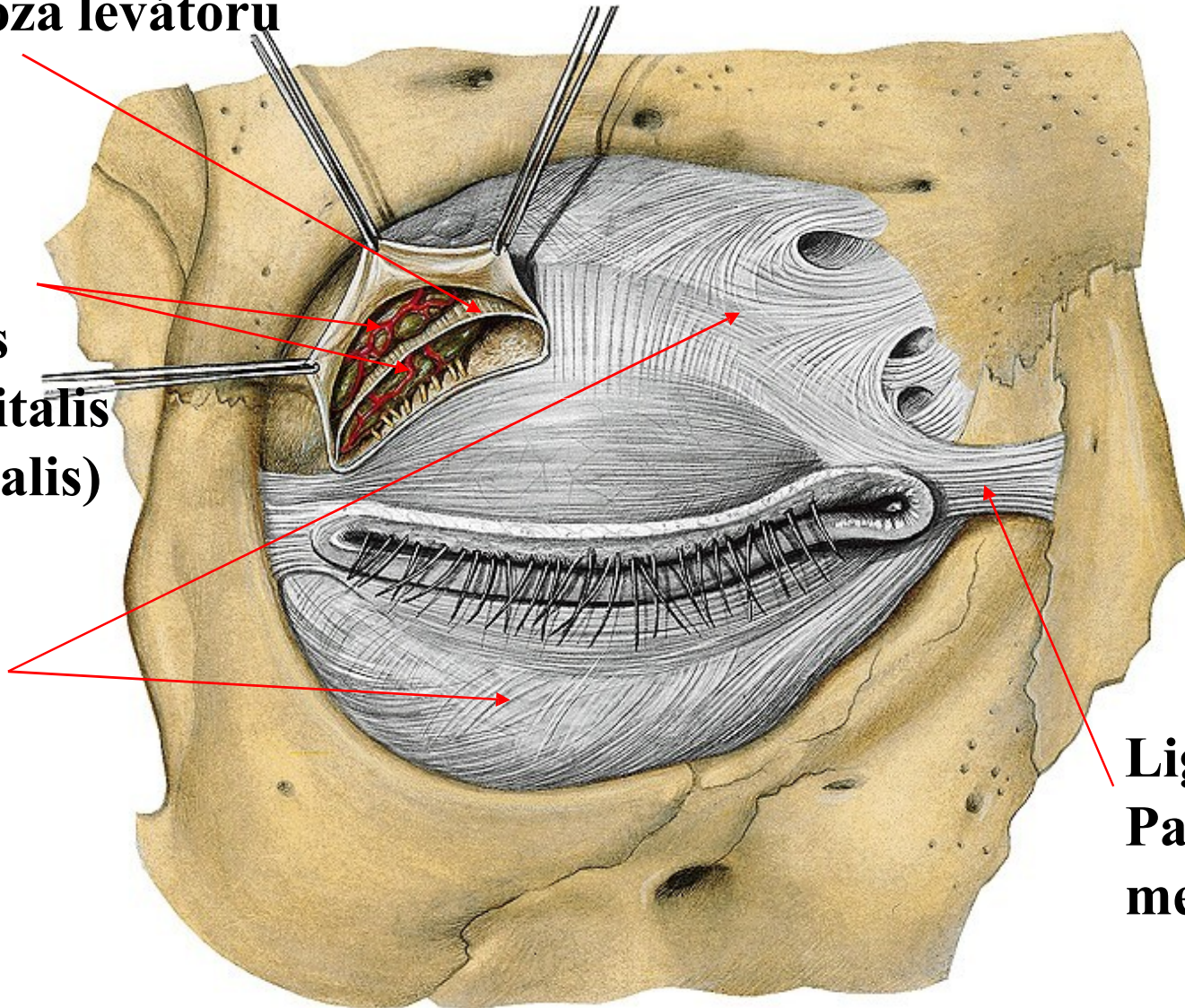


Aponeuroza levátoru

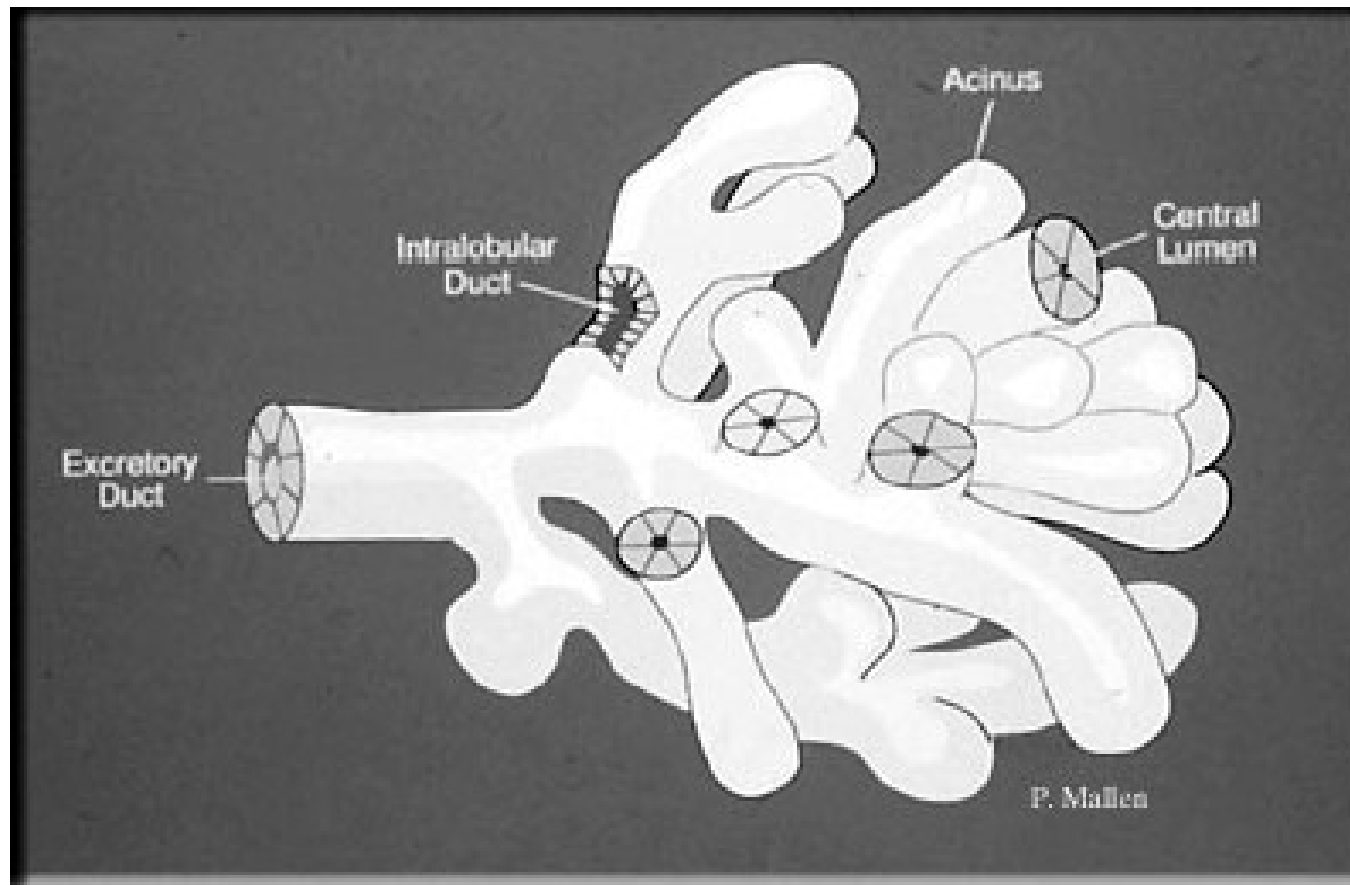
**Glandula
lacrimalis
(pars orbitalis
a palpebralis)**

