

# Mikroskopická stavba smyslových orgánů

Aleš Hampl

Listopad 2022

# Smyslový systém

Slouží k zachycování různých typů podnětů působících na organismus z vnějšku i zevnitř.

## Senzitivní nervová zakončení

(Struktury s jednoduchou stavbou)

- Jednoduchá senzitivní zakončení
- Intraepitelová senzitivní zakončení
- Senzitivní tělíška

## Složité čidla

- Orgán zraku - **Oko**
- Orgán sluchu a rovnováhy - **Ucho**

# Orgán zraku - Oko

Analyzuje formu, intenzitu a barvu světla odraženou objekty

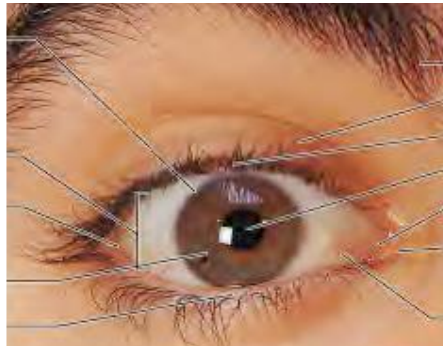
## Oční koule

(s trojvrstvou strukturou)

- tunica externa = fibrosa
- tunica media = vasculosa
- tunica interna = nervosa

## Přídavné struktury oka

- víčko,
- spojivka
- slzný aparát
- okohybné svaly



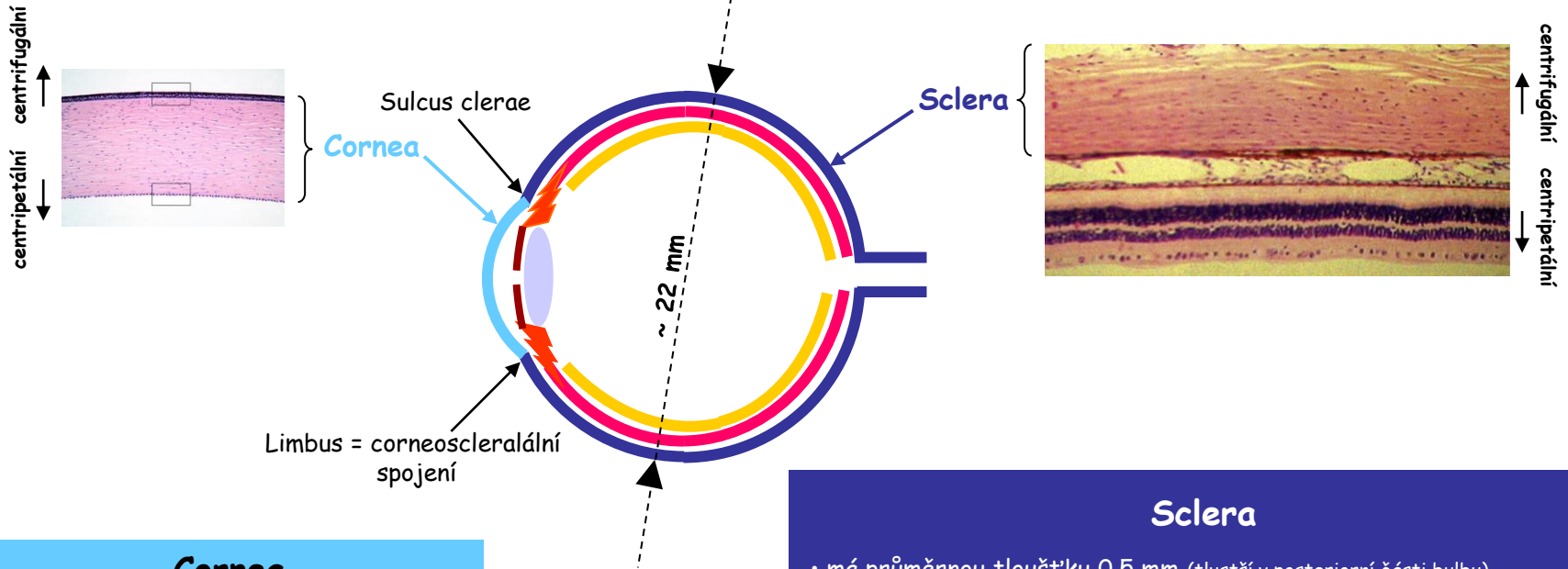
# Jaké požadavky by struktury oka měl splnit ?

- Schopnost přijímat signály a přenášet je do CNS ke zpracování
- Schopnost ostřit na objekty
- Dostatečná pevnost (odolnost)
- Schopnost regenerovat
- Volný pohyb - minimální frikce

# Dostatečná pevnost (odolnost)

Oči jsou usazeny v ochranném prostředí lebky, v orbitách, obklopeny polštáři tukové tkáně.

<b>Cornea</b> (Rohovka)	+	<b>Sclera</b> (Bělina)	=	<b>Tunica externa oculi</b>
1/6	+	5/6	=	6/6 povrchu oka



## Cornea

- má průměrnou tloušťku asi 0.9-1.0 mm
- je bezbarvá
- je transparentní
- je zcela avaskulární
- sestává z 5-ti odlišitelných vrstev

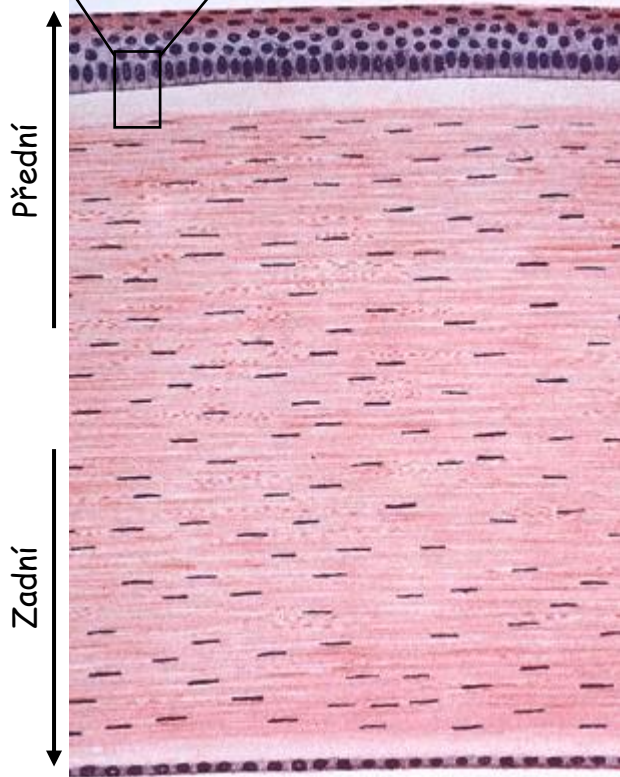
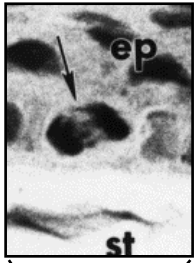
pokračování na dalším obrázku

## Sclera

- má průměrnou tloušťku 0.5 mm (tlustší v posteriorní části bulbu)
- tvořena svazky vláken kolagenu I (kříží se v různých směrech)
- obsahuje ojedinělé fibroblasty
- je relativně avaskulární
- je spojena řídkým vazivem s **Tenonovou membránou** - vytváří **Tenonův prostor**, který umožňuje volný pohyb oční koule
- s cévnatkou je spojena prostřednictvím **lamina suprachoroidea** (řídké vazivo s ojedinělými melanocyty, fibroblasty a elastickými vlákny)

# Cornea

(transverzální řez)



- vícevrstevný dlaždicový epitel (5-6 vrstev)
- nekeratinizující
- extrémně bohatý na nervová zakončení
- buňky na povrchu jsou opatřeny mikroklyčky (protrudují do prostoru s filmem slz)

Přední epitel rohovky  
Bowmanova membrána

- = **Lamina limitans anterior**
- má tloušťku asi 7 - 12  $\mu\text{m}$
- je tvořena jemnými kolagenními vlákny (křížícími se)
- neobsahuje buňky
- dodává rohovce pevnost

Substancia propria corneae

- tvořena mnoha vrstvami perpendikulárně řazených kolagenních vláken
  - mezi lamelami kolagenu jsou oploštělé keratocyty (fibroblast-like cells)
  - obsahuje mukoidní hmotu bohatou na chondroitinsulfát
  - vhodně hydratována
- ZÁKLAD TRANSPARENCE**

- = **Lamina limitans posterior**
- je tvořena jemnými vlákny kolagenu
- vlákna jsou organizována do 3D sítě

Descemetova membrána  
Zadní epitel rohovky

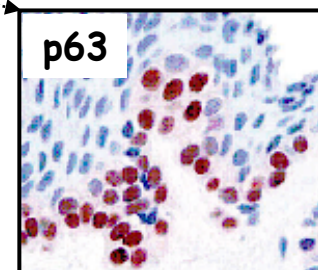
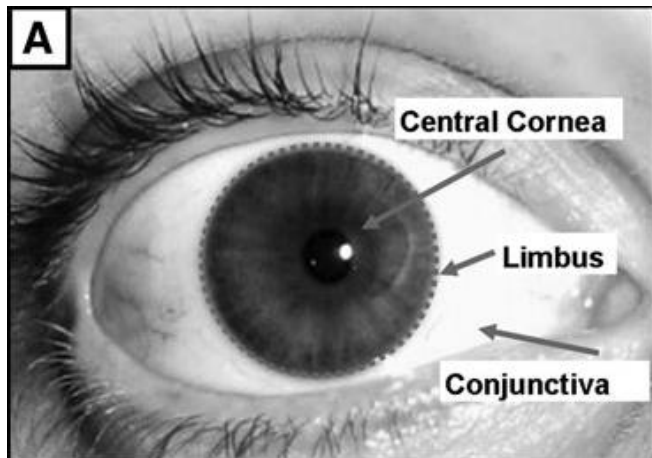
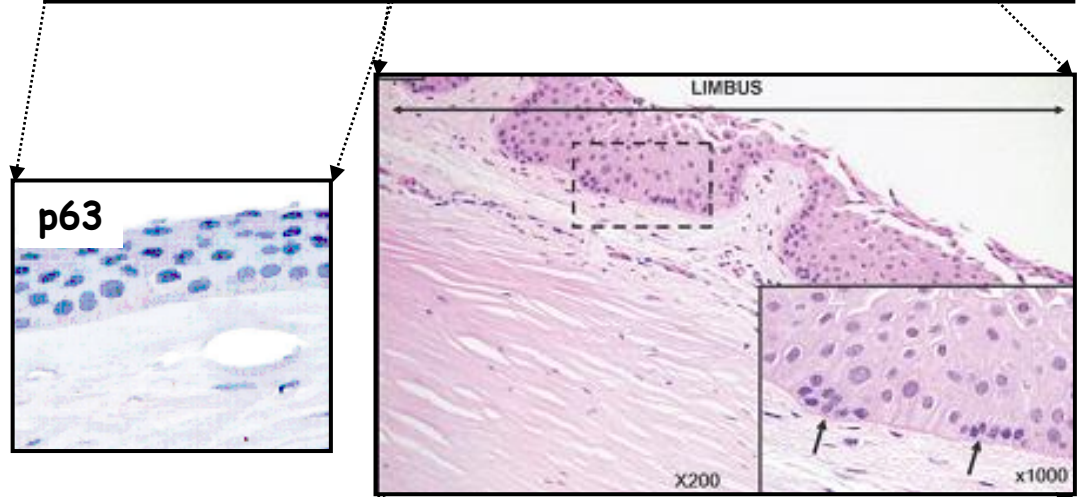
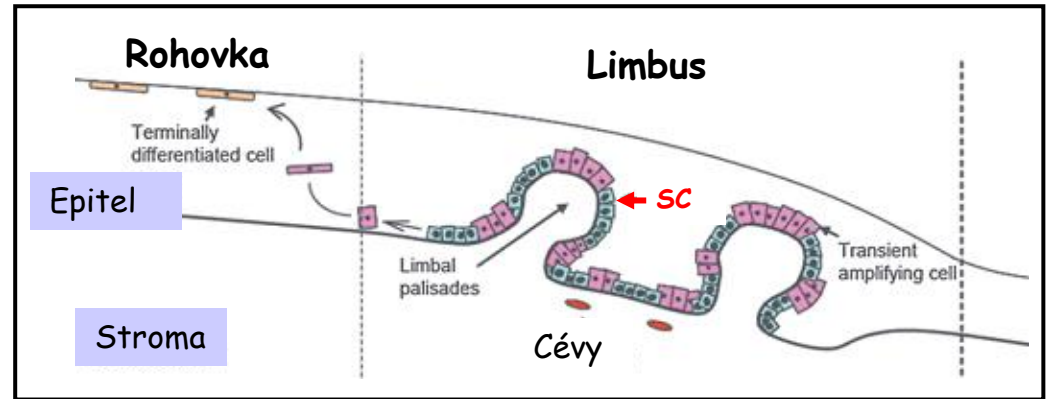
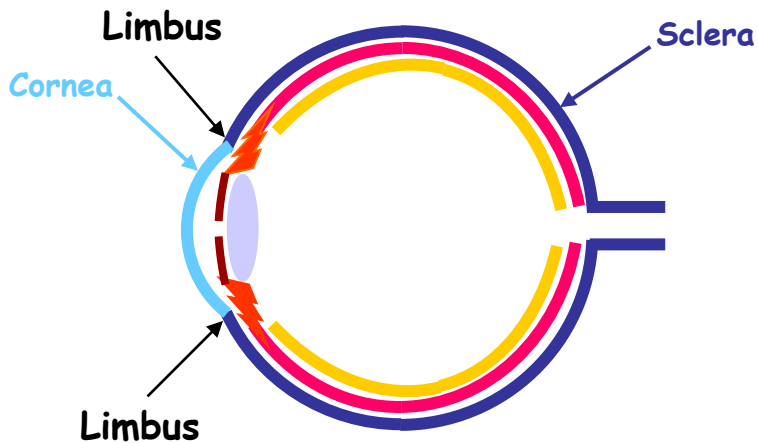
- jednovrstevný dlaždicový epitel
- svojí aktivitou udržuje ve správném stavu stroma rohovky
- přechází na přední plochu duhovky (přes spongium anguli iridocornealis)

# Schopnost regenerace

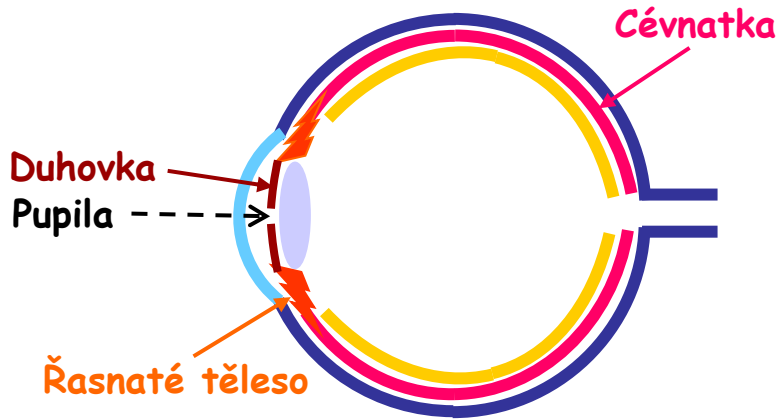
## Limbus - corneosclerální spojení

Je oblast přechodu transparentních kolagenních vláken rohovky v netransparentní kolagenní vlákna bělmy.

Je vysoce vaskularizovaná - vyživuje bezcévnou rohovku.



# Dostatečné zásobení zdroji



**Cívnačka + Řasnaté těleso + Duhovka = Tunica media**  
Choroidea      Corpus ciliare      Iris      T. vasculosa

## Cívnačka = 4-vrstvá struktura

### Lamina suprachoroidea

- je tvořena řídkým vazivem
- je bohatá na pigmentové buňky - melanocyty

### Lamina vasculosa

- je tvořena řídkým vazivem
- je bohatá na pigmentové buňky - melanocyty
- obsahuje silnější cévy a nervová vlákna

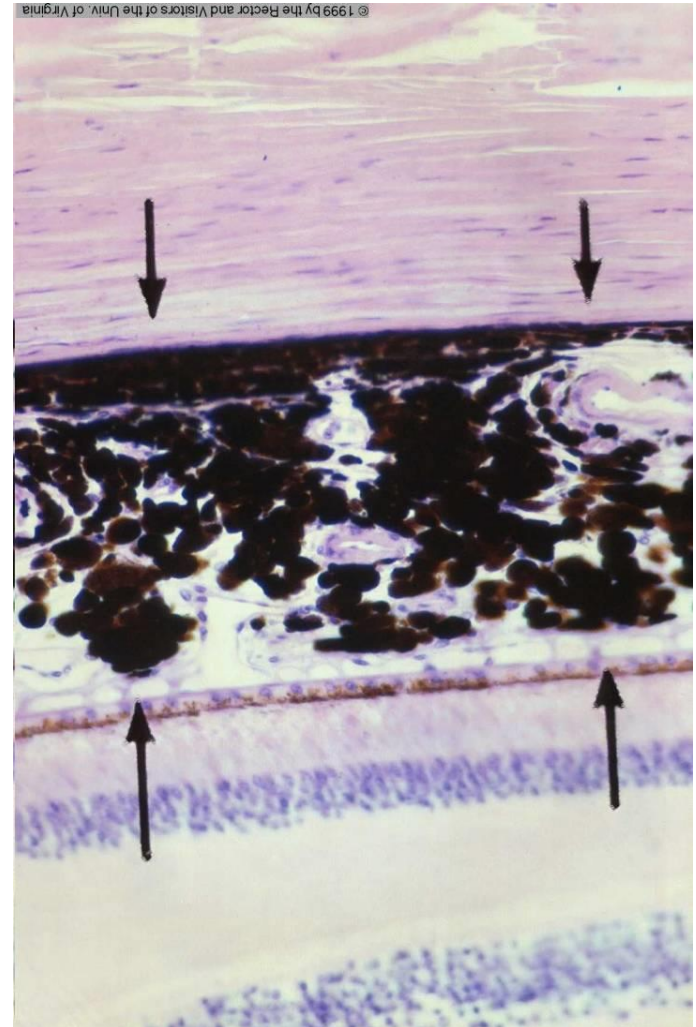
### Lamina choriocapillaris

- je tvořena řídkým vazivem
- obsahuje složitou síť jemných kapilár

### Lamina vitrea = L. basalis = Bruch's membrane

- je tvořena vlákny kolagenu a elastinu
- má celkovou tloušťku asi 3-4  $\mu\text{m}$
- vytváří přechod mezi bazálními membránami Lamina choriocapillaris a pigmentového epitelu sítnice

Cívnačka



Sclera

Retina

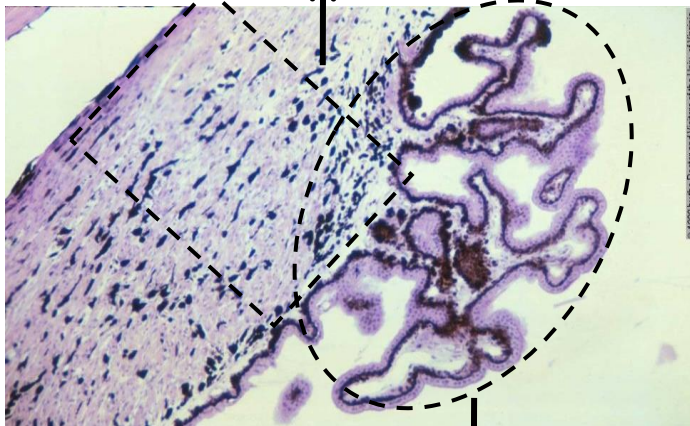


# Schopnost zaostřit na objekty

## Řasnaté těleso - přední extenze cévnatky

### Stroma řasnatého tělesa

- řídké vazivo
- obsahuje elastická vlákna, cévy a melanocyty
- bohaté na kapiláry (komorový mok)
- svazky hladkosvalových vláken (ukotveny v bělimě a prostupující do výběžků řasnatého tělesa - *m. ciliaris*)



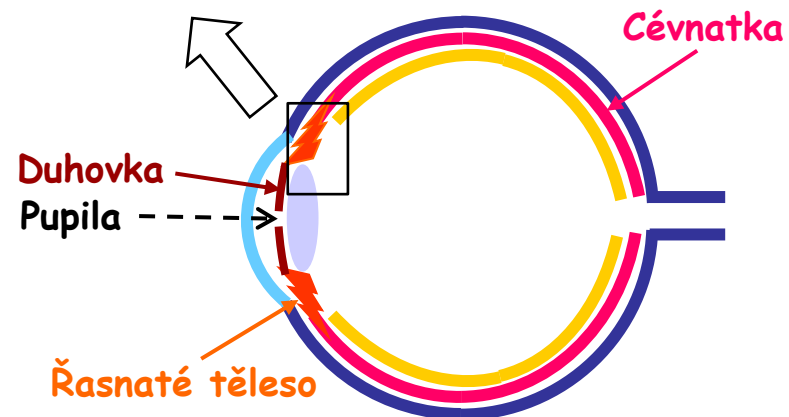
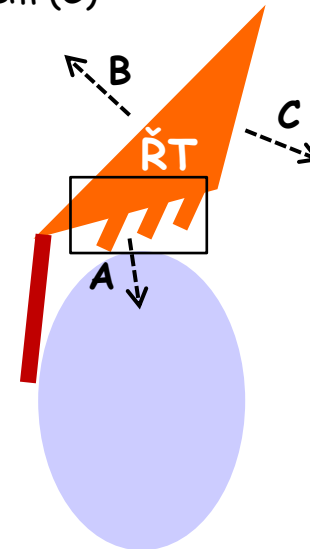
### Výběžky ŘT (Processus ciliares)

- prominují do zadní komory
- celkový počet asi 70-80
- bohaté kapilárami (komorový mok)
- pokryto dvouvrstvým epitelem (přechází ze sítnice - *pars ciliaris retinae*)
- spojeny s pouzdrum prostřednictvím *fibrae suspensoriae lentis* (zonulae)

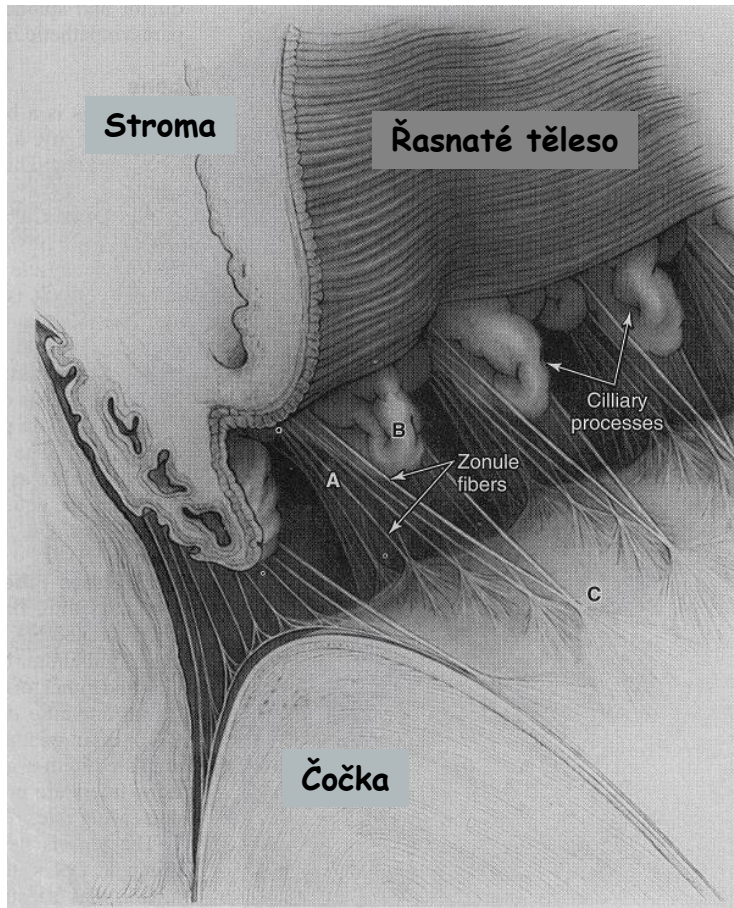
### Trojúhelníkovité na řezu

Stýká se s:

- čočkou a zadní komorou (A)
- bělimou (B)
- sklivcem (C)



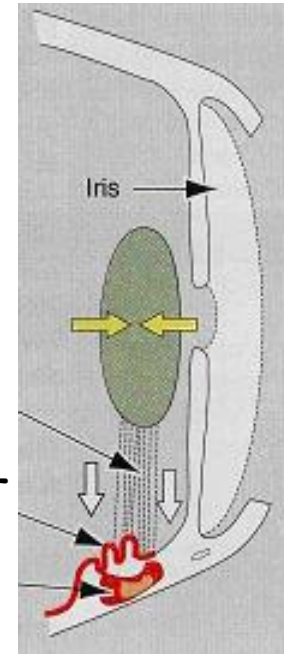
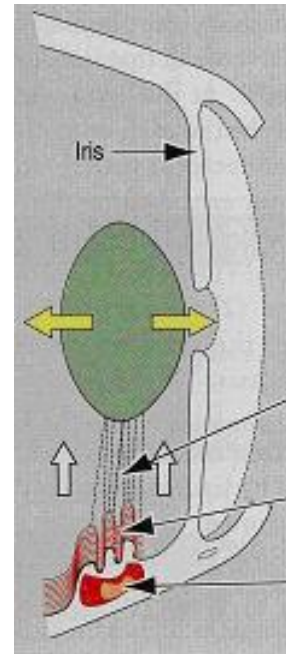
# Řasnaté těleso



## Akomodace čočky

Vidění na blízko

Vidění do dálky

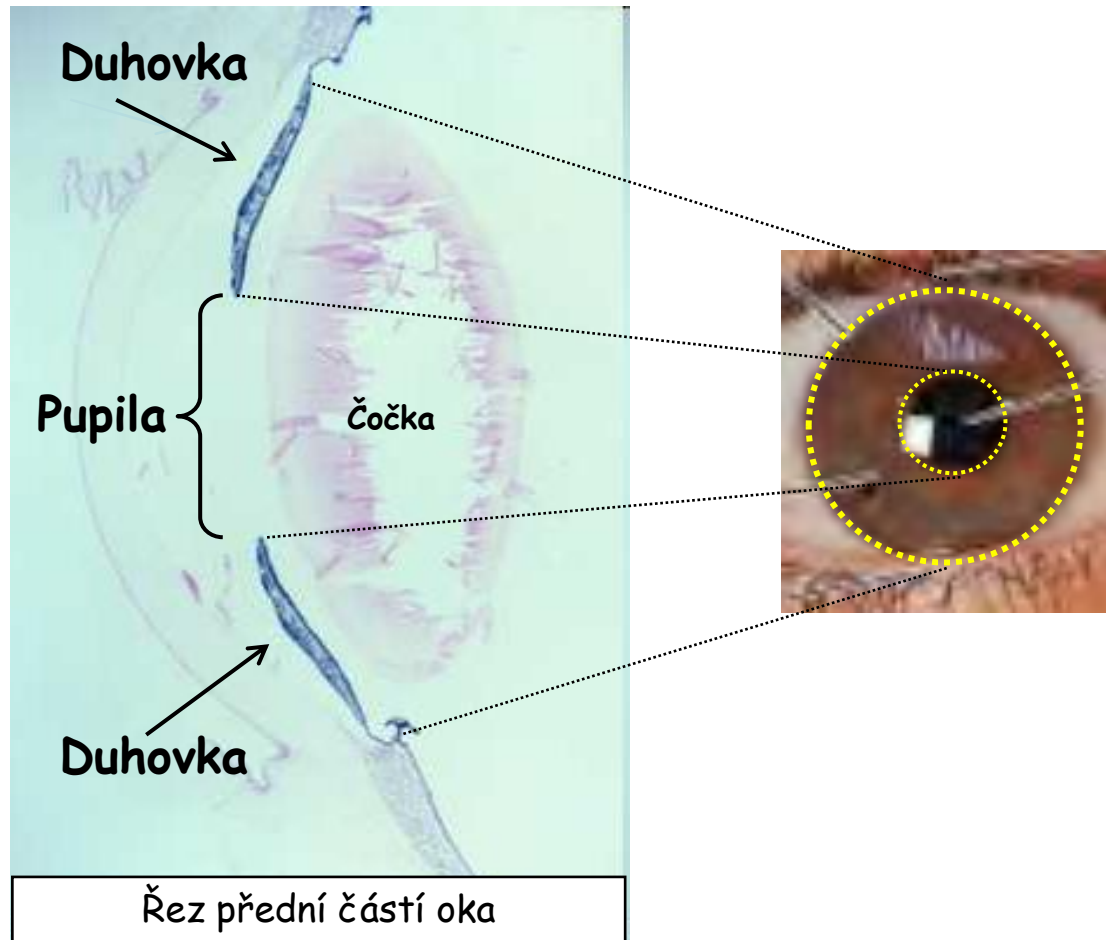


- sval kontrahován
- zonulae uvolněny

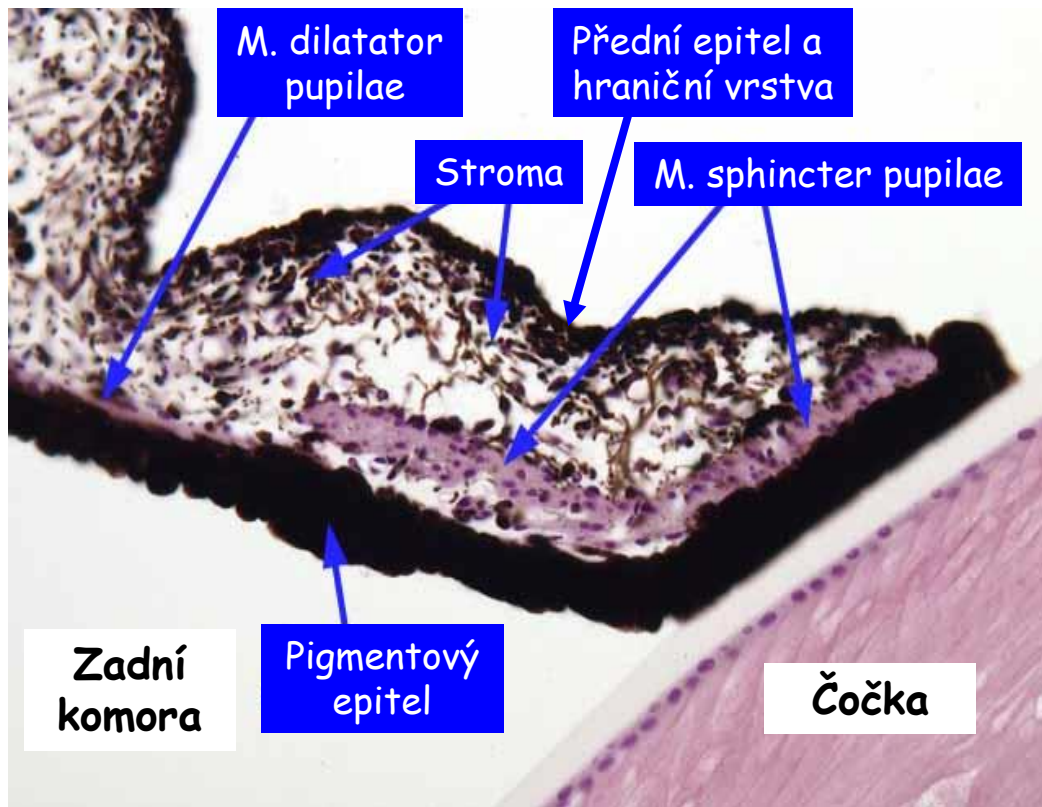
- sval relaxován
- zonulae napnuty

# Duhovka (Iris) - 1

Přední pokračování cévnatky.  
Částečně kryje čočku.



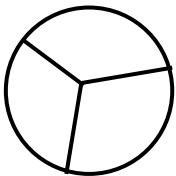
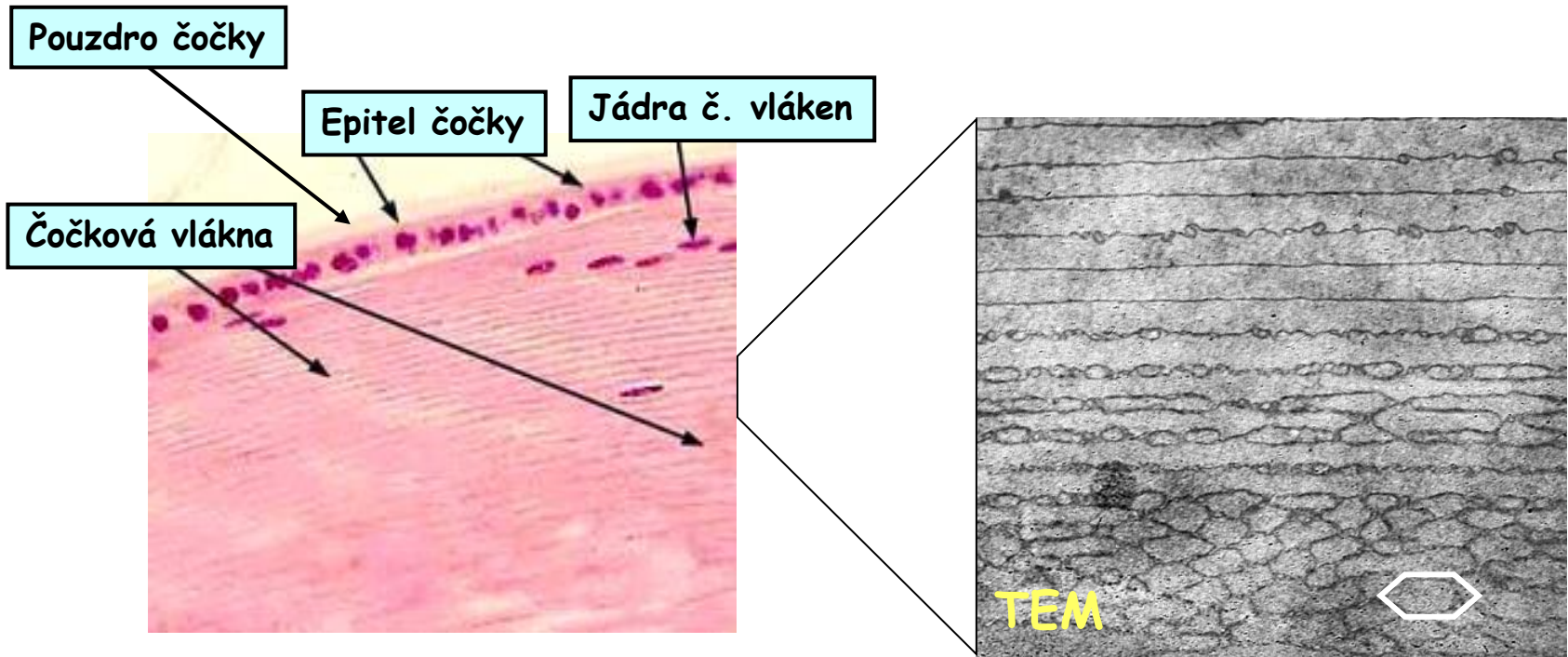
# Duhovka (Iris) - 2



**Duhovka = 4-vrstvá struktra**  
Vrstvy směrem z vnějšku:

- 1. Přední epitel duhovky**
  - je pokračováním zadního epitelu rohovky
  - nesouvislá vrstva velmi plochých epitelialních buněk, fibroblastů a melanocytů
- 2. Přední hraniční vrstva**
  - tenká vrstva pojivové tkáně
  - bohatá na pigmentové buňky - melanocyty
  - **rozhoduje o barvě oka**
- 3. Stroma duhovky**
  - tvořeno řídkým vazivem
  - obsahuje velké množství radiálně uspořádaných cév
  - koncentricky uspořádané hladkosvalové buňky (=musculus sphincter pupillae)
- 4. Pars iridica retinae**
  - dvouvrstvé
  - pokračování z řasnatého tělesa
  - vrstva přilehlá ke stromatu obsahuje myofilamenta (=musculus dilatator pupillae)

# Čočka

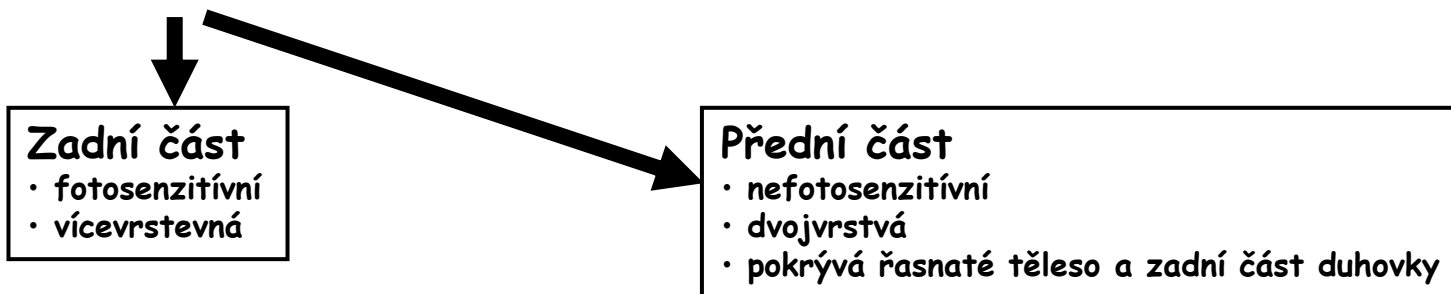


Epitel (kubický + nízký cylindrický) pouze na přední straně čočky.