**Septum
orbitale**

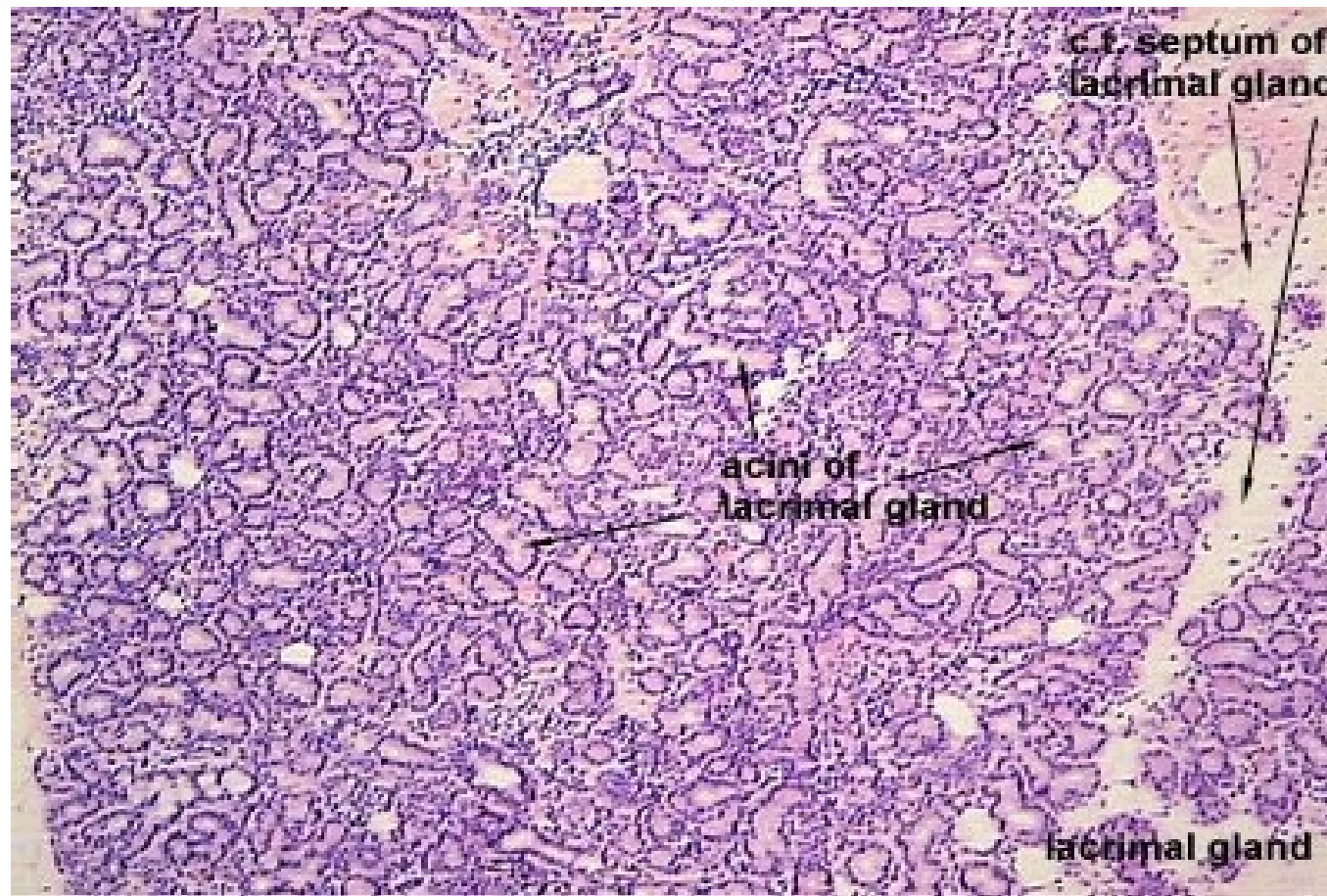
**Ligamentum
Palpebrale
mediale**



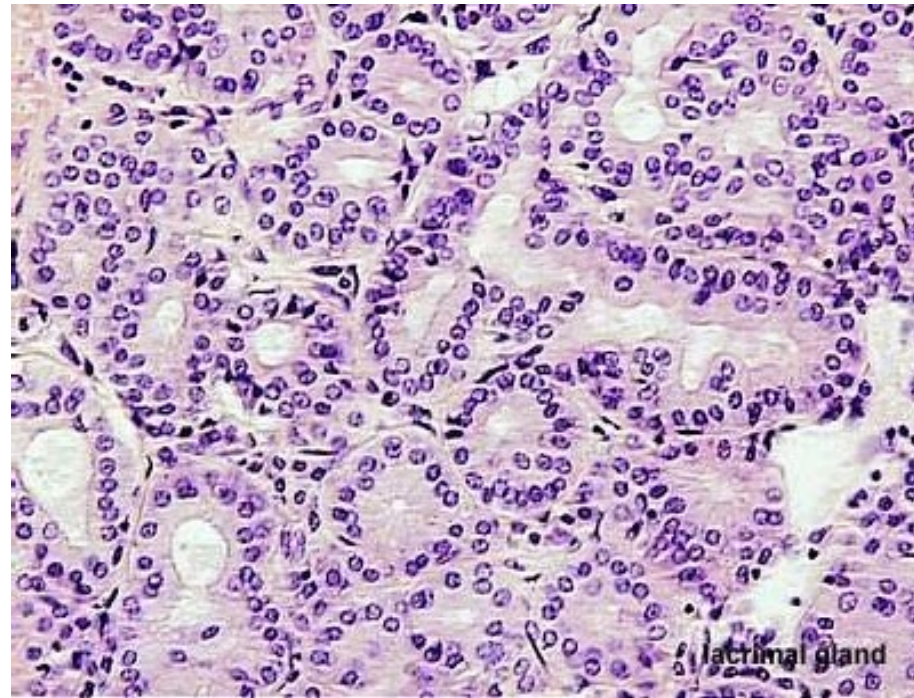
Glandula lacrimalis



Histologický řez slznou žlázou



Histologický řez slznou žlázou *detail*



Sekreční složka slzného systému

- **Glandulae tarsales - Meibomské žlázy**
 - modifikované tukové žlázy (vývodný kanál + 10-15 acinů)
 - uloženy v tarsálních ploténkách
 - vyúsťují na margu víčka (horní tarsus 30-40 žlázek, dolní tarsus 20-30 žlázek)
 - distální část vývodu obklopena svalovými vlákny m. orbicularis oculi (Riolanův sval - stah ⇒ vytlačení tuku ze žlázy)
 - tuková (lipidová) složka slzného filmu

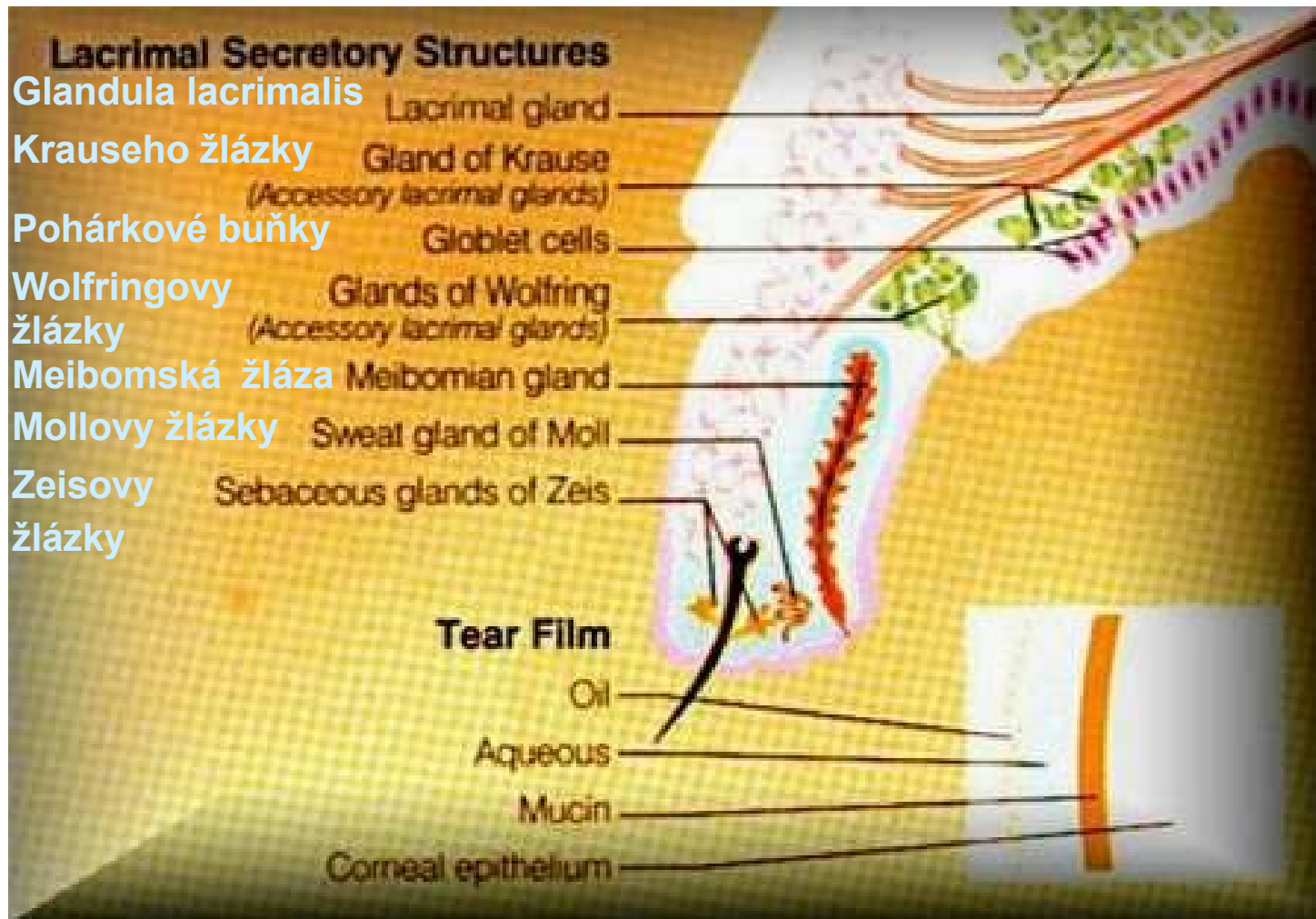


Sekreční složka slzného systému

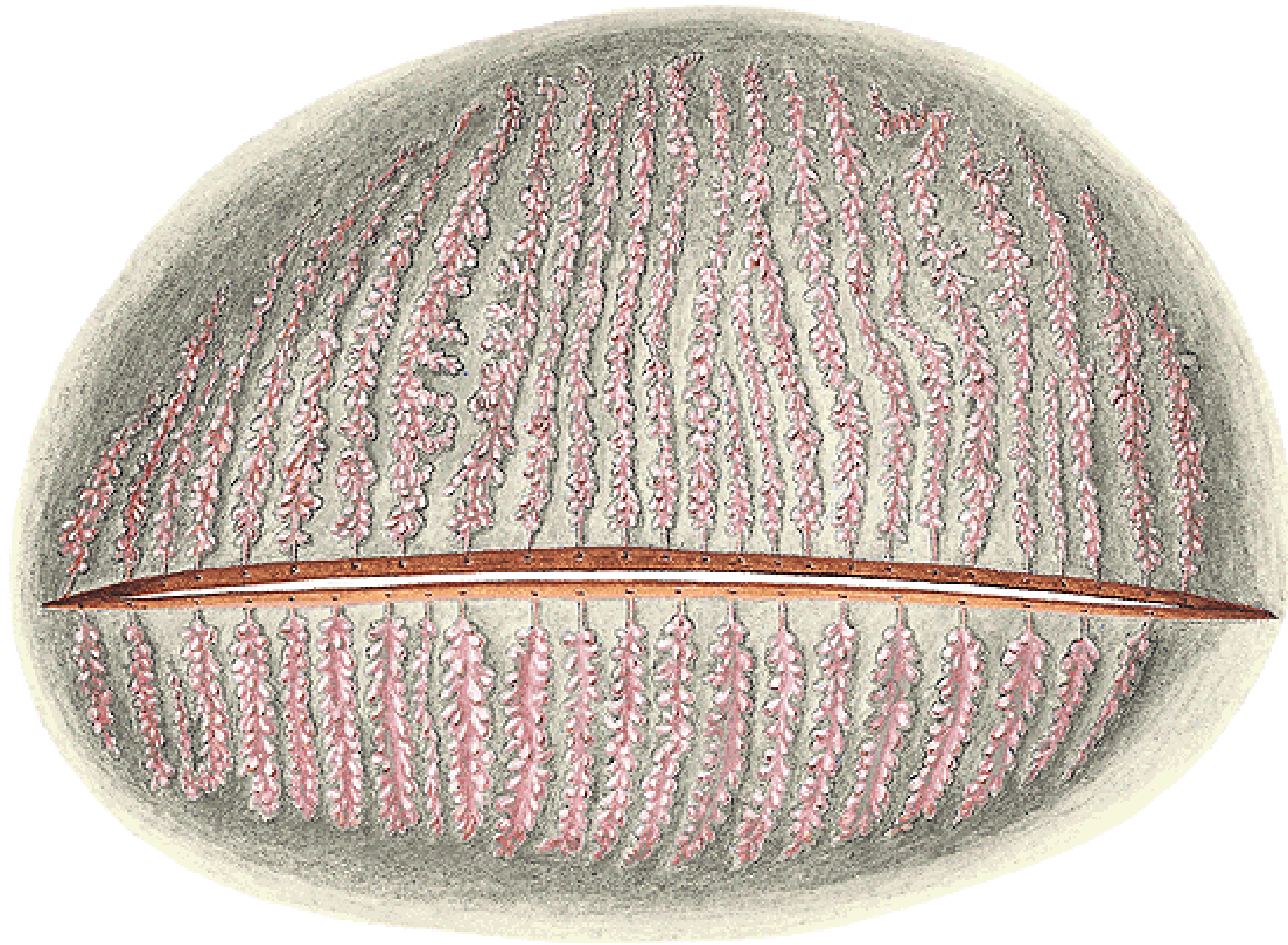
- **Glandulae sebaceae - Zeisovy žlázy**
 - ústí do pochev řas
 - tuková (lipidová) složka slzného filmu
- **Glandulae ciliares - Mollovy žlázy**
 - změněné potní žlázy
 - ústí do folikul řas nebo volně na okraji víček
 - tuková (lipidová) složka slzného filmu