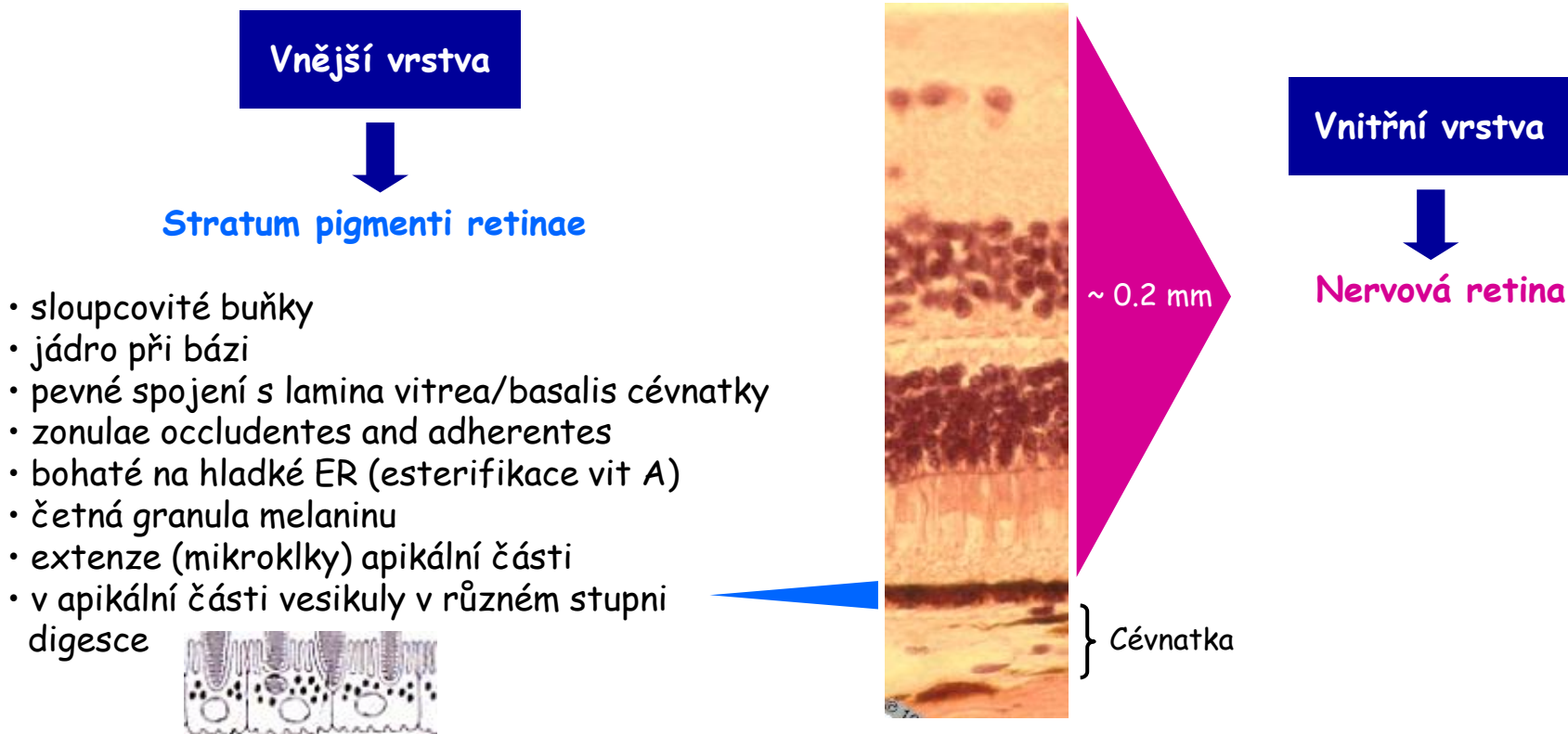
Na rovníku čočky jsou úpony fibrae suspensorie lentis.

# Schopnost přijímat signály a přenášet je do CNS ke zpracování

**Sítnice** = Retina = Tunica aculi interna - Tunica nervosa



Invaginace předního mozkového váčku (proencephalon) vytváří **dvouvrstvý oční pohárek**.



# Nervová (optická) retina

minimálně 15 různých typů neuronů s desítkami různých interakcí (synapsí)

9 rozlišitelných vrstev

Membrana limitans interna

Vrstva nervových vláken

Vrstva gangliových buněk

Vnitřní vrstva plexiformní

Vnitřní vrstva jádrová

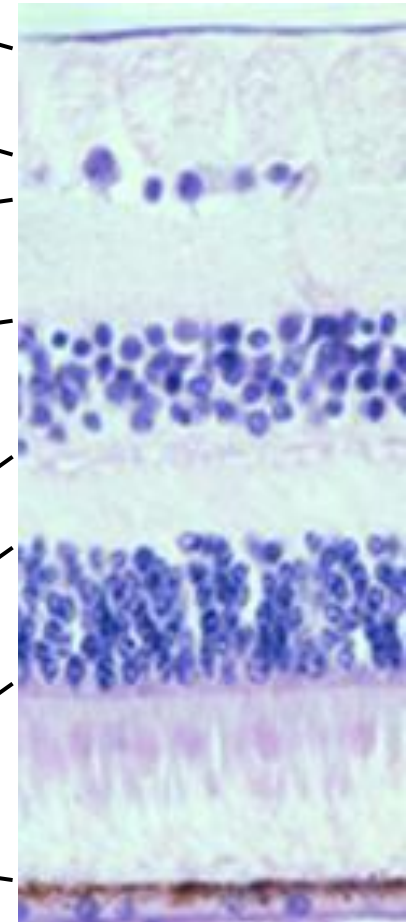
Zevní vrstva plexiformní

Zevní vrstva jádrová

Membrana limitans externa

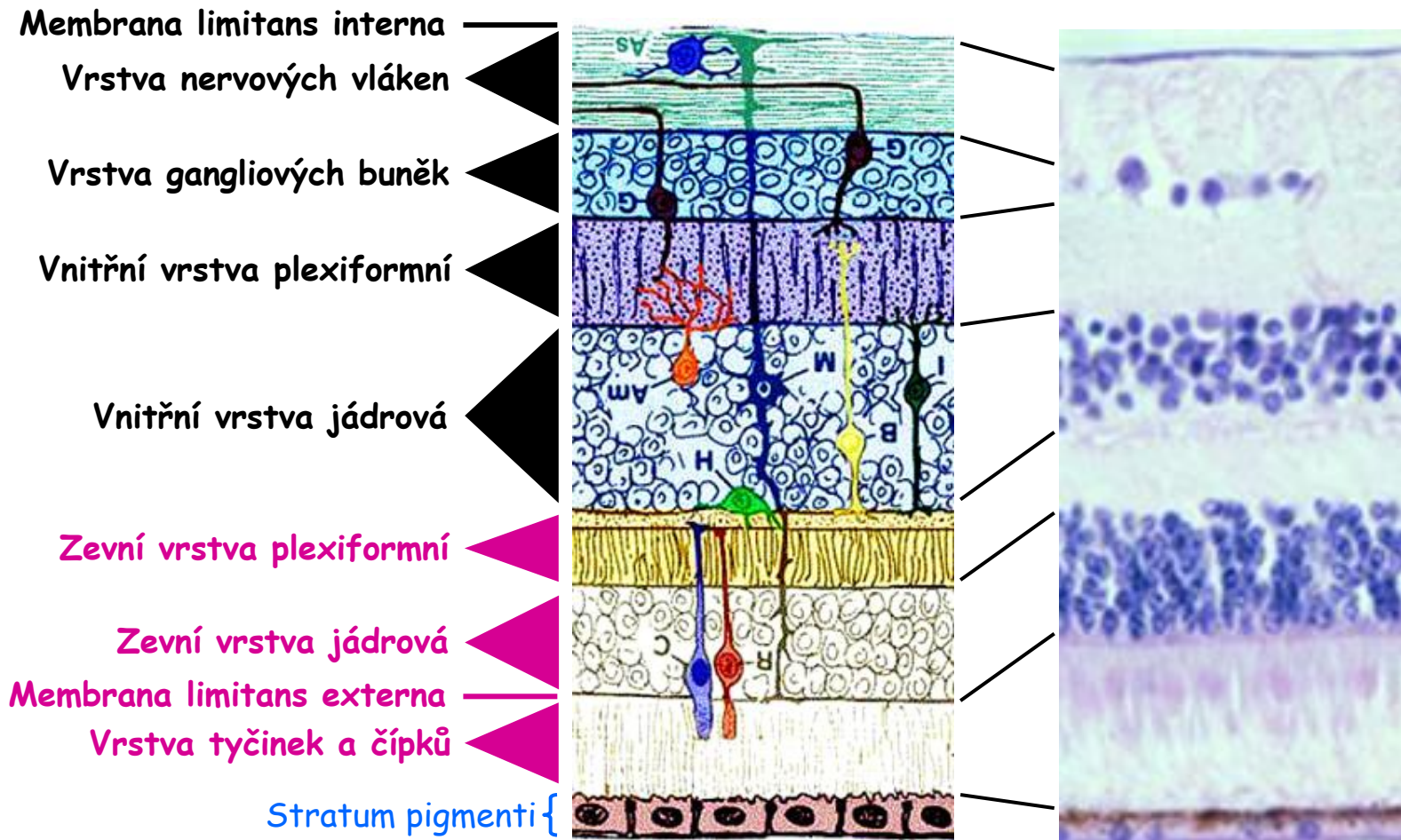
Vrstva tyčinek a čípků

Stratum pigmenti {



# Fotoreceptory = Buňky tyčinkové a čípkové 1

## I. neurony zrakové dráhy





# Fotoreceptory = Buňky tyčinkové a čípkové 2

## I. neurony zrakové dráhy

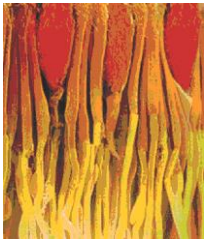
Zevní vrstva plexiformní

Zevní vrstva jádrová

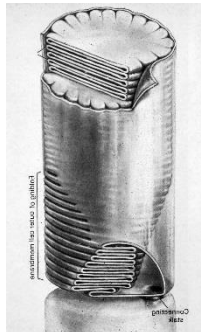
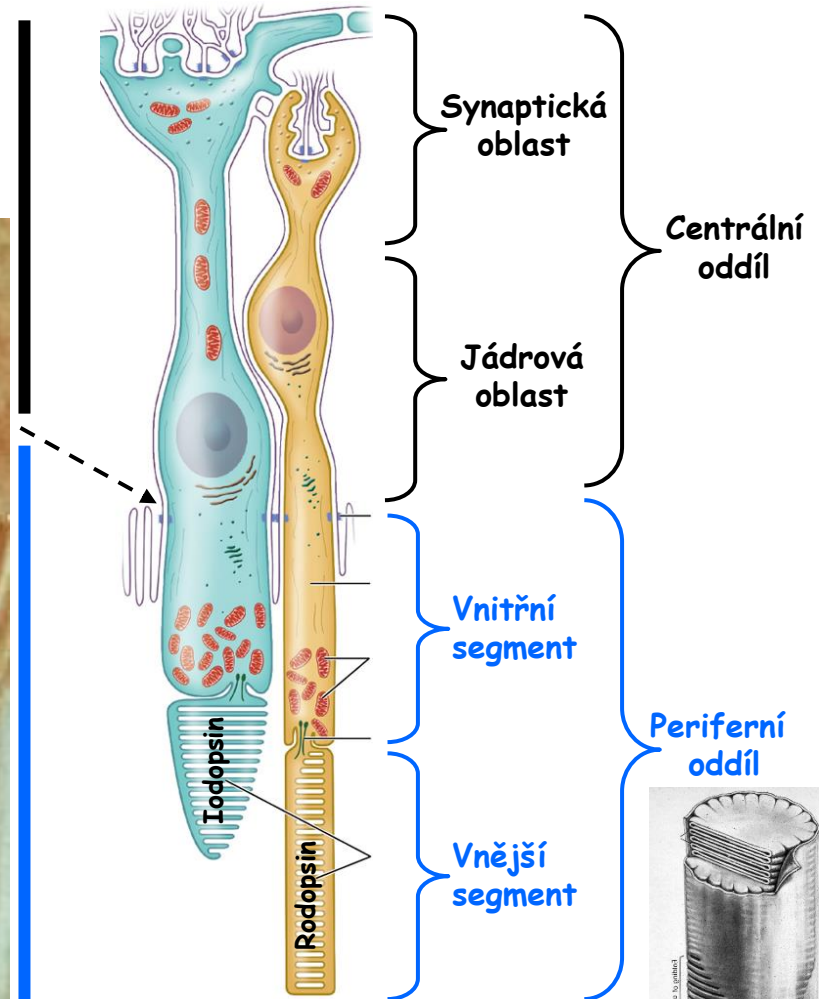
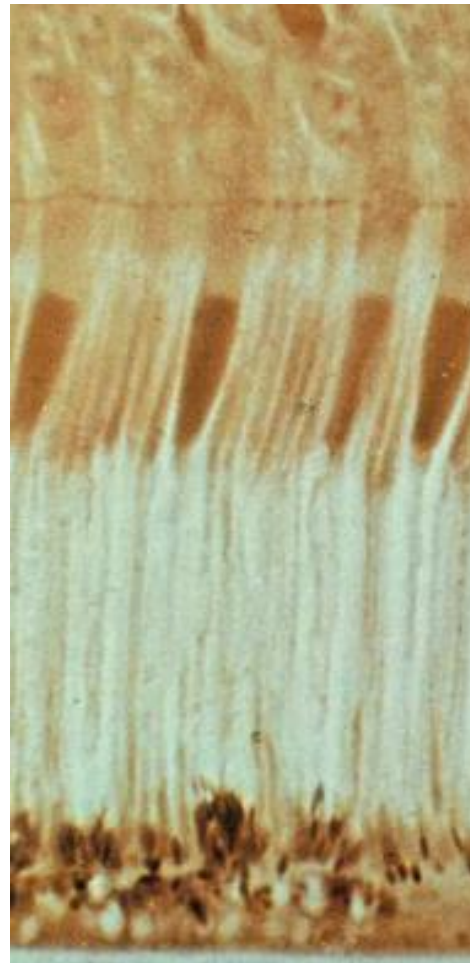
Membrana limitans externa

(série spojovacích komplexů mezi fotoreceptory a gliovými buňkami Mullerovými)

Vrstva tyčinek a čípků

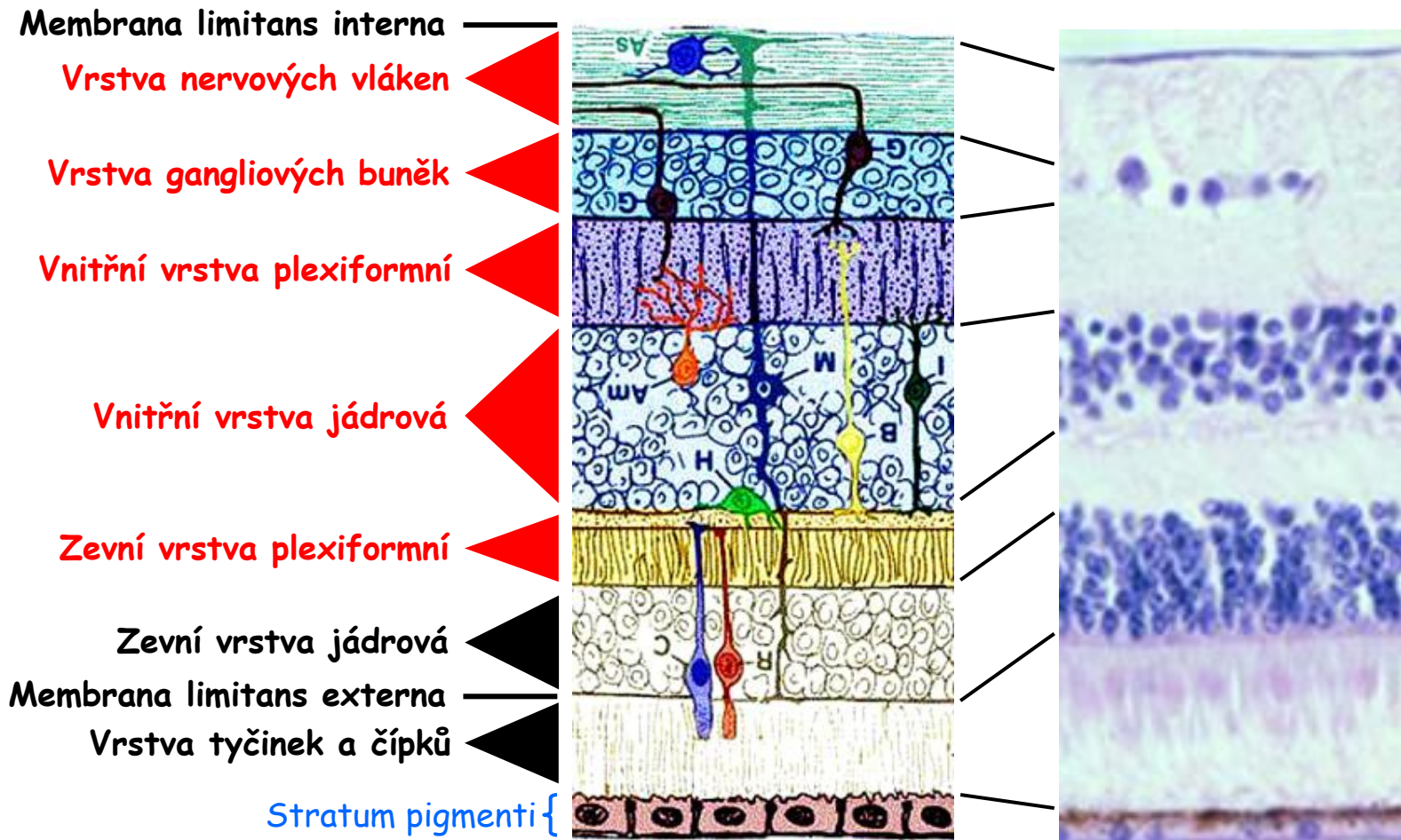


SEM



Tyčinkové buňky: 100-150 mil.  
Čípkové buňky: 7 mil. (méně citlivé)