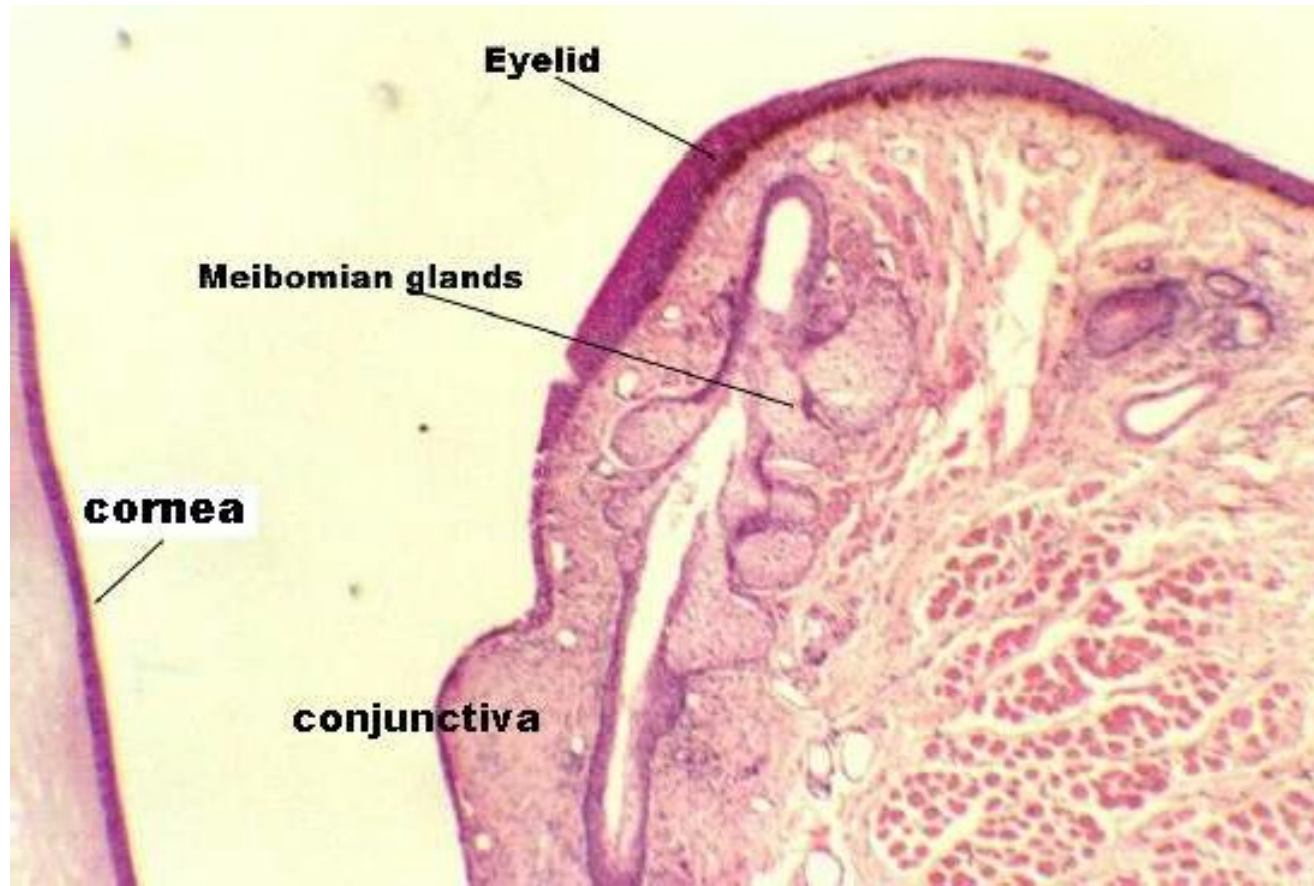
Struktury sekreční složky slzného systému

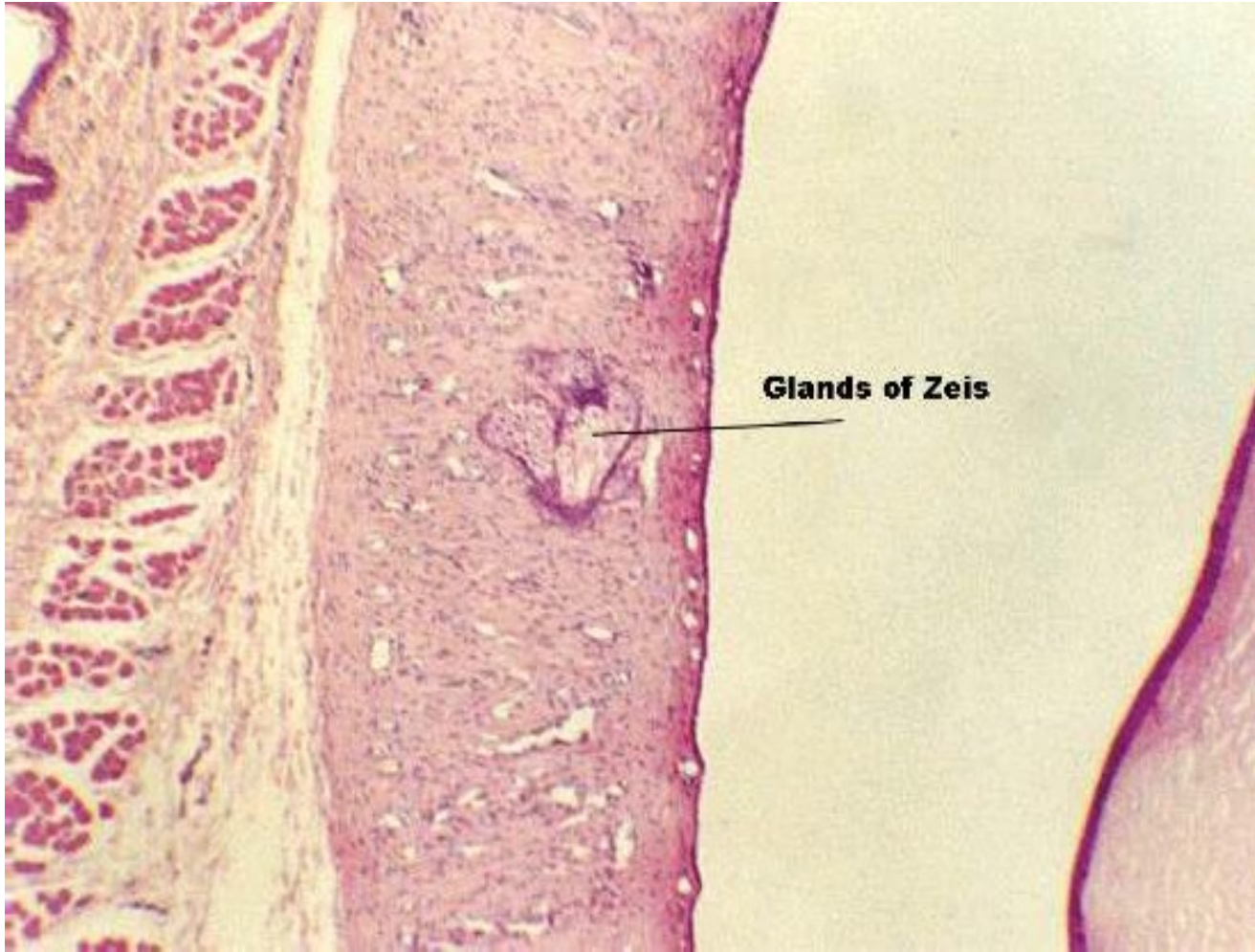


Tarzální žlázy

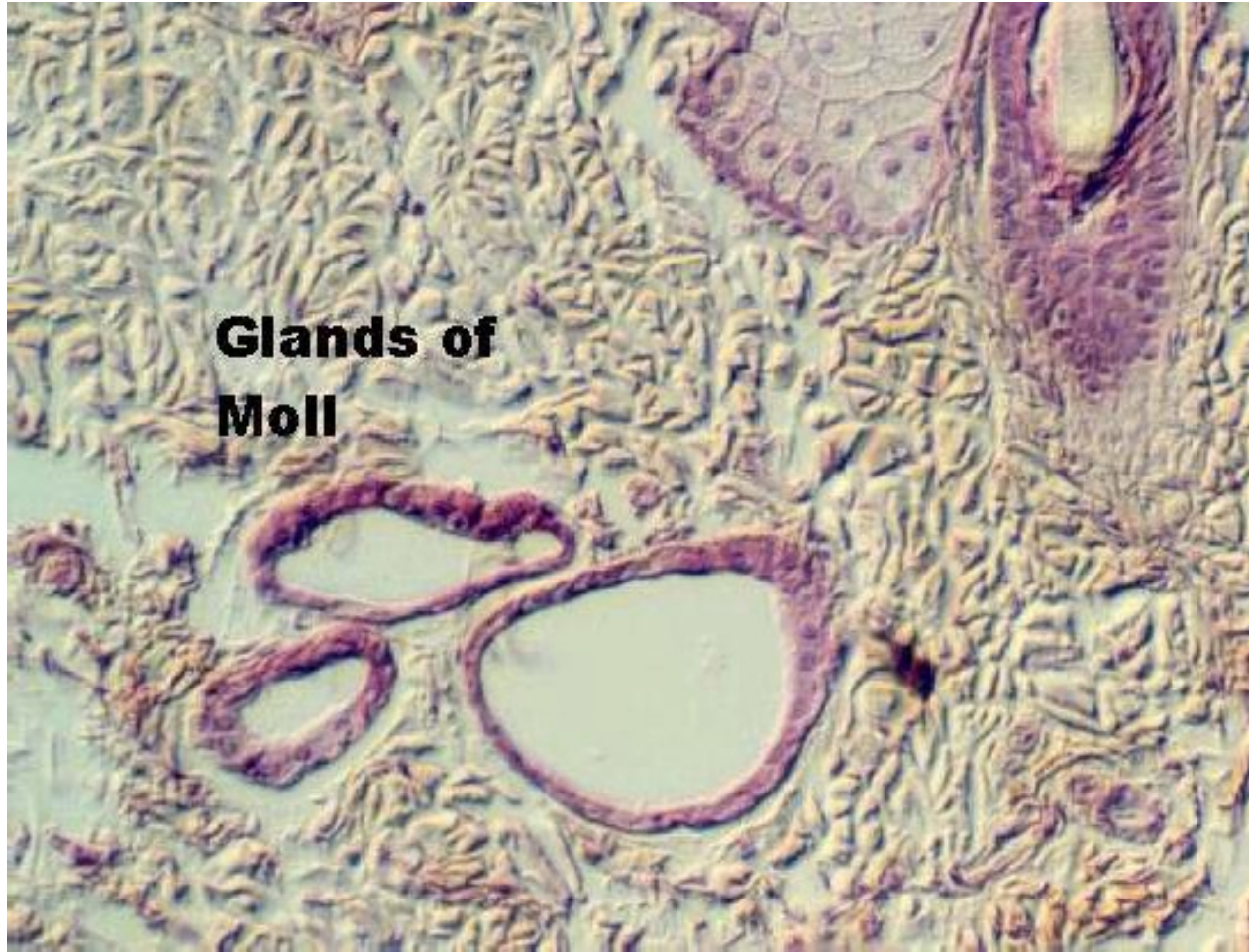


Řez Meibomskou žlázou





**Glands of
Moll**



Sekreční složka slzného systému

- **Pohárkové buňky**

- jednobuněčné žlázy
- uloženy v bulbární spojivce a spojivce víček
- u osob starších 70 let dochází ke snížení jejich počtu
- hlenová (mucinová) složka slzného filmu