# Další neurony zrakové dráhy 1



# Další neurony zrakové dráhy 2

## II. neuron Bipolární buňky

**Difúzní**

- Synapse se dvěma a více receptory

**Monosynaptické**

- Synapse pouze s jedním receptorem
- Přímý přenos impulsů z některých čípků

## III. neuron Gangliové buňky (multipolární)

- Velké buňky
- Jádra obvykle v jedné vrstvě
- Dendrity se spojují s neurity bipolárních a amakrinních buněk
- Neurity pobíhají v 9. vrstvě sítnice a spojují se ve zrakový svazek

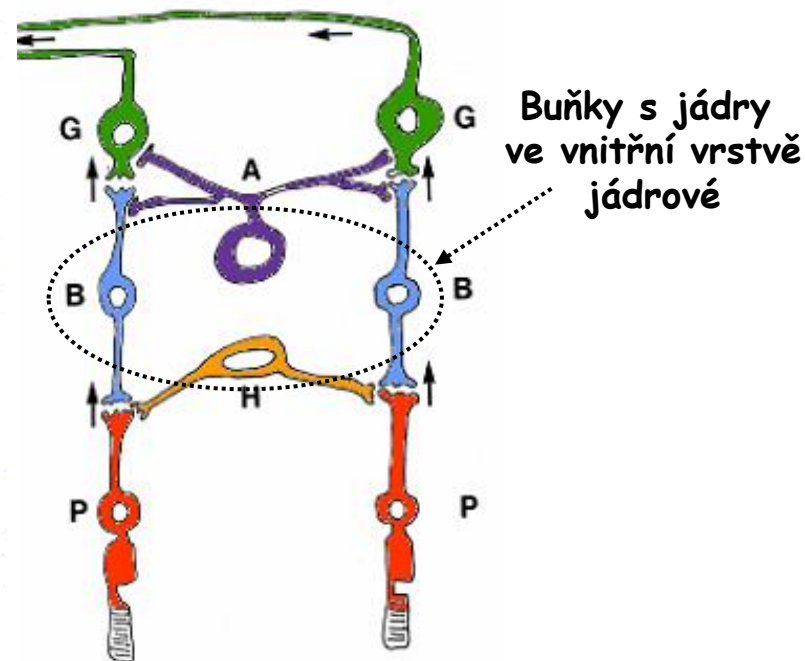
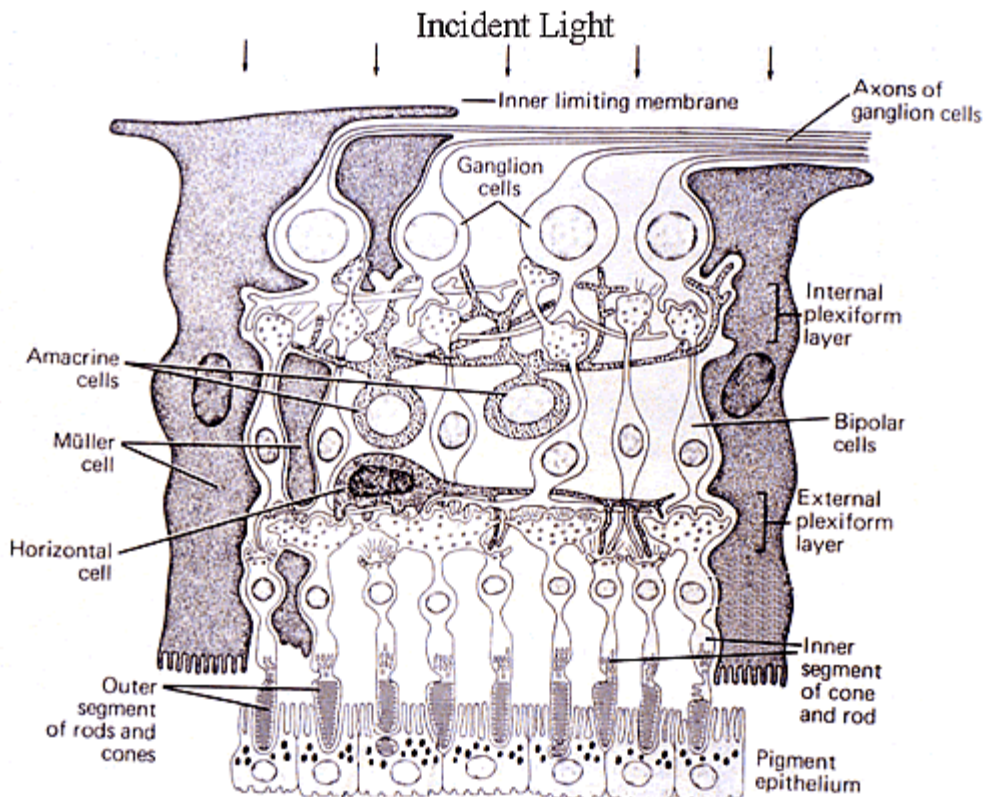
## Asociační + integrační neurony

**Horizontální  
Buňky**

- Malé
- Multipolární

**Amakrinní  
Buňky**

- Nemají patrný neurit



# Podpůrné buňky sítnice 1

Membrana limitans interna

Vrstva nervových vláken

Vrstva gangliových buněk

Vnitřní vrstva plexiformní

Vnitřní vrstva jádrová

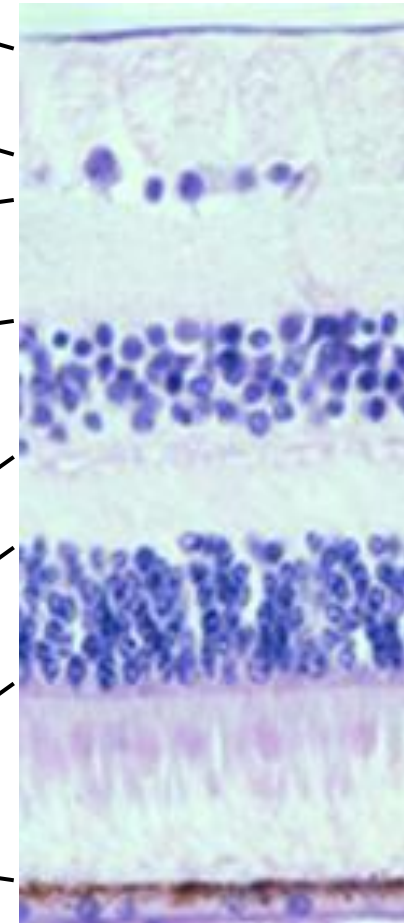
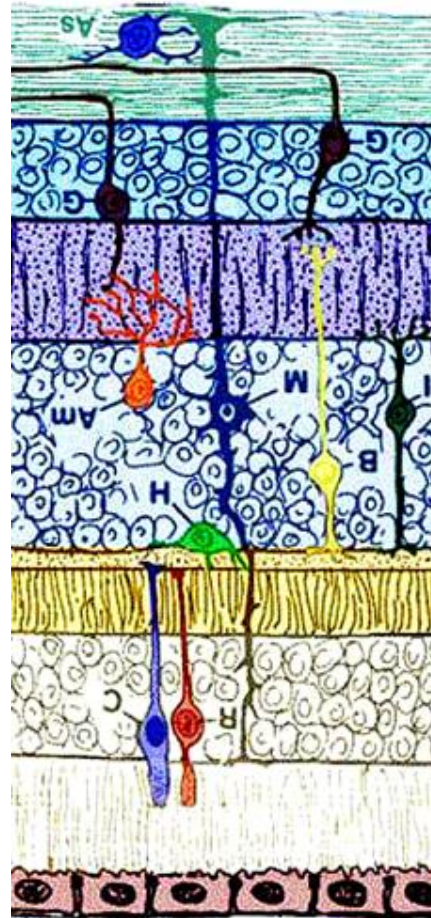
Zevní vrstva plexiformní

Zevní vrstva jádrová

Membrana limitans externa

Vrstva tyčinek a čípků

Stratum pigmenti {

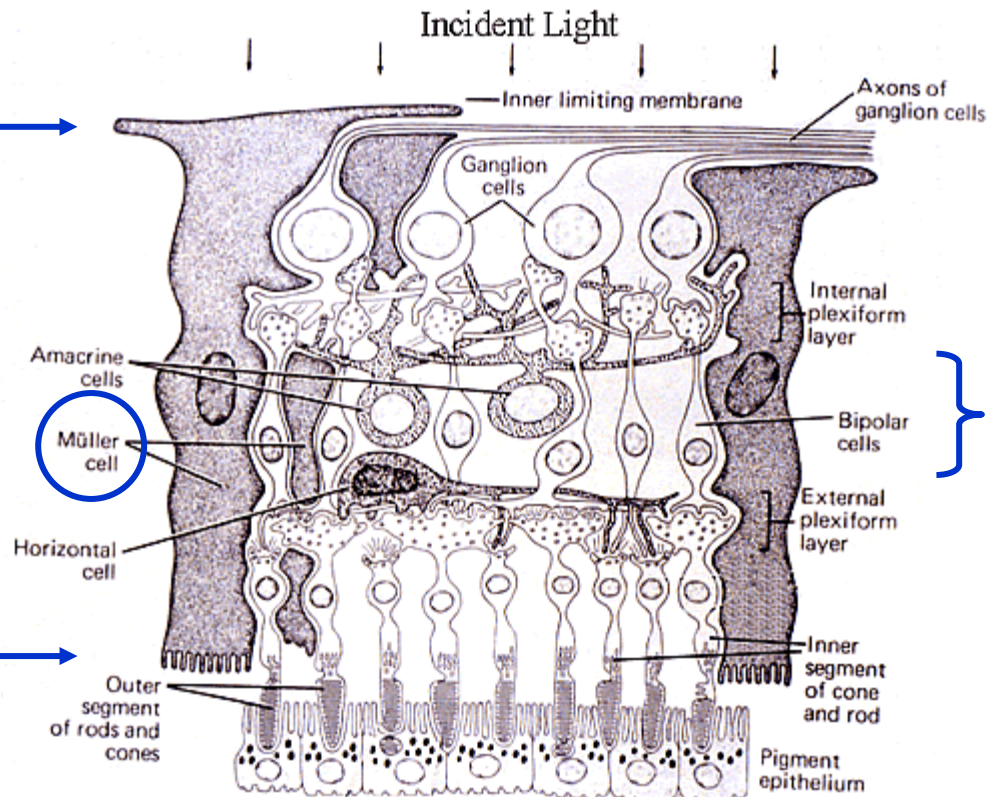


# Podpůrné buňky sítnice 2

## Mullerovy buňky

= modifikované glie CNS

Membrana  
limitans  
interna



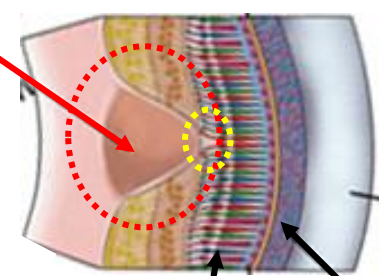
Vnitřní vrstva  
jádrová

Membrana  
limitans  
externa

# „Vidí sítnice všude stejně“

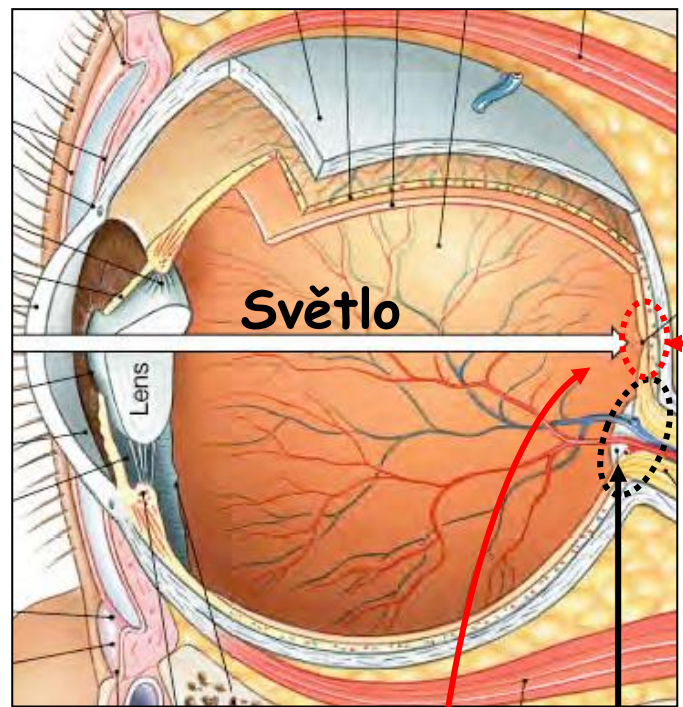
Centrální x Periferní vidění

Žlutá skvrna (macula lutea)



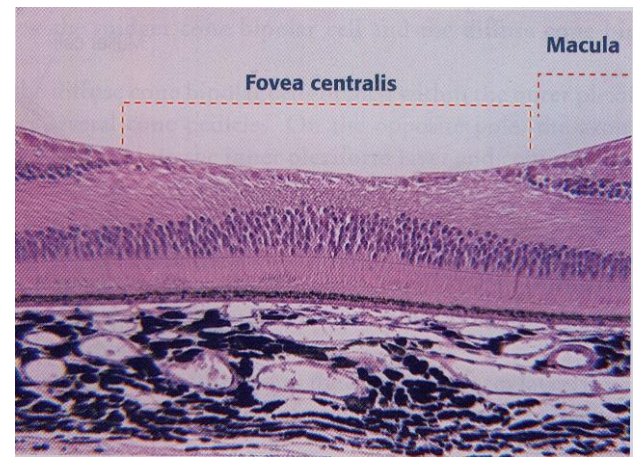
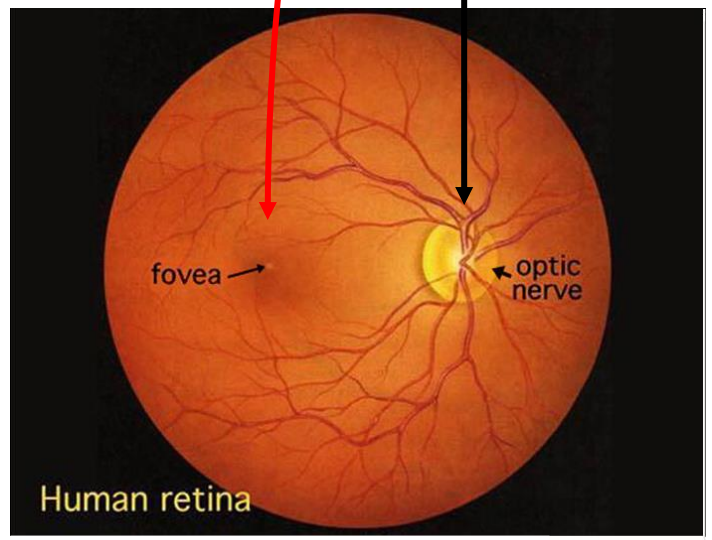
Sítnice Cévnatka

Fovea centralis žluté skvrny = nejostřejší vidění

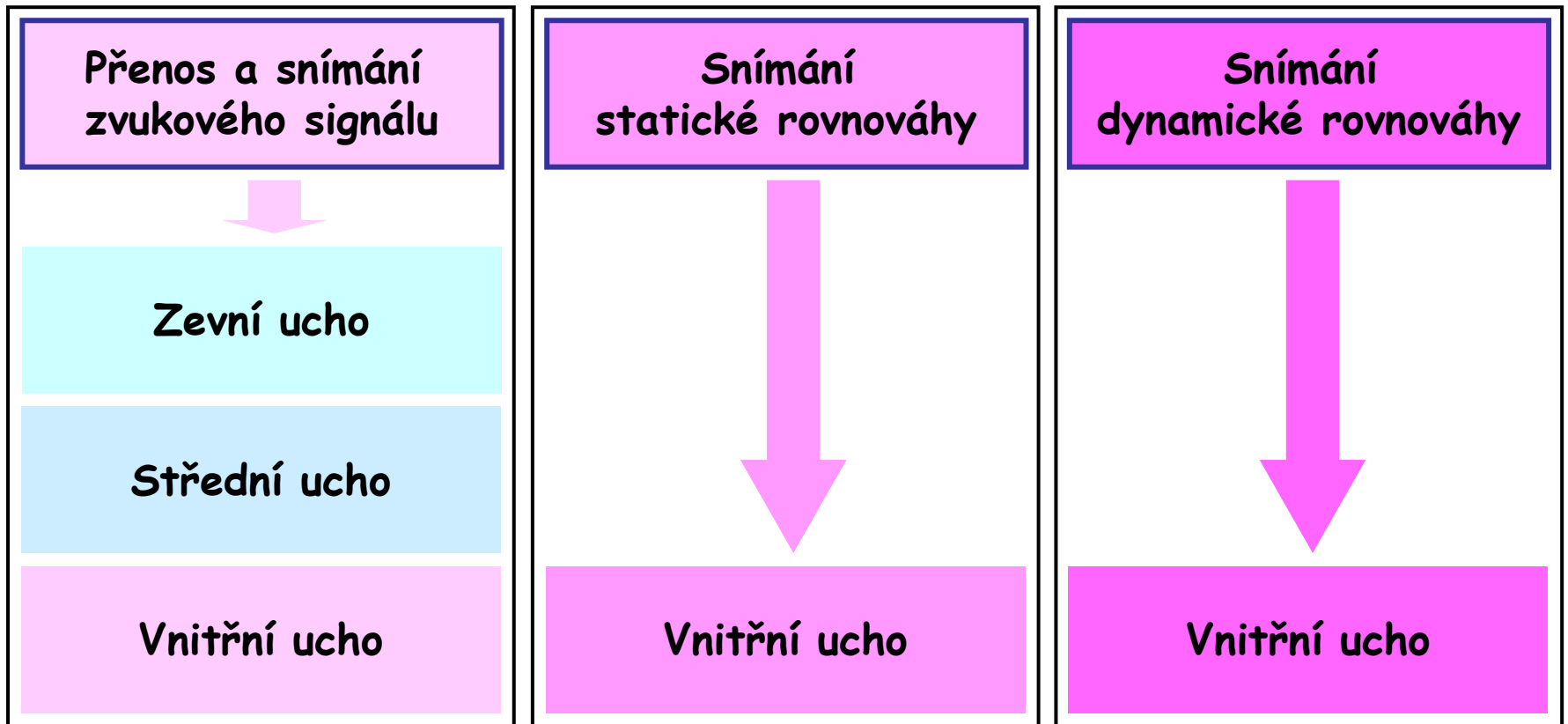


Světlo

Disk zrakového nervu (slepá skvrna)

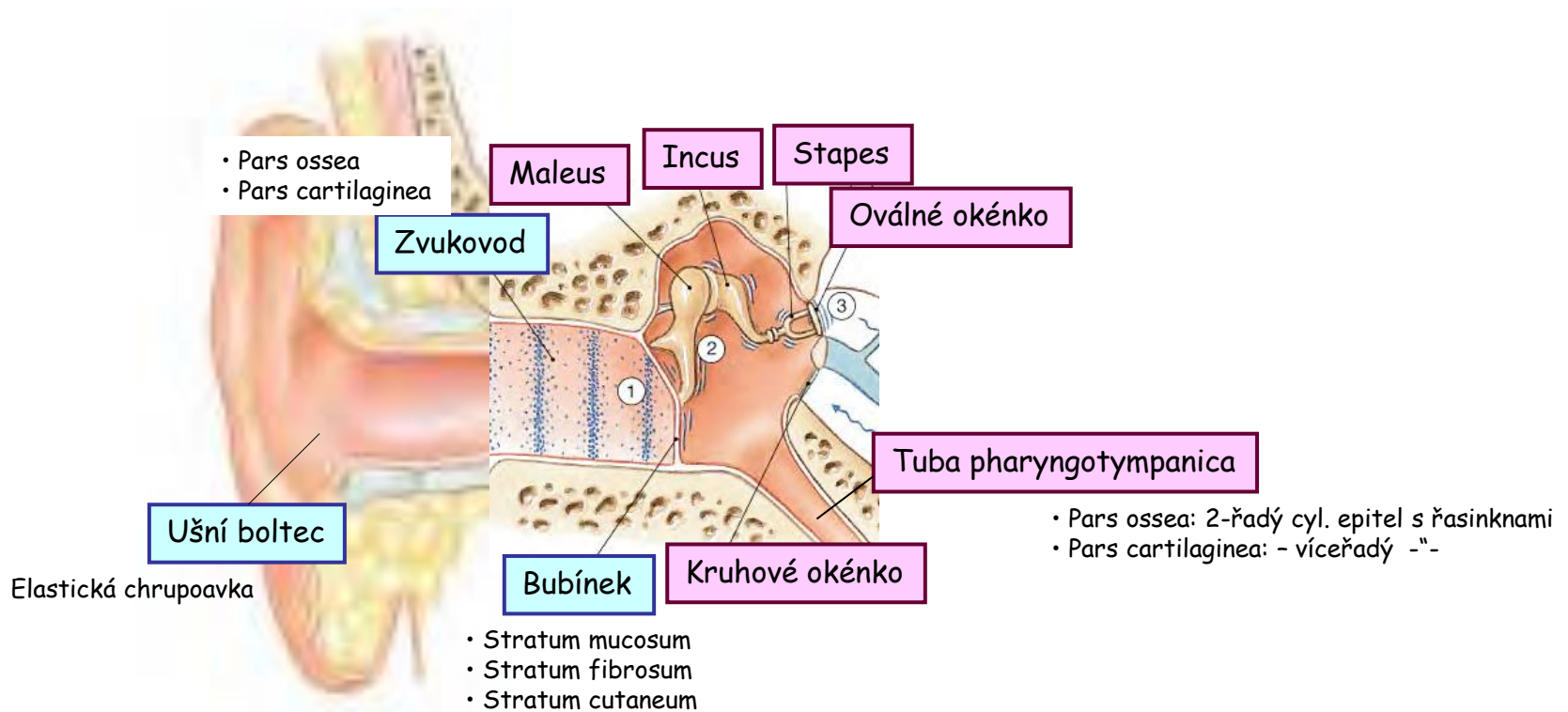


# Orgán sluchu a rovnováhy = Vestibulokochleární aparát



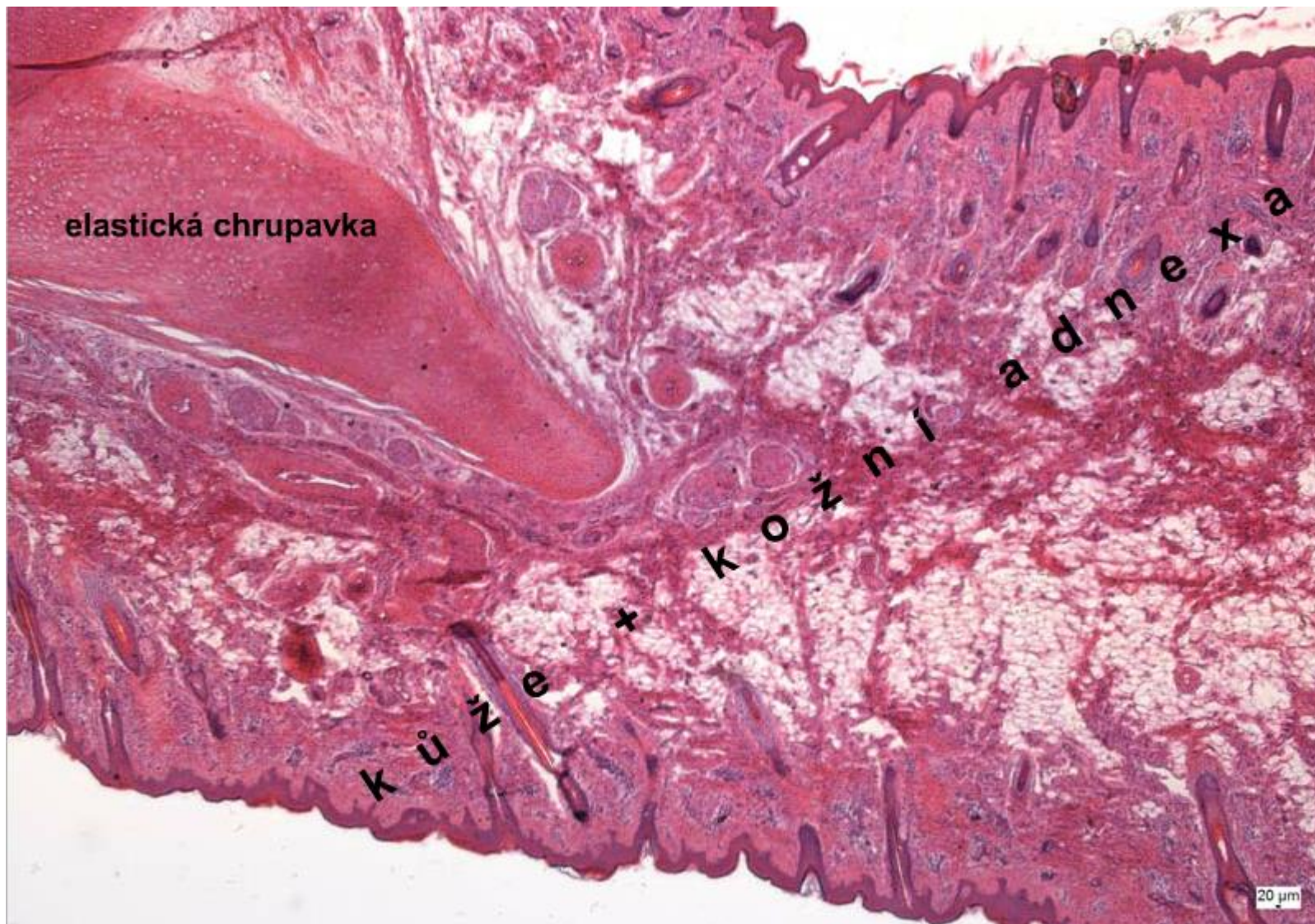
# Zevní + střední ucho - Orgán sluchu

Střední ucho - spolu s vnitřním uchem uloženo v dutinách pyramidy kosti skalní - kostěný labyrint.

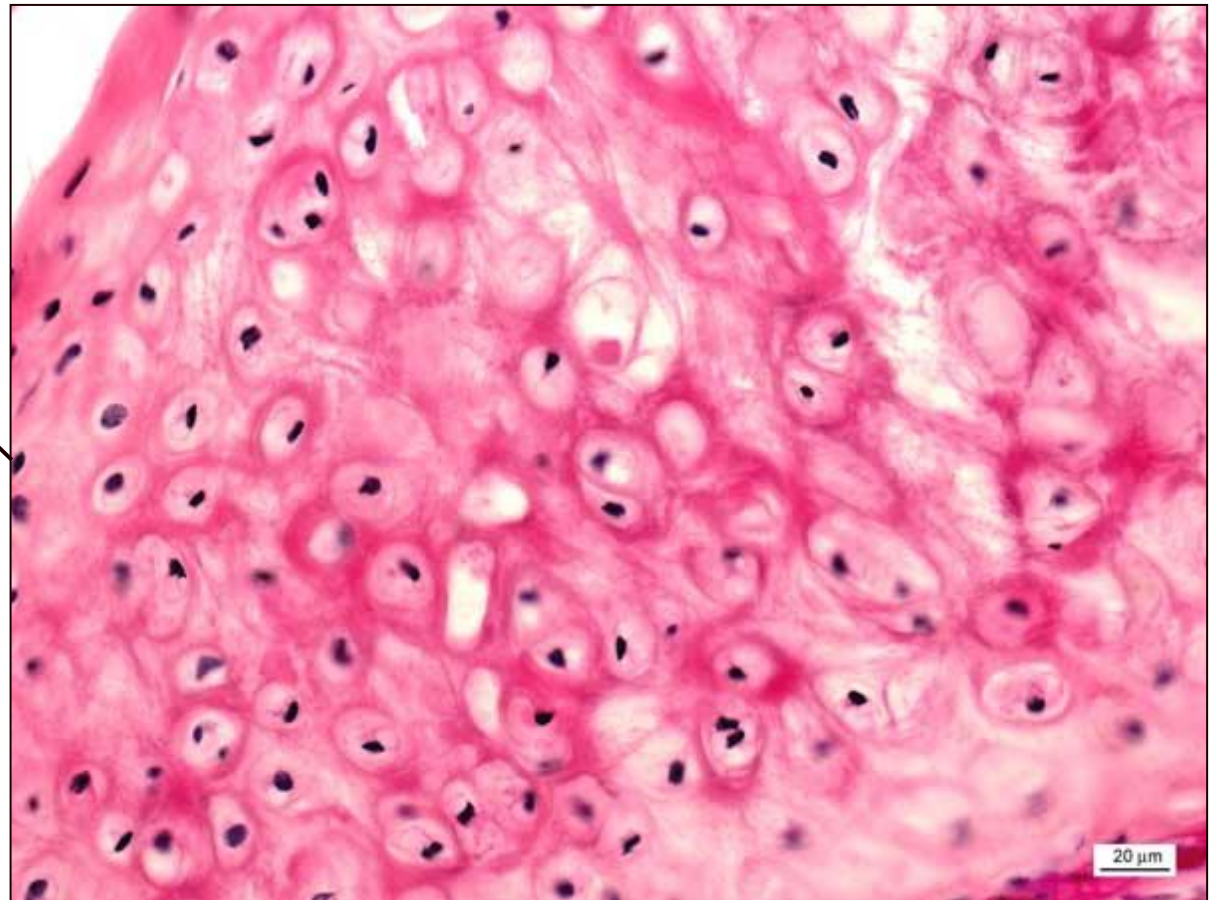
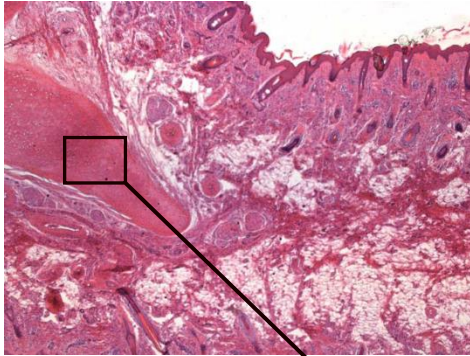




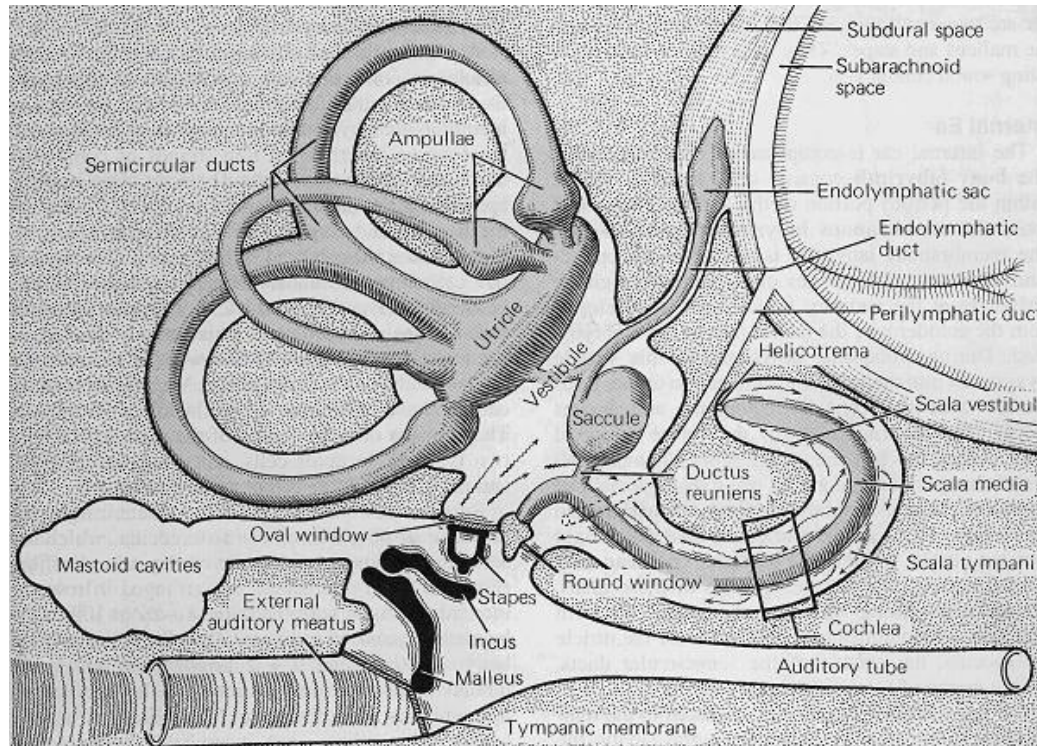
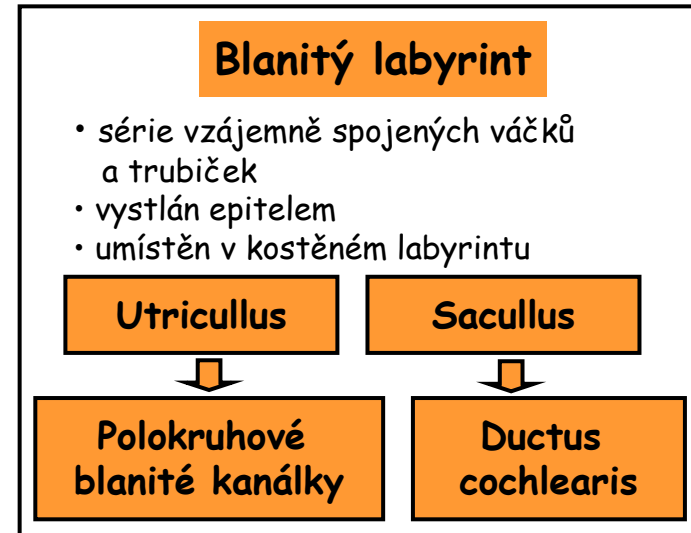
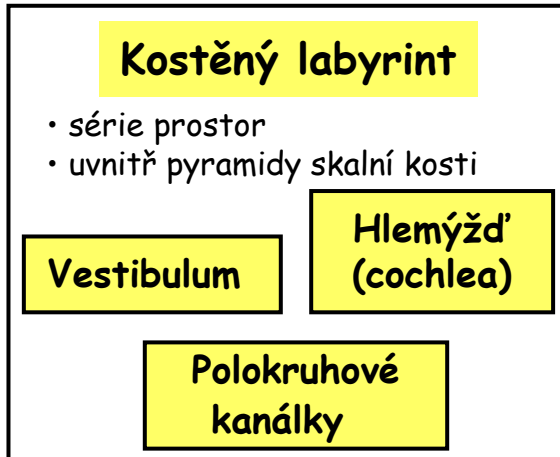
# Vnější ucho - Boltec



# Vnější ucho - Boltec - Elastická chrupavka



# Vnitřní ucho



# Vnitřní ucho - Orgán sluchu

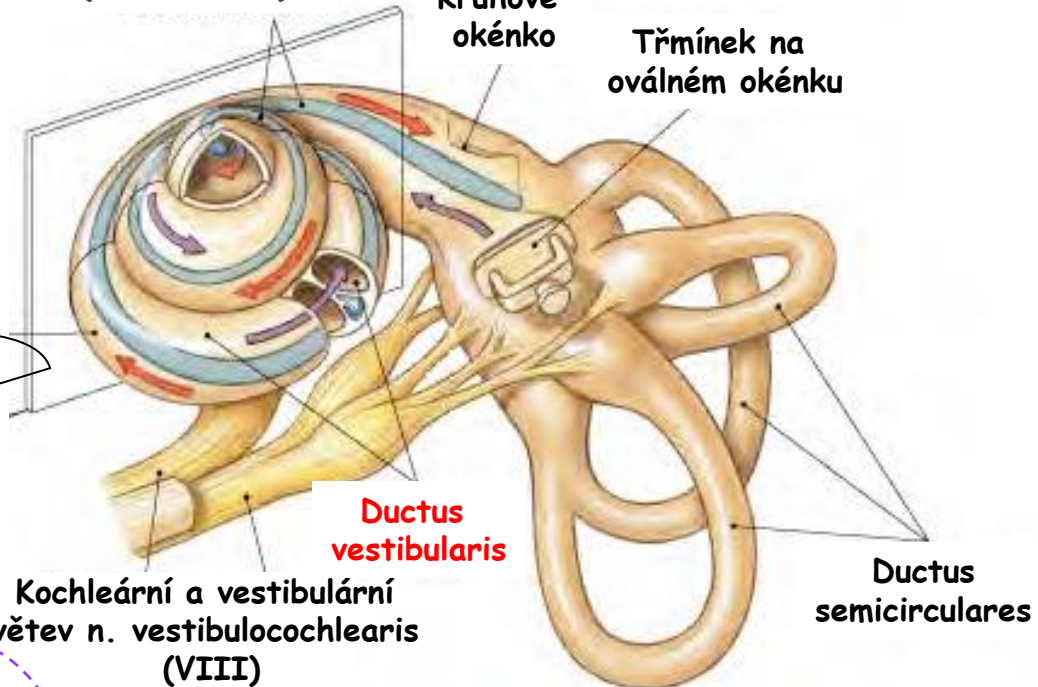
## Hlemýžď

- 2,5 závitů okolo modiolu
- celkem 35 mm délky

Ductus cochlearis  
(Scala media)

Kruhové  
okénko

Třmínek na  
oválném okénku



Vestibulární  
membrána

Membrana  
tectoria

Basilární  
membrána

Ganglion  
spirale

Scala  
vestibuli

Scala  
media

Scala  
tympani

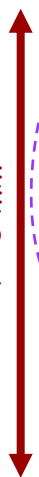
Kochleární větev n.v.