Slzný bazén

- **Slzy ve fornixech spojivky**
 - kapacita 3-4mm³
- **Slzný film**
- **Slzné proužky**
 - při mrkání jdou přebytečné slzy (po vytvoření slzného filmu na rohovce) do trojúhelníkovitého okrajového slzného proužku při margu víčka - 2-3mm³

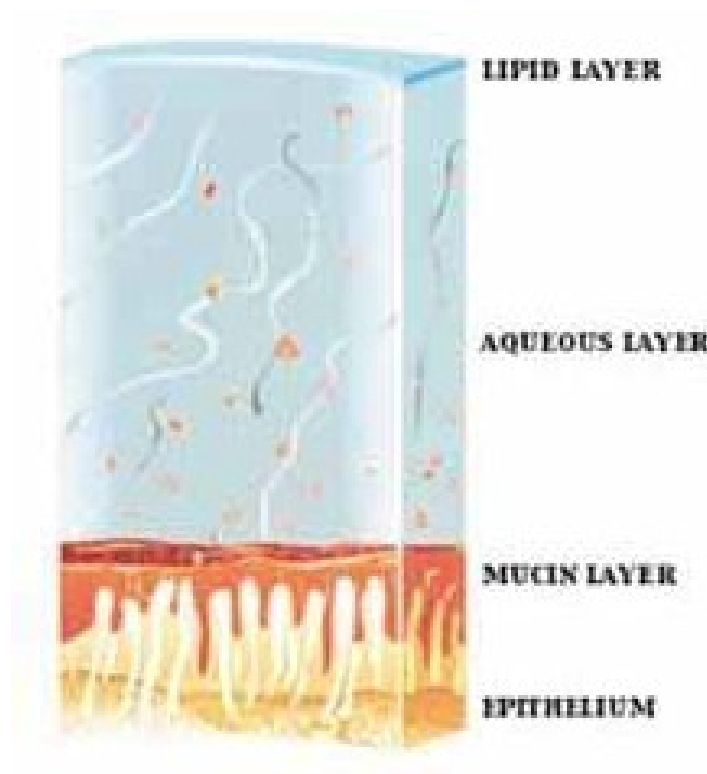


Slzný film

- **Tloušťka slzného filmu - 4,5-8,7 μm**
- **TUKOVÁ VRSTVA - 0,1-0,25 μm**
- **VODNÁ VRSTVA - 4-8,5 μm**
- **HLENOVÁ VRSTVA - 0,02-0,05 μm**



Slzný film



Lipidová (tuková) vrstva

Vodná vrstva

Hlenová (mucinová) vrstva

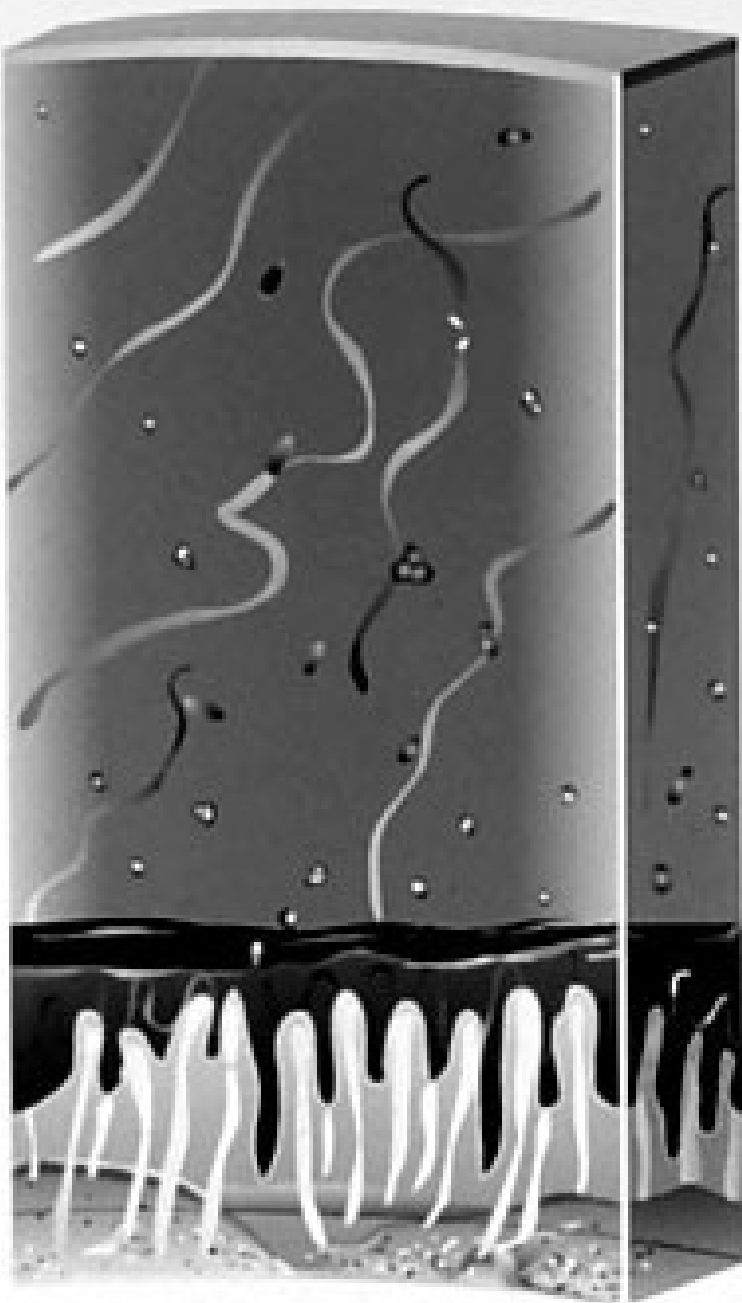
Epitel rohovky



Tuková vrstva slzného filmu

- **Tvořena: Meibomskými, Zeisovými, Mollovými žlázkami**
- **Estery, sterol, triglyceroly, volné mastné kyseliny**
- **Zabraňuje vypařování vodné vrstvy!**
- **↑ povrchové napětí filmu → stabilita slzného filmu, zabraňuje přetékaní slz přes okraj dolního víčka**
- **Zvlhčuje víčka**





Superficial Lipid Layer
- 0.1 - 0.2 microns thick

**Povrchní lipidová
vrstva**

Aqueous Layer
- 7-8 microns thick

Vodná vrstva

Adsorbed Mucin Layer
over 1 micron thick

Hlenová vrstva

Microvilli of epithelium
extend into and stabilize
mucin layer

**Mikroklky epitelu
rohovky-** vybíhají do
hlenové vrstvy a
stabilizují ji



Vodná vrstva slzného filmu

- **Tvořena: slznou žlázou (95%) + Krauseho a Wolfringovy žlázy (5%)**
- **Elektrolyty, minerály, enzymy, bílkoviny (albumin), laktoferin, lysozym, imunoglobuliny (IgA, IgG, IgM), epidermální růstový faktor, cytokiny**
- **Dodává O₂ epitelu rohovky!**
- **Antibakteriální působení (laktoferin, lysozym, betalysin, Ig)**

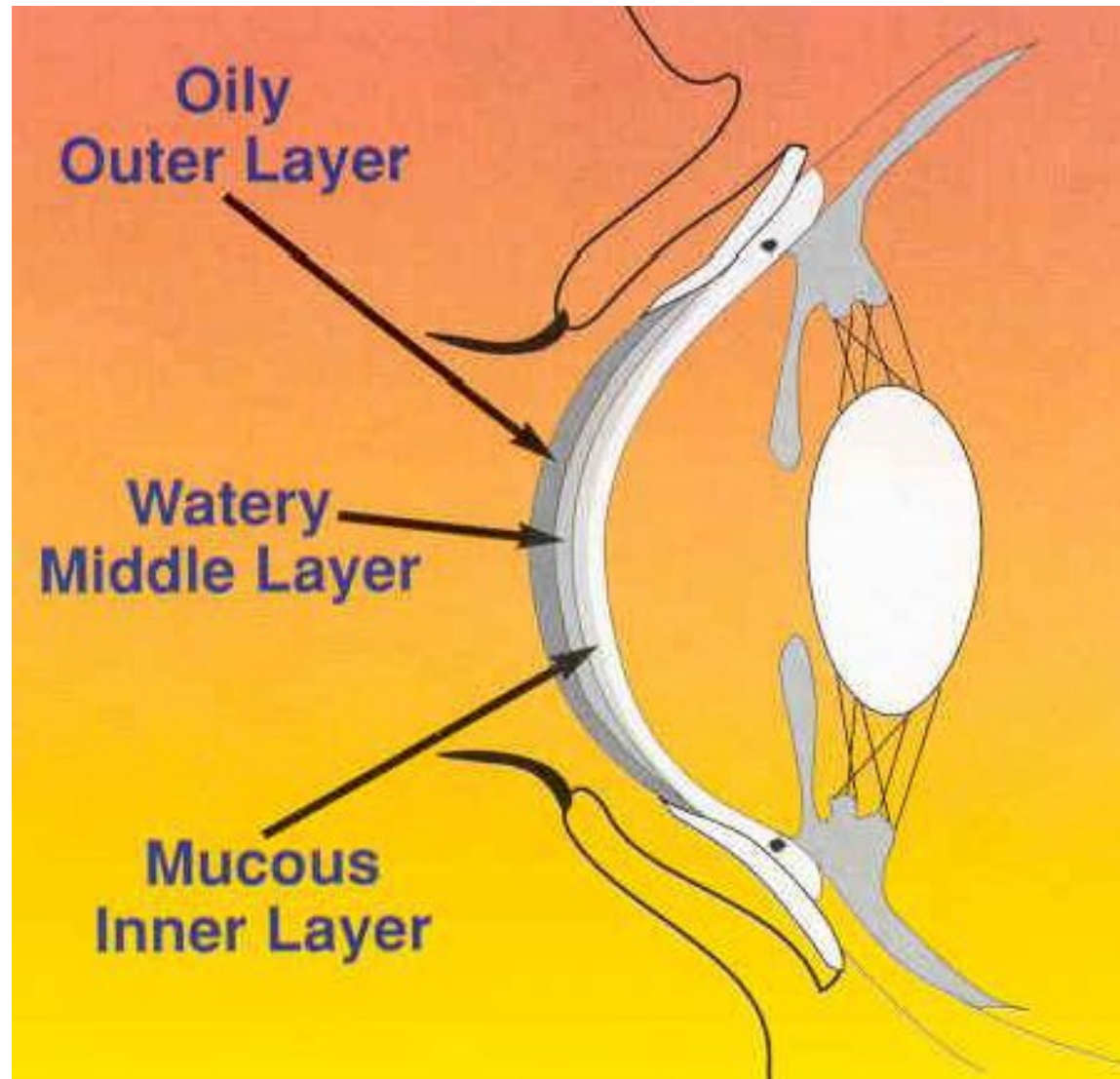


Vodná vrstva slzného filmu

- **Optimálně vyhlazuje povrch rohovky (refrakce)**
- **Odplavuje zbytky odumřelých buněk a bakterií**