## Modiolus (vřeténko)

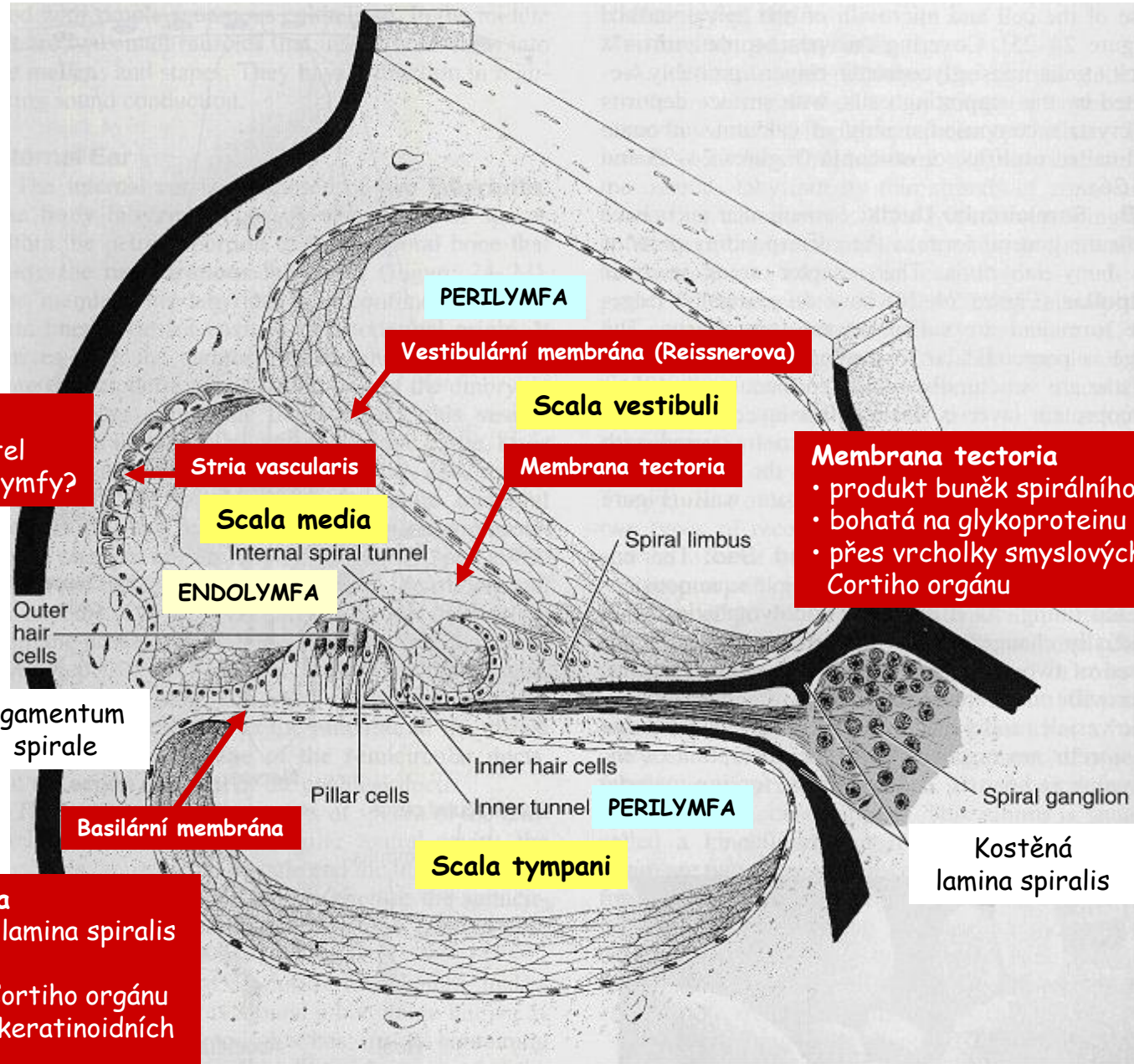
- centrální osa ductus cochlearis
- obsahuje ganglion spirale cocleae, nervus coclearis a cévy

7 - 9 mm

4 - 5 mm



# Vnitřní ucho - Detail ductus cochlearis



**Stria vascularis**  
• vaskularizovaný epitel  
• řízení skladby endolymfy?

**Stria vascularis**

**Scala vestibuli**

**Membrana tectoria**  
• produkt buněk spirálního limbu  
• bohatá na glykoproteinu  
• přes vrcholky smyslových buněk Cortiho orgánu

**Membrana tectoria**

**Scala media**

**ENDOLYMFA**

Outer hair cells

Ligamentum spirale

**Basilární membrána**

**Basilární membrána**  
• mezi lig. spirale a lamina spiralis ossea  
• opora pro buňky Cortiho orgánu  
• tvořena fibrilami keratinoidních proteinů

**Scala tympani**

**PERILYMFA**

Kostěná lamina spiralis

Spiral ganglion

**PERILYMFA**

**Vestibulární membrána (Reissnerova)**

Spiral limbus

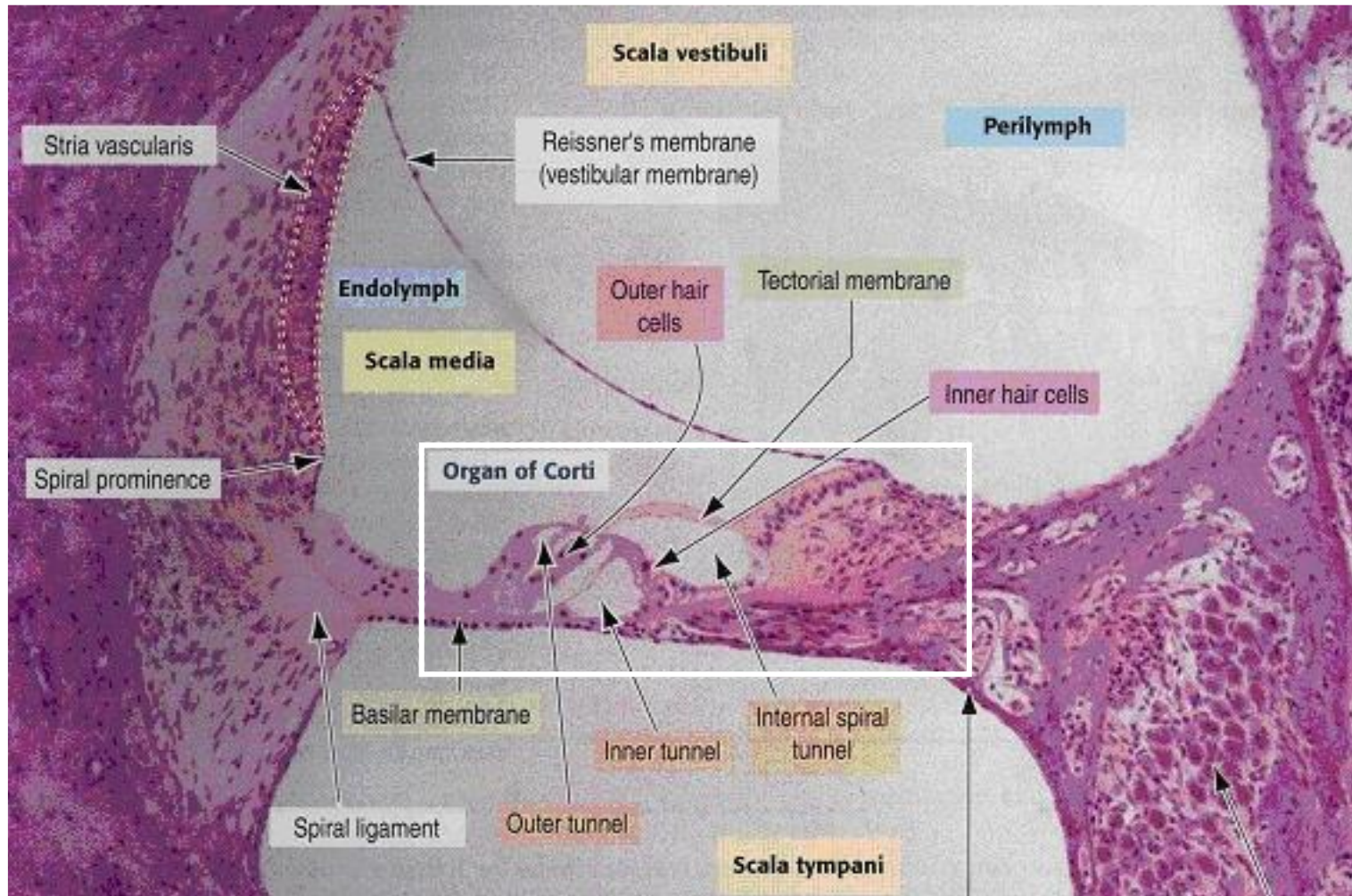
Internal spiral tunnel

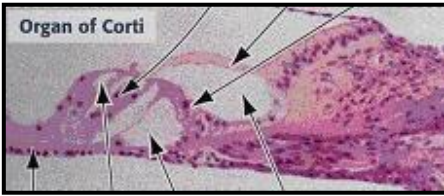
Inner hair cells

Pillar cells

Inner tunnel

# Vnitřní ucho - Cortiho orgán - 1





# Vnitřní ucho - Cortiho orgán - 2

## Sekundární smyslové buňky

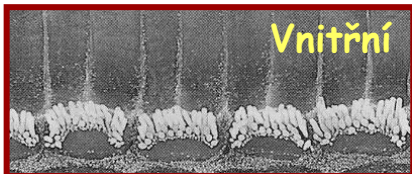
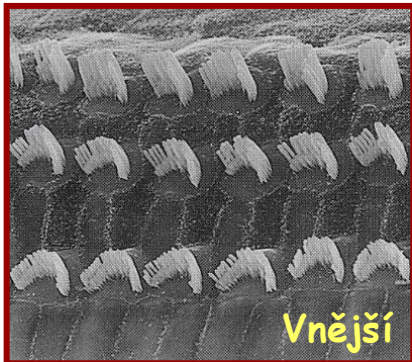
- sluchové vlásky - stereocilie
- kontakt s membrana tectoria
- baze opředeny dendrity bipolárních buněk ganglion spirale

### Vnější vláskové buňky

- 3-5 řad, ~12 000, bez axonemy

### Vnitřní vláskové buňky

- 1 řada, ~3 500, bez axon.



## Podpůrné buňky

### Hensenovy buňky

### Zevní falangové buňky

- opora vláskových buněk, které
- prostupují prostory mezi falangami

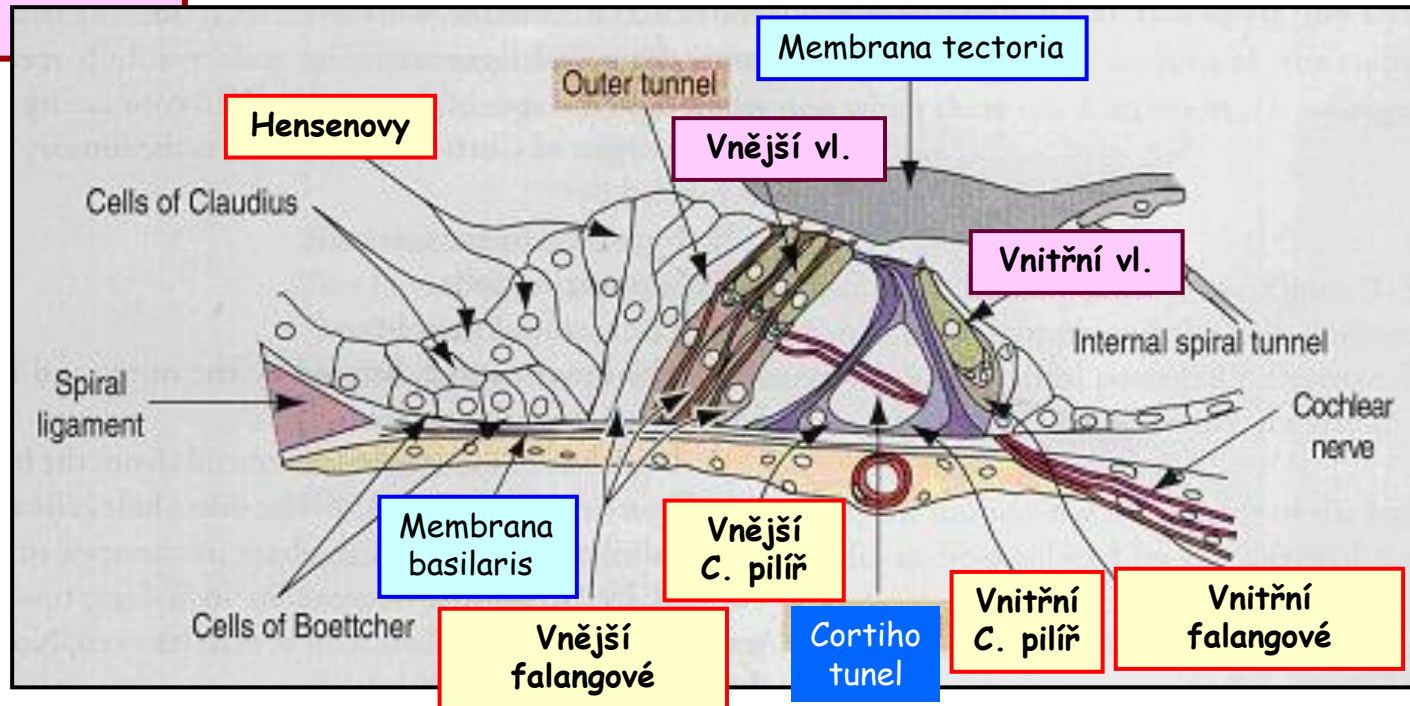
### Zevní Cortiho pilíř

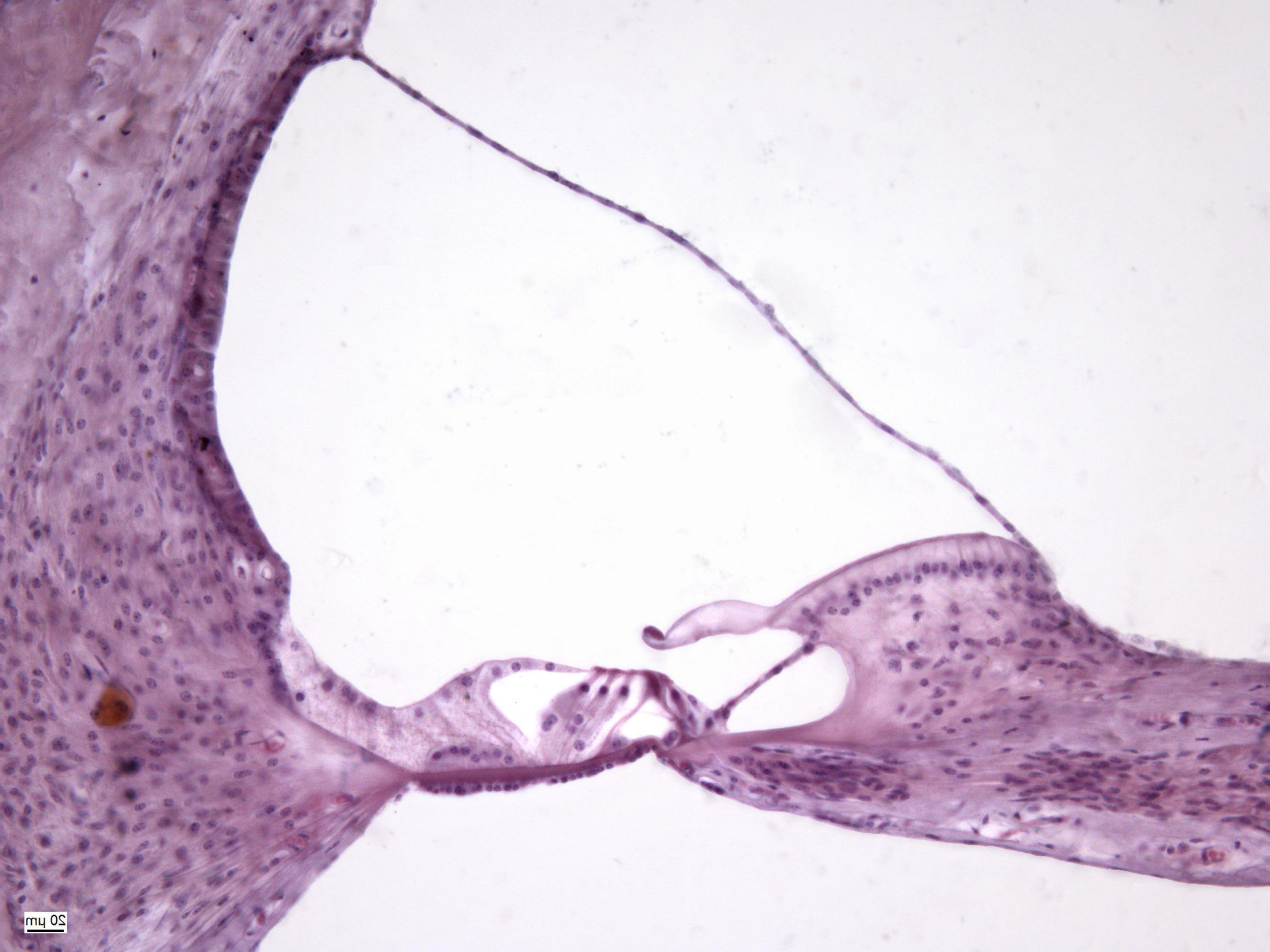
### Vnitřní Cortiho pilíř

### Vnitřní falangové buňky

- stejně jako zevní FB

### Hraniční buňky



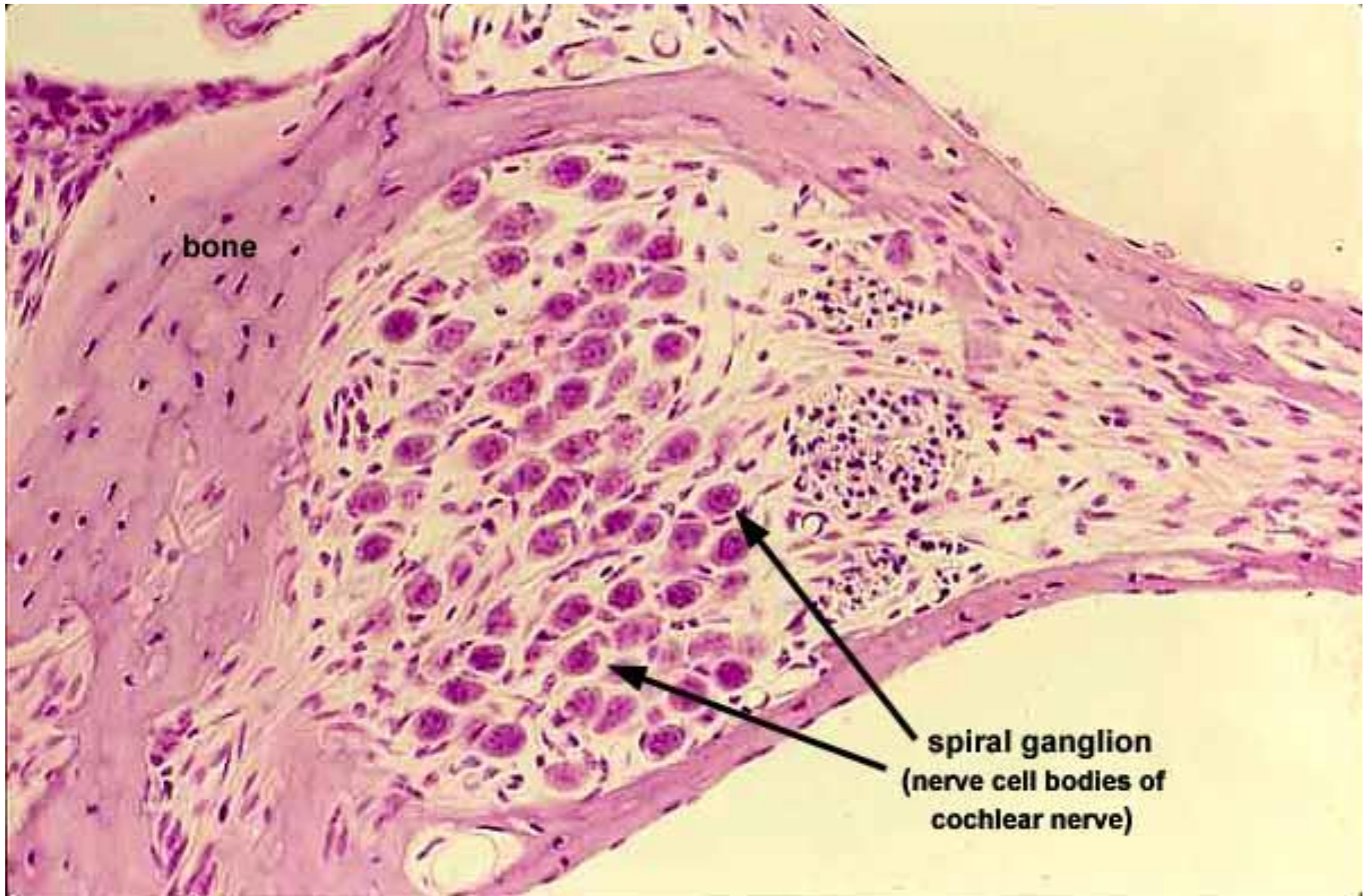




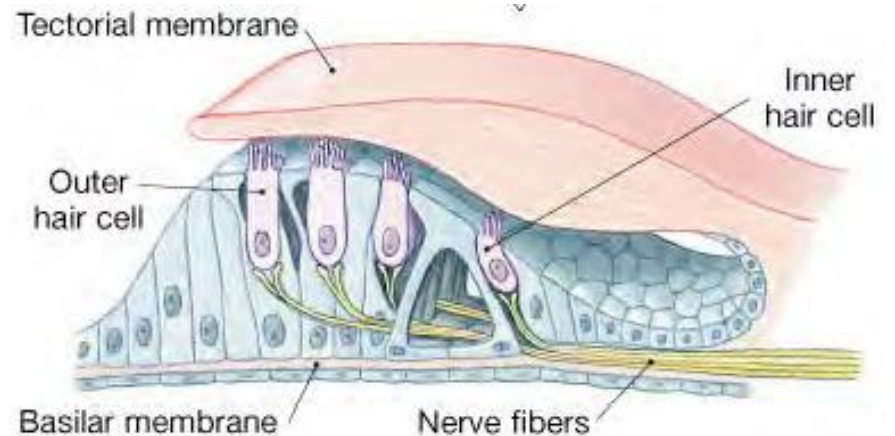
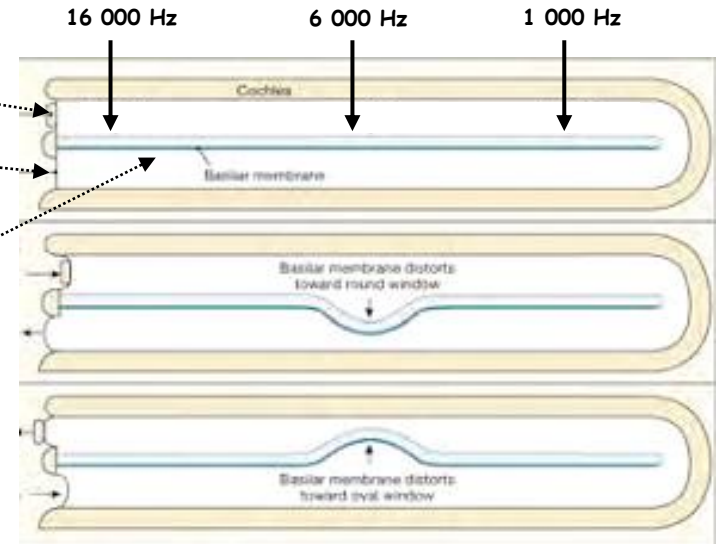
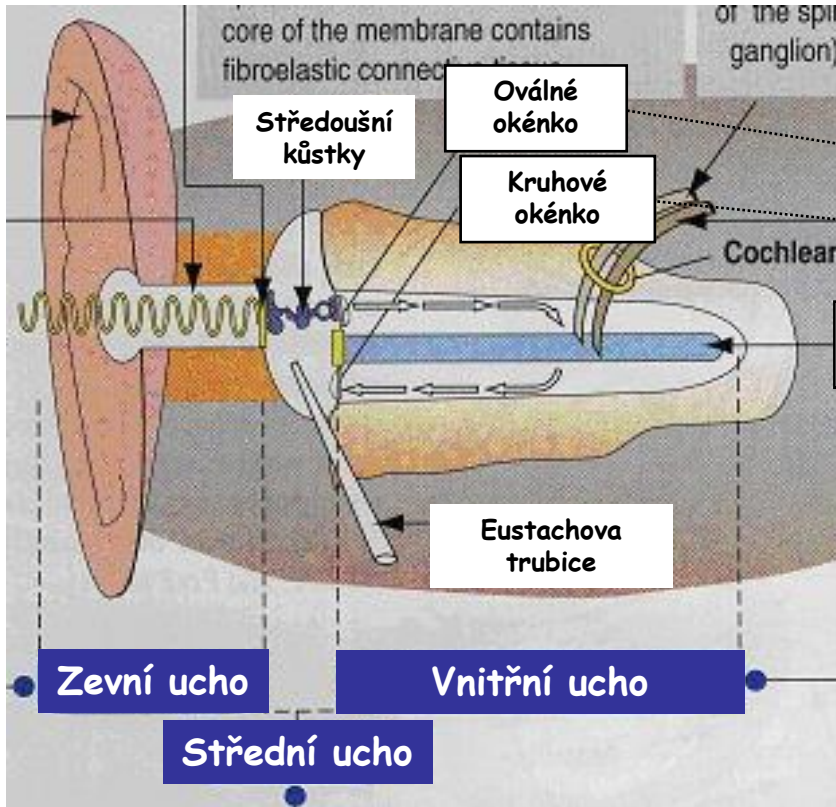
# Vláskové a falangeální buňky



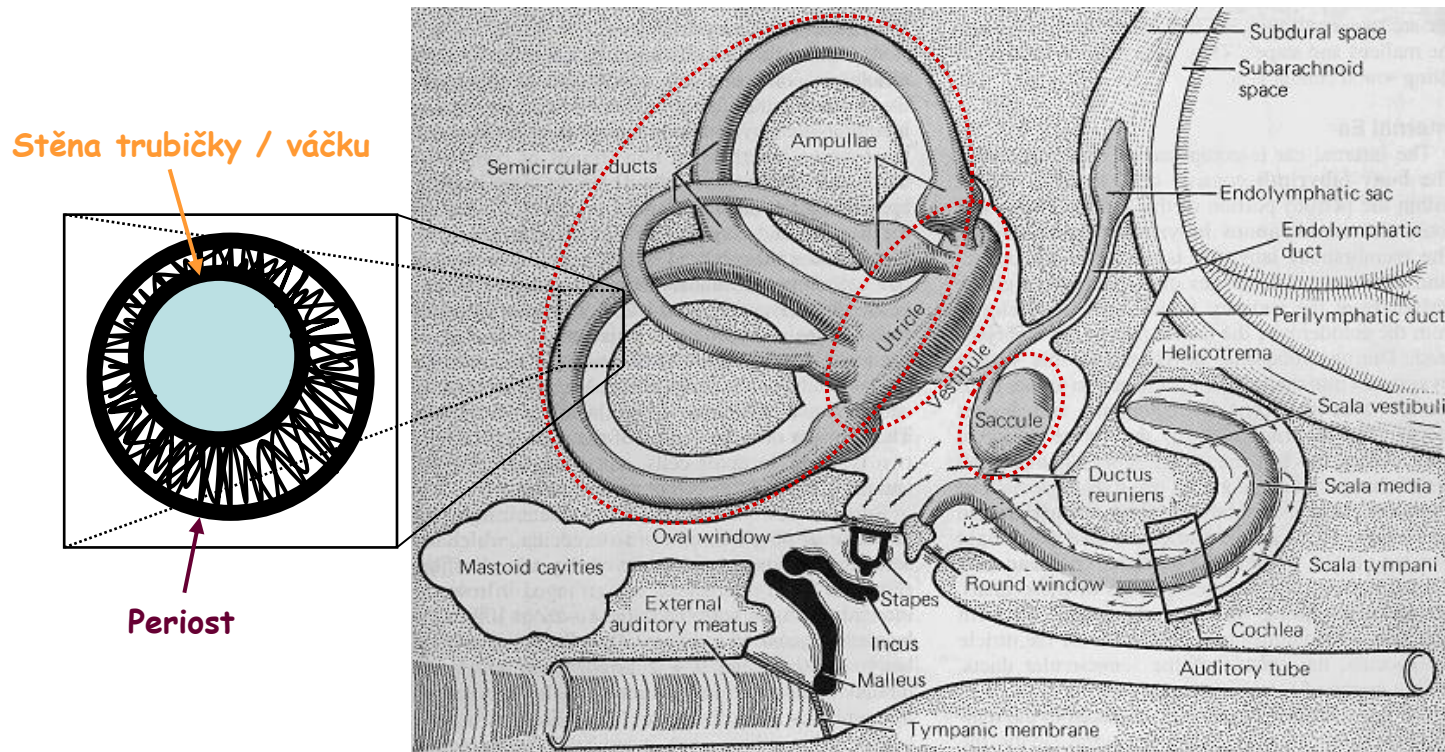
# Ganglion spirale



# Orgán sluchu - Princip slyšení



# Vnitřní ucho - Statokinetický / Vestibulární orgán - 1



**Jednotná stavba stěny (vāčky i trubičky)**  
Tenká vrstva vaziva + jednovrstvý plochý/kubický epitel.

**Jednotná koncepce stavby smyslových prvků**  
(vāčky - **maculae**; trubičky - **cristae ampullares**)  
Zesílení stěny s neuroepitelovými buňkami inervovanými větvemi n. vestibularis.

# Vnitřní ucho - Statokinetický / Vestibulární orgán - 2

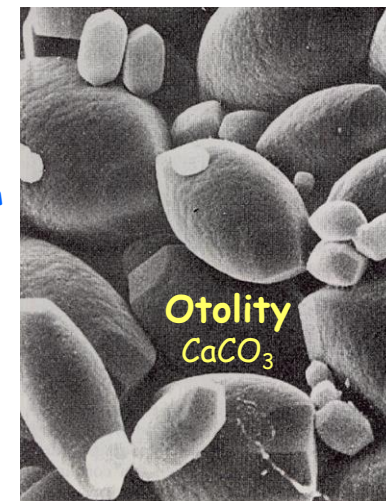
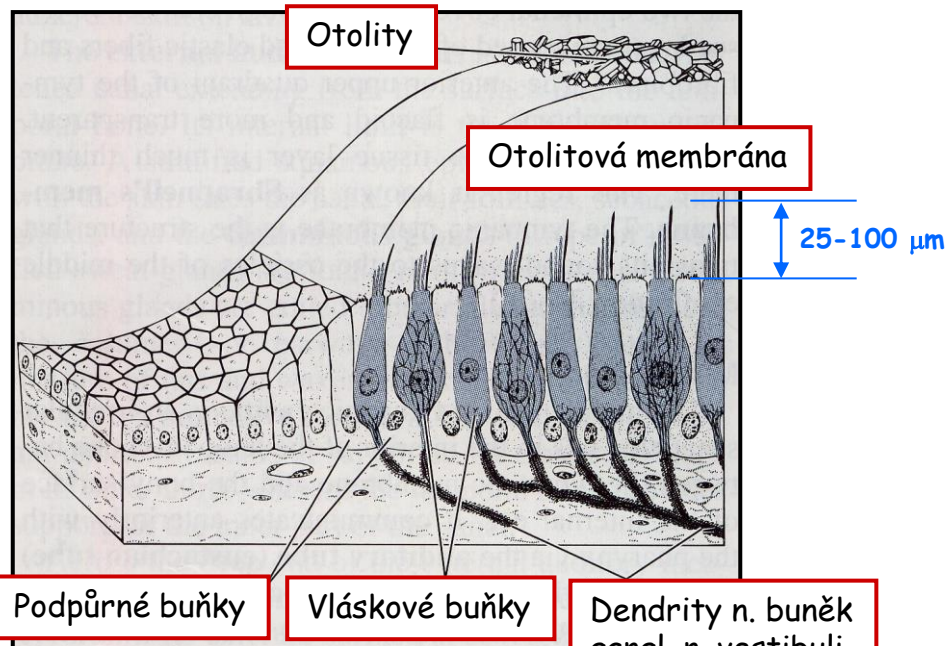
## Snímání statické rovnováhy (maculae = statické skrvny)

Odklon od směru  
zemské gravitace  
(gravitační síla otolitů)  
max. tlak - max. tah

### Umístění makul

Sacculus  
dno

Utriculus  
laterální stěna



Řasinka  
bez axonemy

Terminální pleteň  
tonofibril

Stereocilie  
(mikroklky)