Slzný film

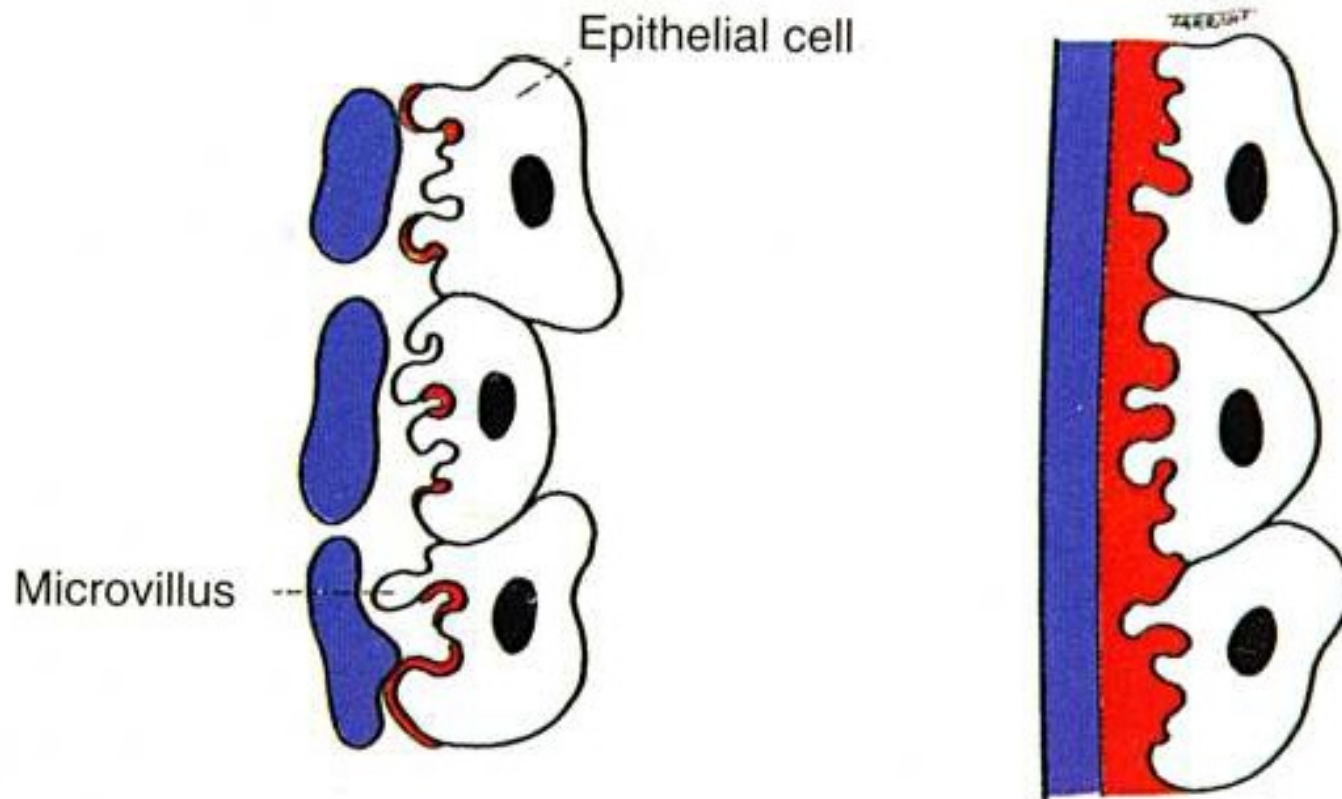


Hlenová vrstva slzného filmu

- Tvořena pohárkovými buňkami spojivky, Henleovými kryptami a Manzovými žlázkami. Nově zjištěná sekrece hleny dlaždicovými bb. epitelu rohovky a spojivky.
- Mucin MUC 1, MUC 5AC
- Upraví hydrofobní povrch epitelu rohovky na hydrofilní → umožní svlažování rohovky vodnou vrstvou
- Intaktní slzný film 15-25 sec (BUT)



Funkce mukózní vrstvy slzného filmu



Deficit hlenové vrstvy

Fyziologický stav



„Současný“ model slzného filmu

- Nejde o 3 přesně oddělené vrstvy
- Muciny jsou zastoupeny v celé tloušťce slzného filmu
- *Mucinové molekuly vytvářejí v slzném filmu gradient*
- Model lipidové vrstvy a vrstvy vodné fáze s difundovaným mucinem v různé koncentraci



Slzy

- pH 7,3 - 7,7 ; 99% voda
- **Bazální sekrece slz:** je klidová konstantní sekrece na níž se podílejí akcesorní slzné žlázy i hlavní slzná žláza jako jeden celek
- **Reflexní sekrece:** je zajišťována hlavní slznou žlázou drážděním n.V nebo emoční excitací či silným osvětlením sítnice.



Slzy

- **Spánek - pouze bazální sekrece**
- **Novorozenci nemají ještě vyvinutu reflexní sekreci**
- **Při stimulaci se produkce slz může zvýšit několikasetnásobně**
- **Po 40. roce ↓ kvantity i kvality slz a dysfunkce slzných pump**



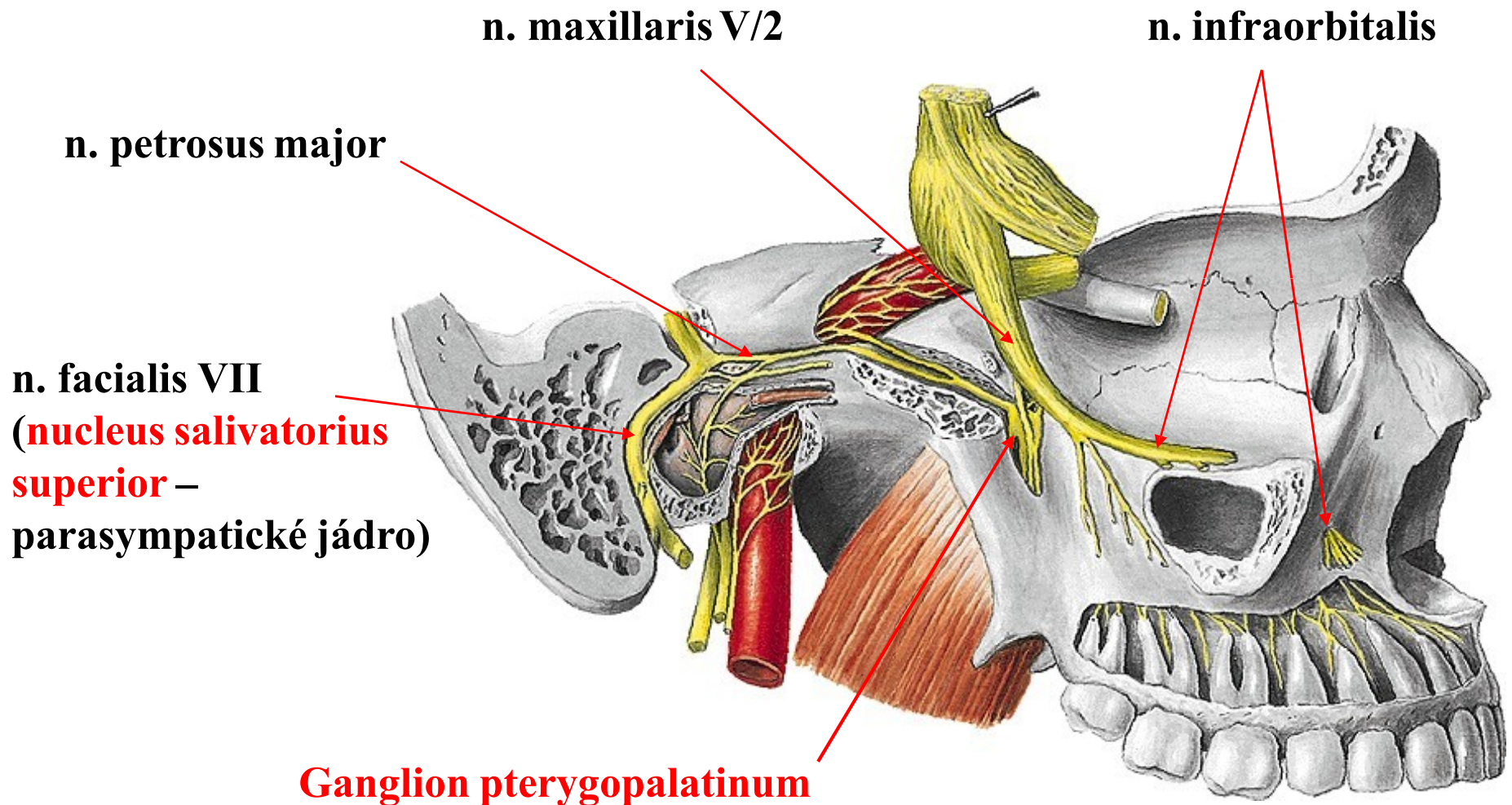
Řízení sekrece slzy

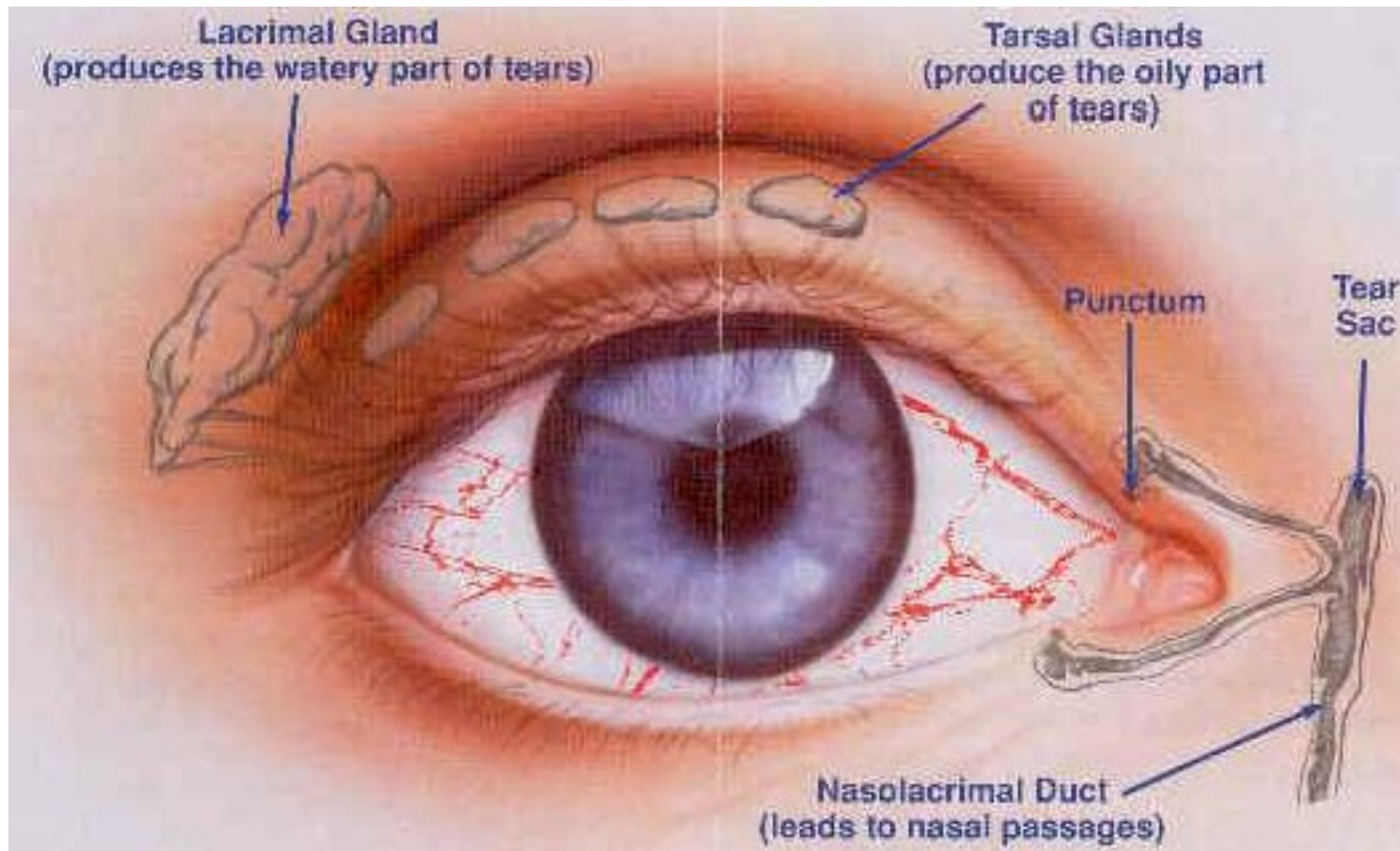
- **Reflexní oblouk**

- **Aferentní složka:** stimulace n. V (podráždění rohovky), stimulace sítnice (jasné světlo), centrální řízení (emoce)
- **Eferentní složka:** parasympatické jádro n.VII (pons Varoli), ggl. Pterygopalatinum



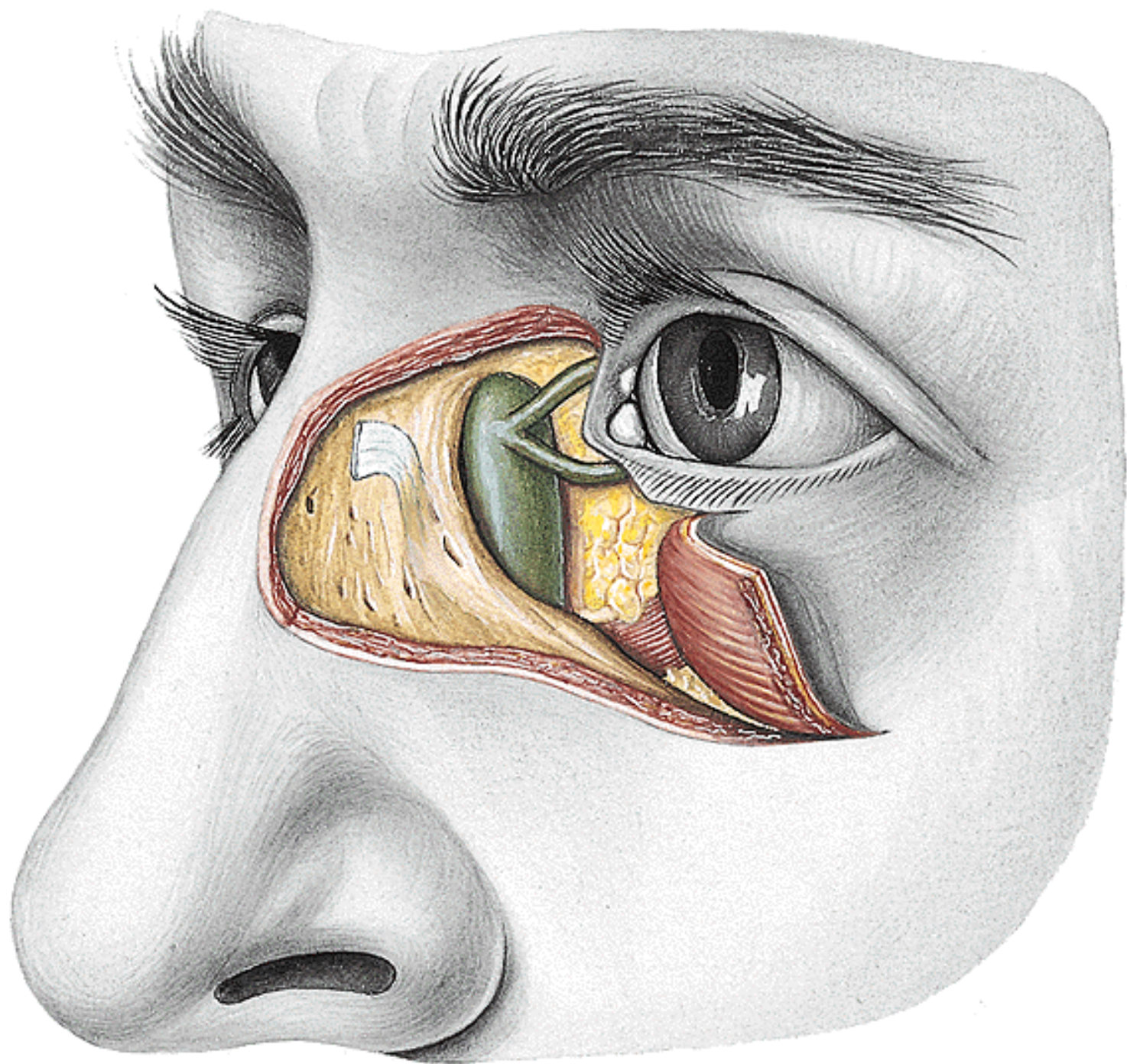
Parasympatická sekretorická vlákna pro slznou žlázu z n. VII

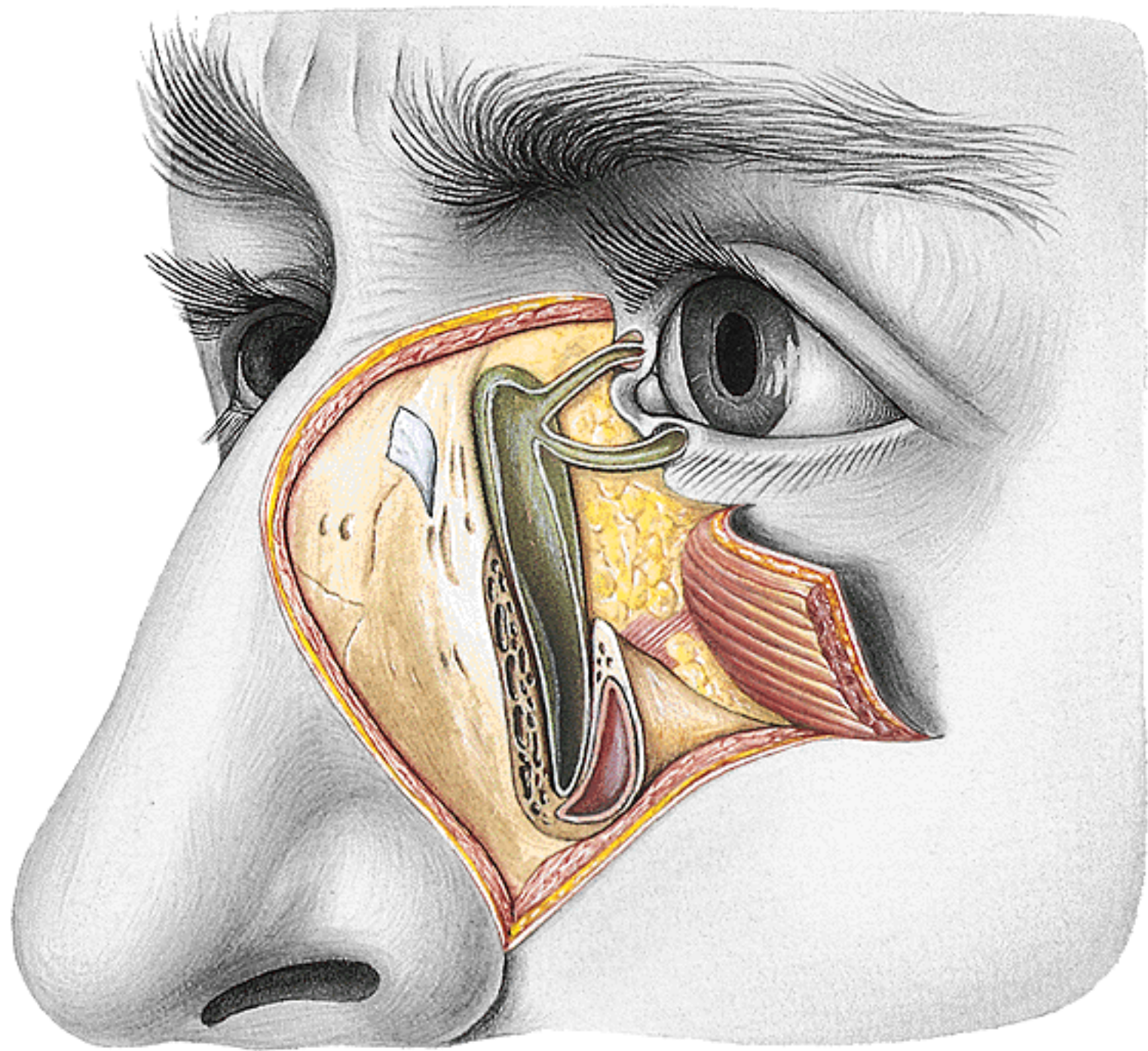


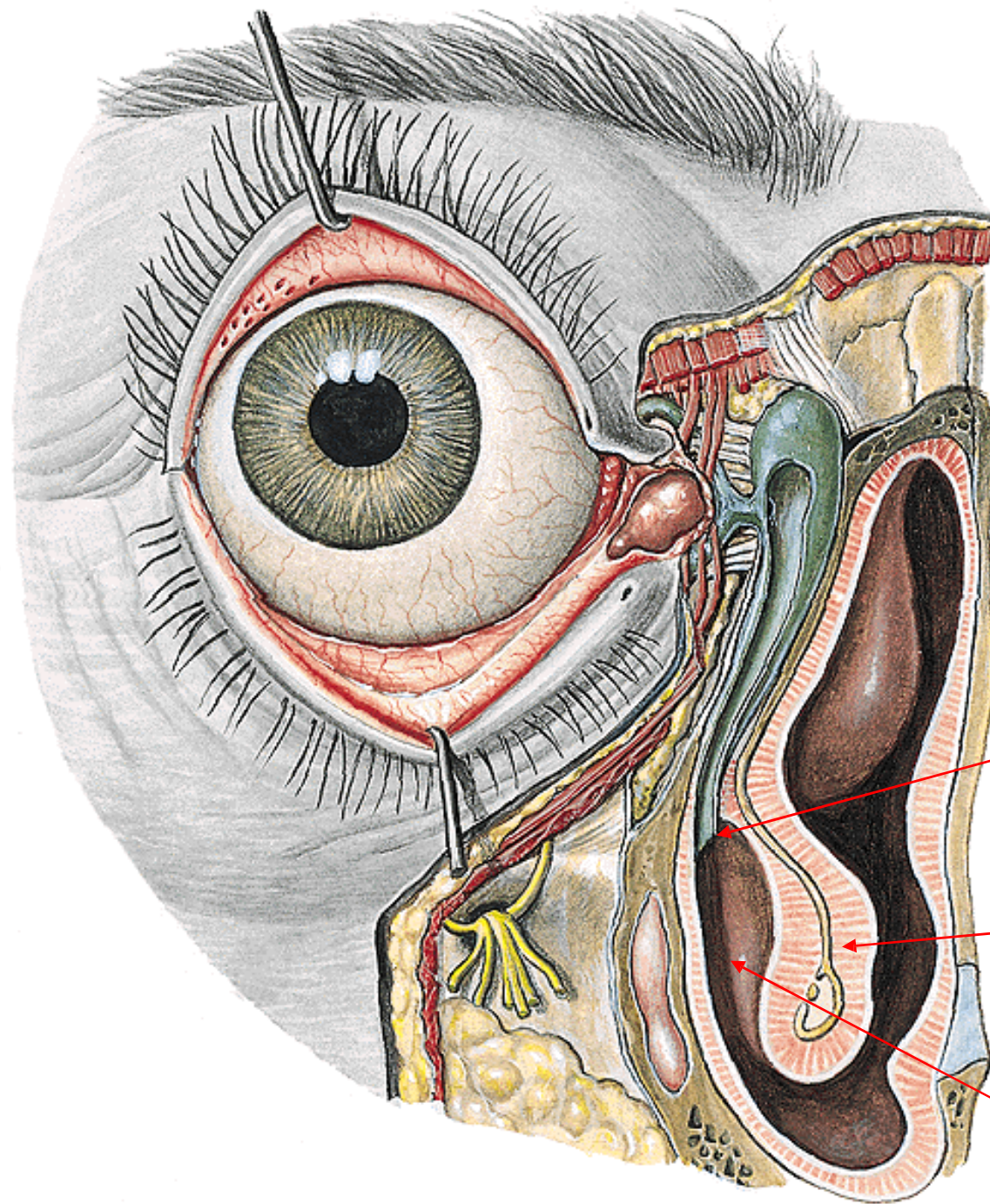


Odvodný slzný systém









**Plica
lacrimalis**

**Concha nasi
inferior**

**Meatus nasi
inferior**

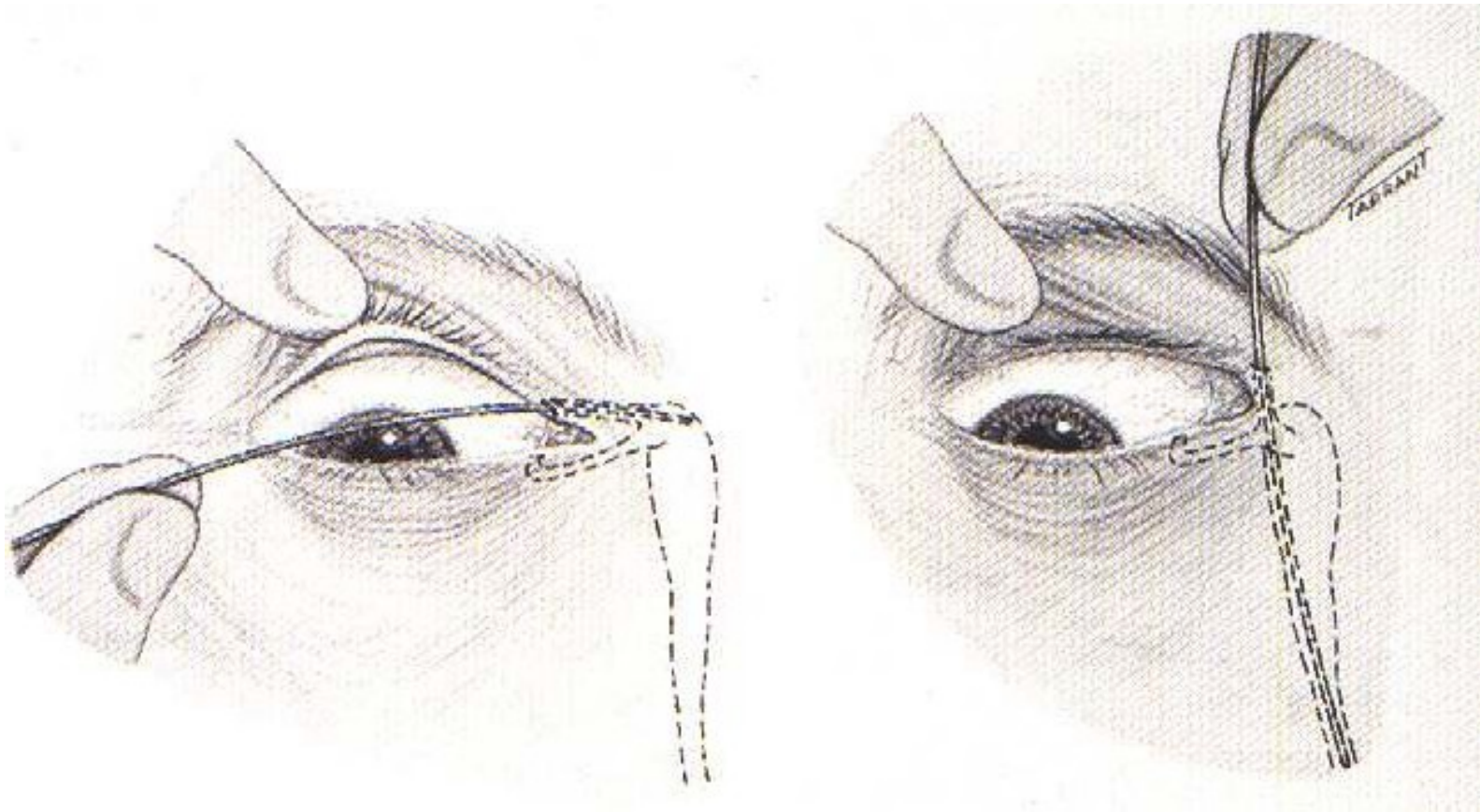


Slzná pumpa

- **Aktivní složka - činnost m. orbicularis oculi** - podtlak v slzných cestách při pohybu víček → nasávání slz (palpebrální pumpa, ampulokanalikulární pumpa, sakální pumpa)
- **Pasivní složka**
 - **chloupně** (Hasnerova, zabránění zpětnému toku slz)
 - **absorpce**
 - **gravitace; kapilarita**
 - **Bernoulliho princip**



Sondáž slzných cest



Fyziologie víceč



Fyziologie víček

- **Anatomie:**

- septum orbitale

- tarsus

- ligamentum palpebrale laterale et mediale

- m. orbicularis oculi

- m. levator palp. sup.

- m. tarsalis Mülleri

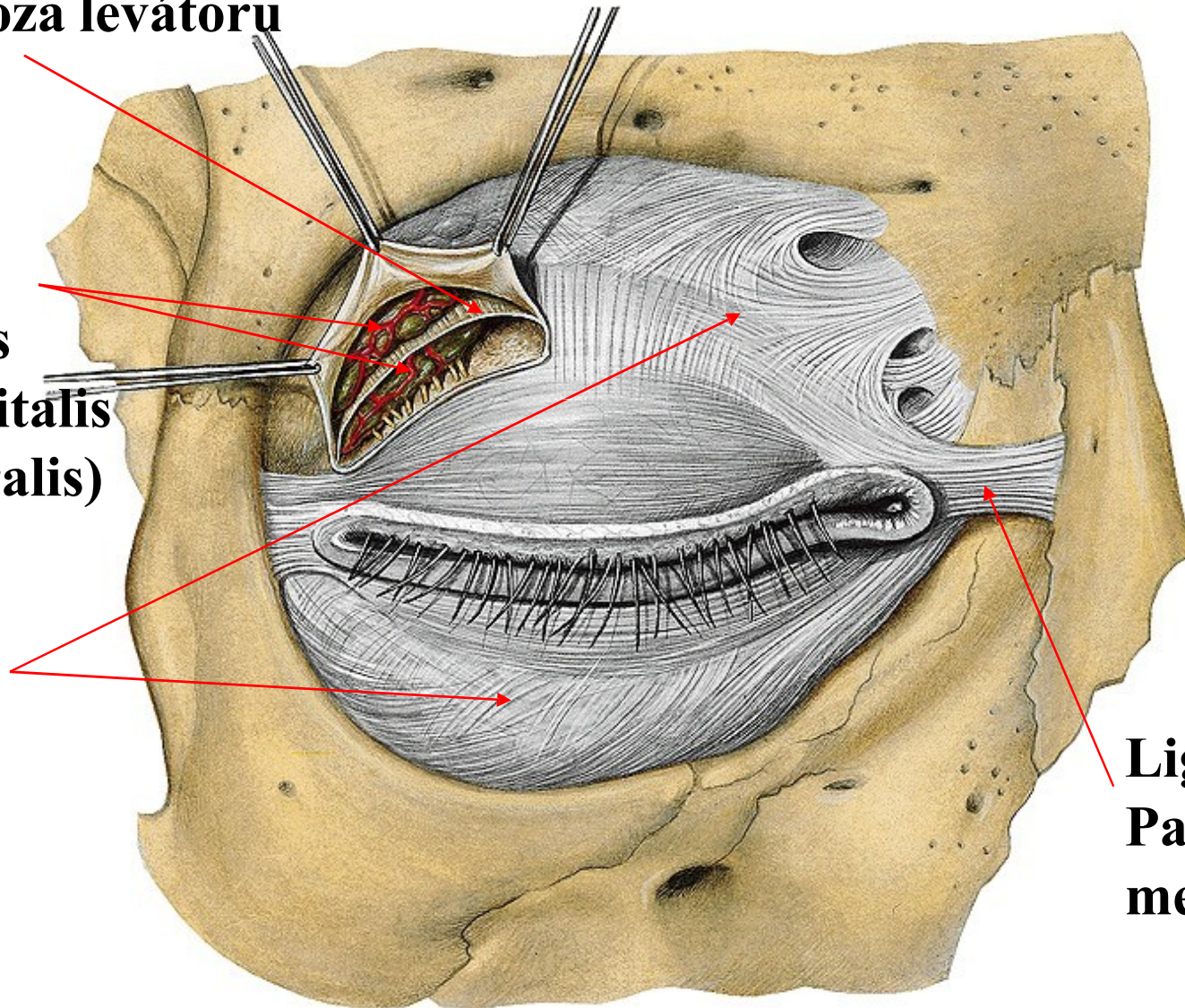


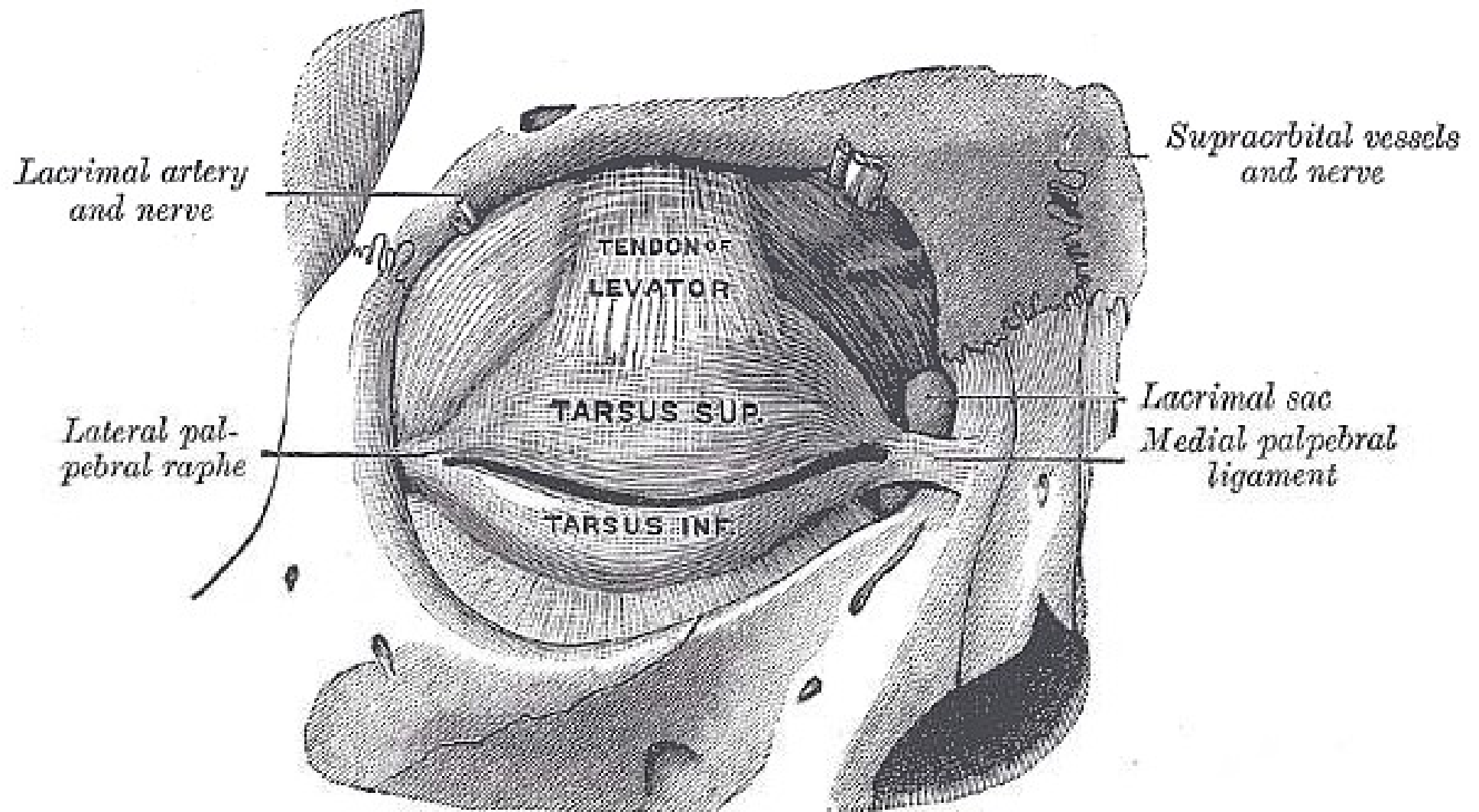
Aponeuroza levátoru

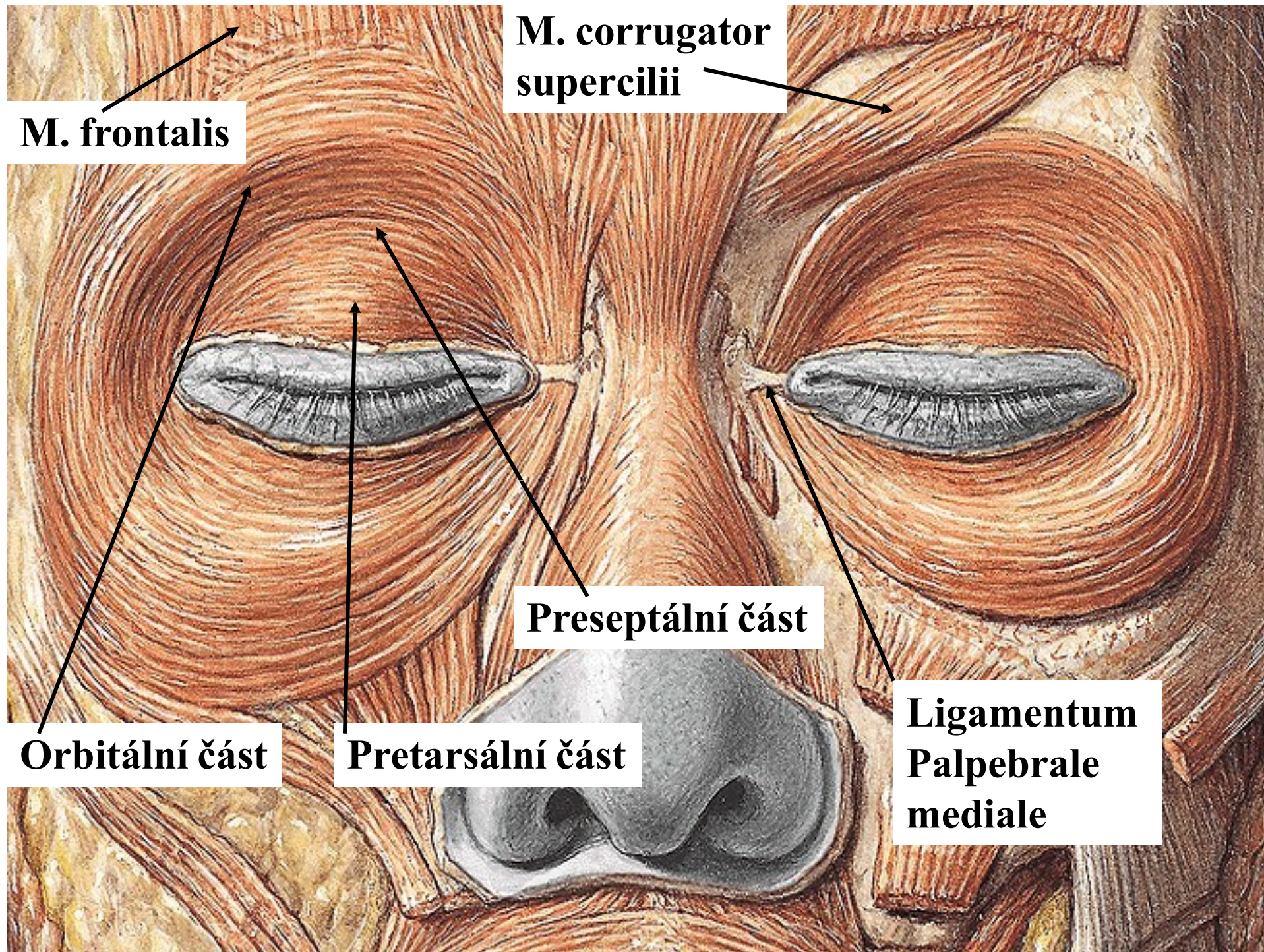
**Glandula
lacrimalis
(pars orbitalis
a palpebralis)**

**Septum
orbitale**

**Ligamentum
Palpebrale
mediale**







M. frontalis

**M. corrugator
supercilii**

Orbitální část

Preseptální část

Pretarsální část

**Ligamentum
Palpebrale
mediale**



M. levator palpebrae superioris

Glandula lacrimalis

Ligamentum palpebrale laterale

Corpus adiposum orbitae

Tarsus

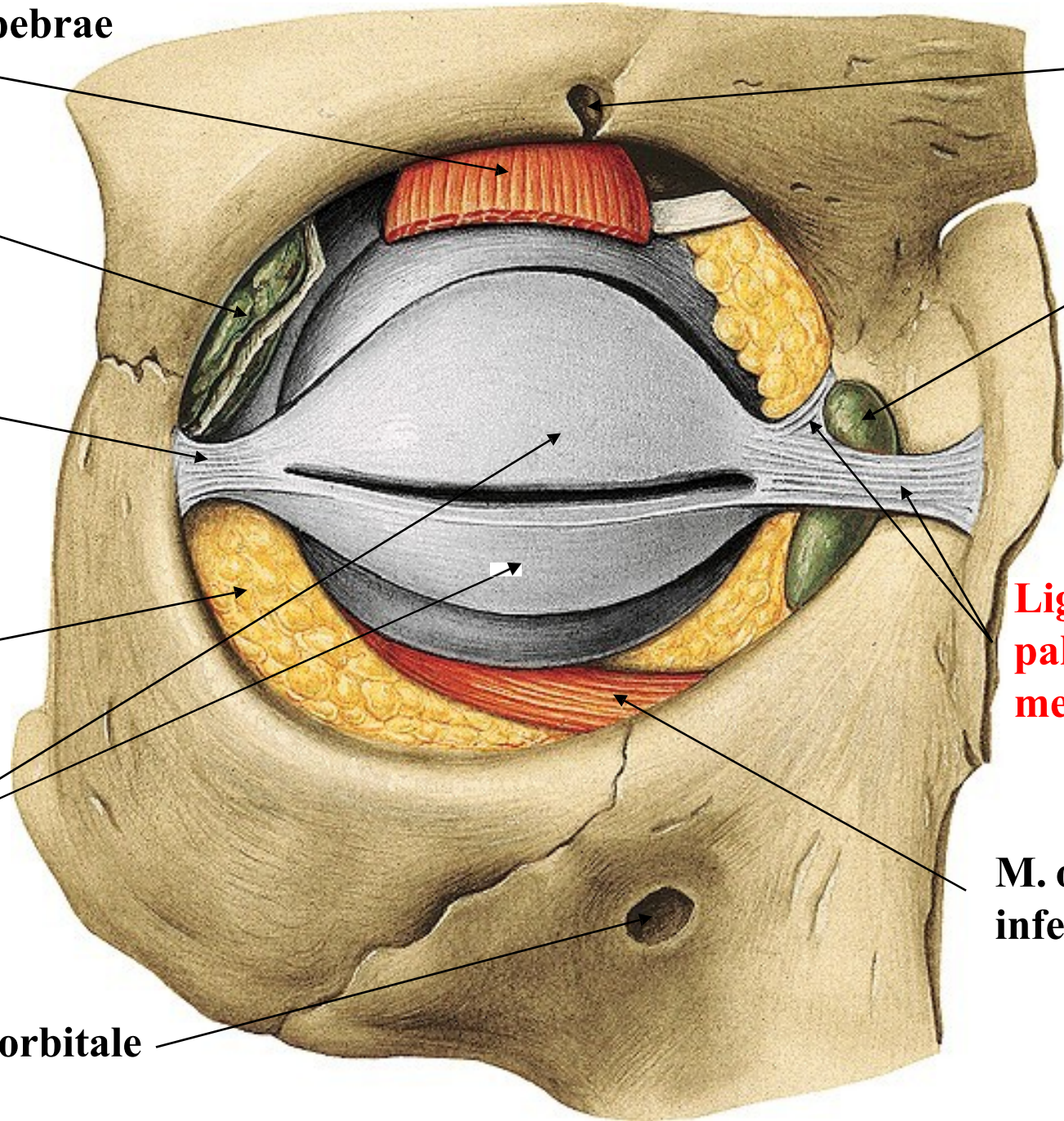
Foramen infraorbitale

Incisura supra-orbitalis

Saccus lacrimalis

Ligamentum palpebrale mediale

M. obliquus inferior



Funkce víček

- **Mechanická ochrana** očního bulbu před úrazy (reflektorické sevření)
- Mrkáním dochází ke **svlažování rohovky a spojivky slzami a roztírání slzného filmu** (rohovka se svlažuje při otevírání víček, kdy se slzy natahují na rohovku ze slzných proužků)
- **Podílí se na aktivní složce slzné pumpy** (drenáž; eliminace slz slznými cestami) - činnost zejména m. orbicularis oculi



Cévní zásobení spojivky

- **Palpebrální spojivka:** konečné větve a. ophthalmica a a. facialis
- **Bulbární spojivka:** větve aa. ciliares anteriores (z a. ophthalmica)
- **Venózní krev** odchází do venózního plexu episkléry
- **Lymfatická drenáž** jde do submandibulárních a preaurikulárních uzlin