Vlásková buňka

Podpůrná buňka

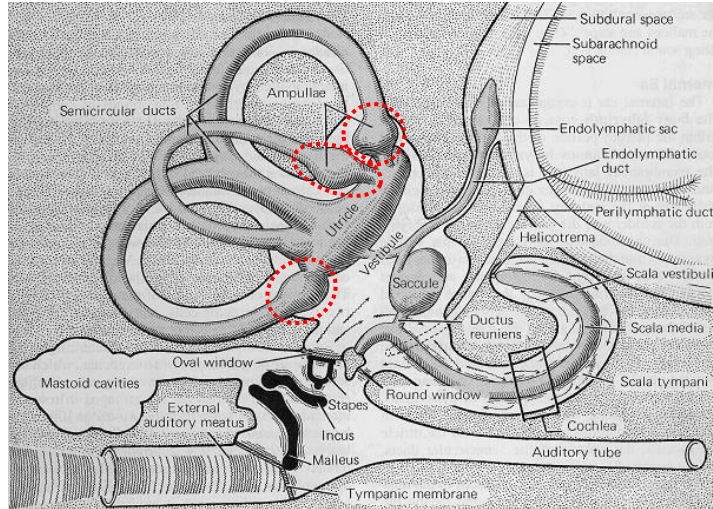
Aferentní inervace

Eferentní inervace

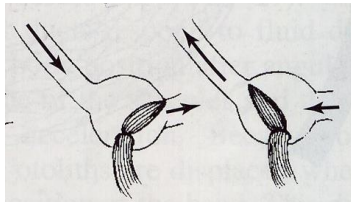


# Vnitřní ucho - Statokinetický / Vestibulární orgán - 3

## Snímání dynamické rovnováhy (cristae ampulares)

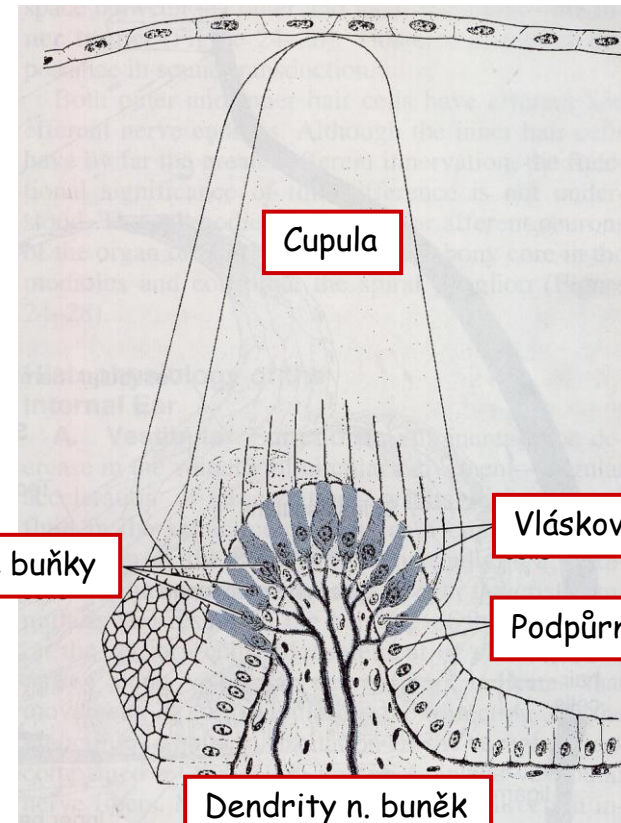


Reakce na setrvačné zrychlení  
(pohyb endolymfy)



### Umístění CA

- v „ampulách“ ductus semicirculares
- hřebeny CA kolmo na osu DS



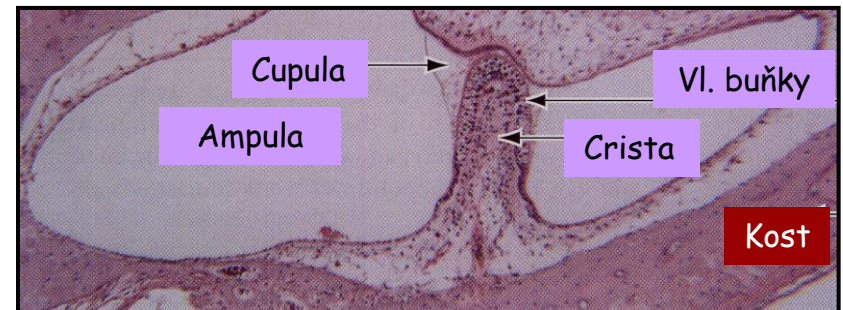
Vláskové buňky

Cupula

Vláskové buňky

Podpůrné buňky

Dendrity n. buněk  
gangl. n. vestibuli



Cupula

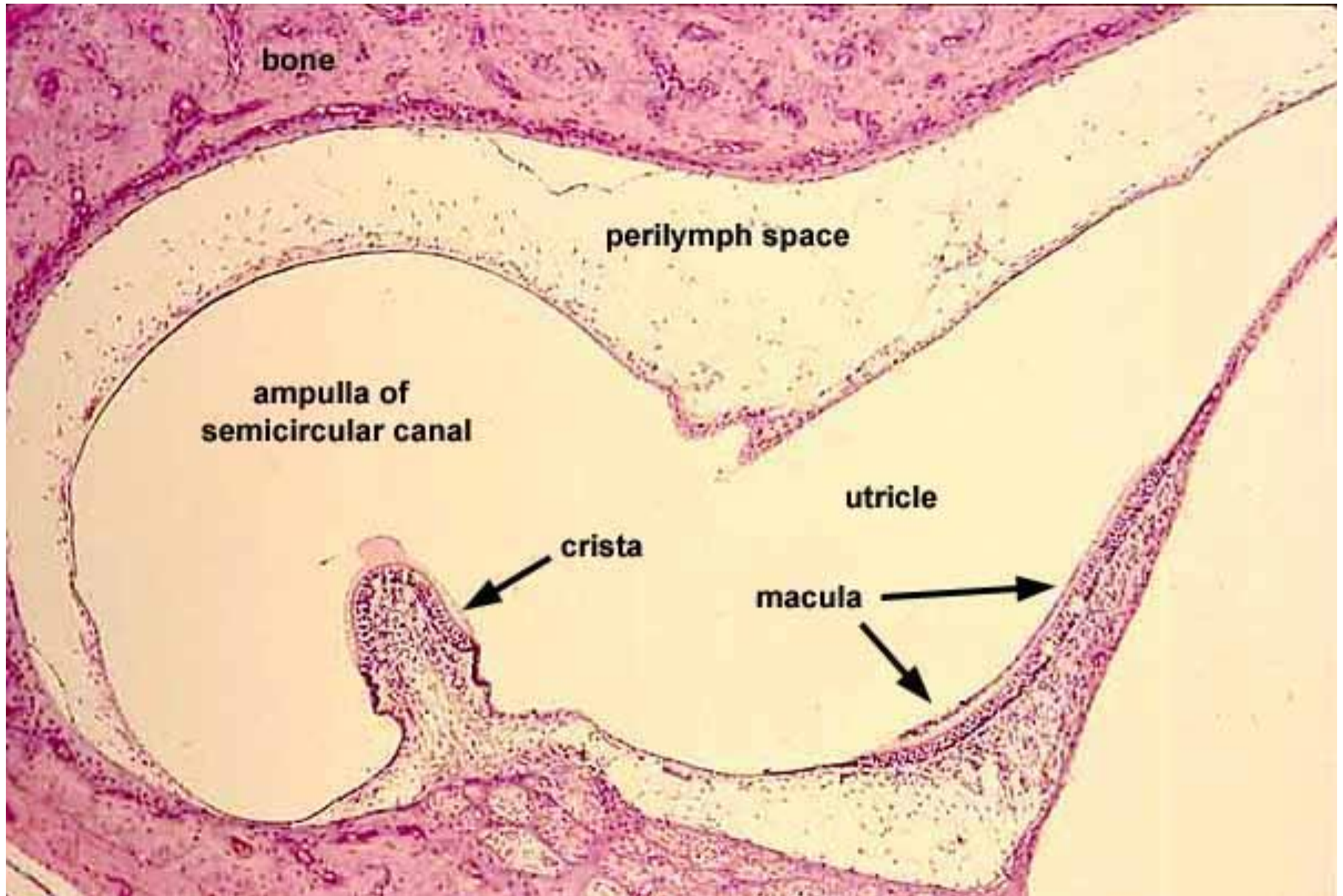
VI. buňky

Ampula

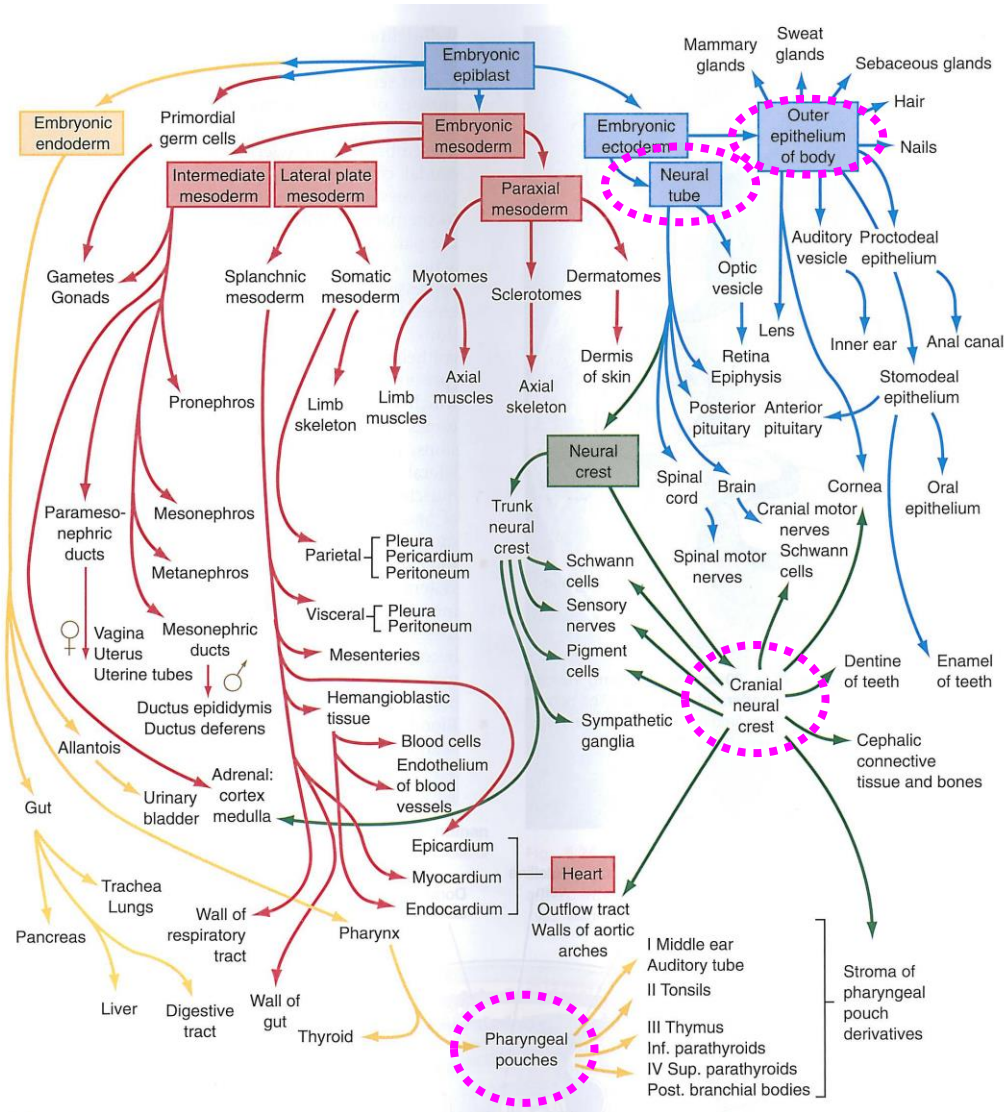
Crista

Kost

# Blanitý labyrint

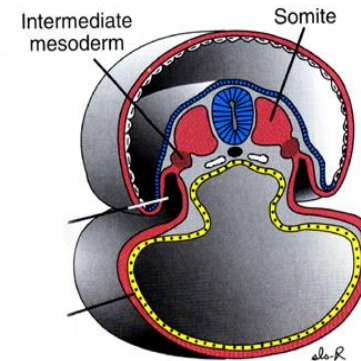
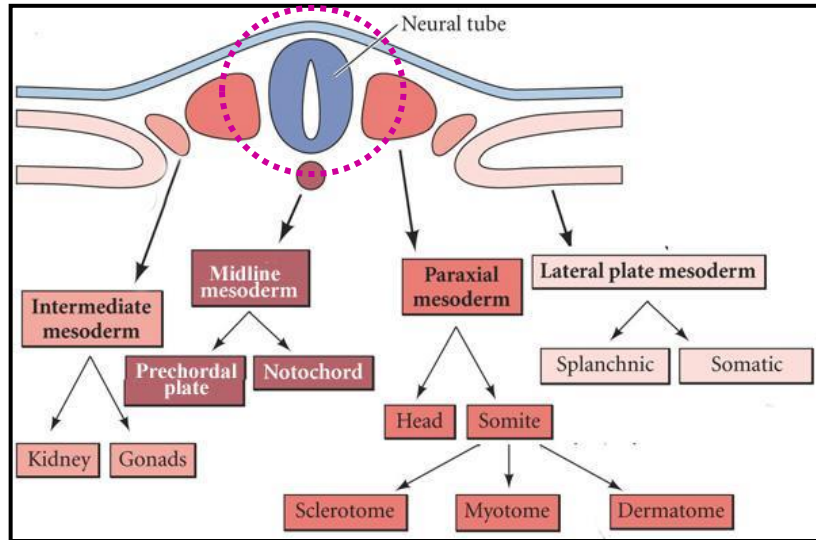
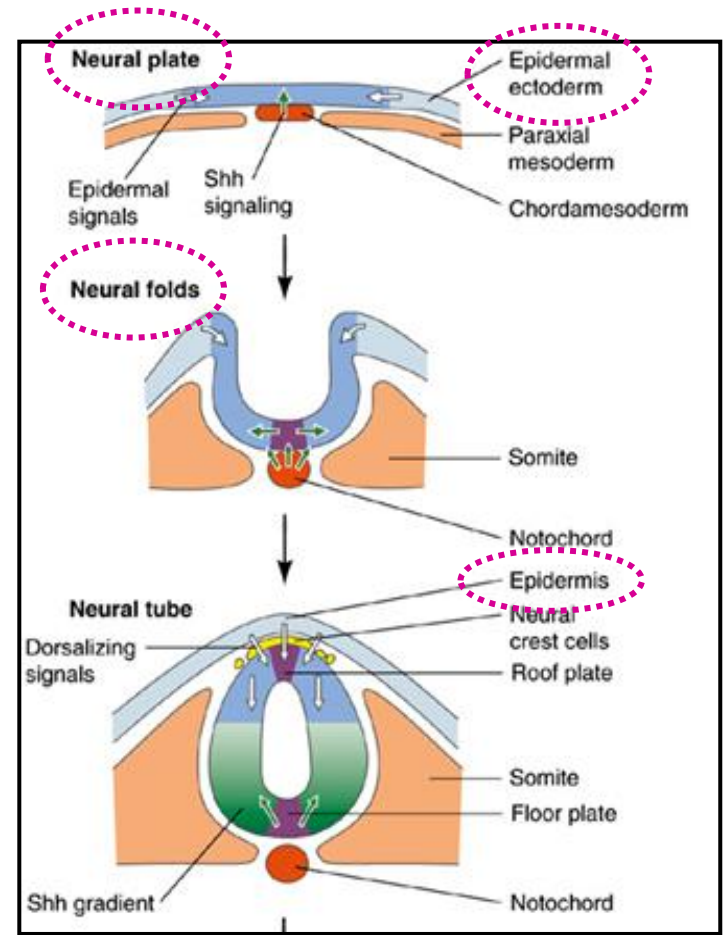
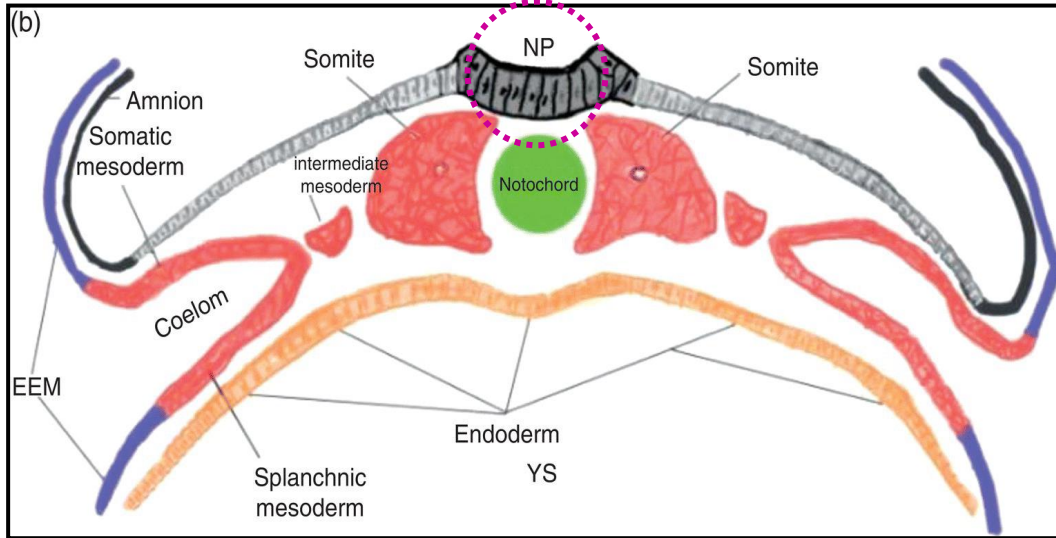


# Vývoj smyslových orgánů - Celkový obrázek



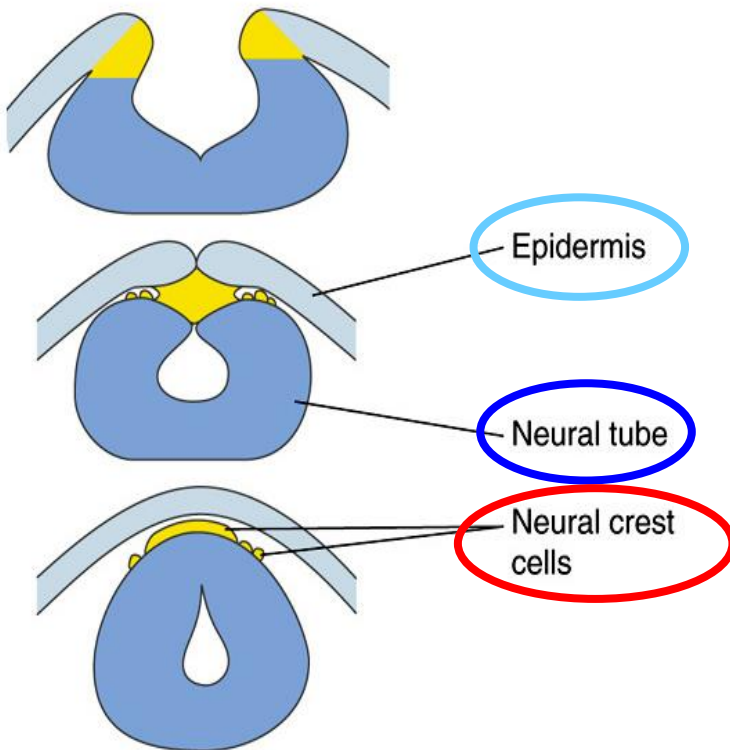


# Smyslové orgány - Nervová trubice

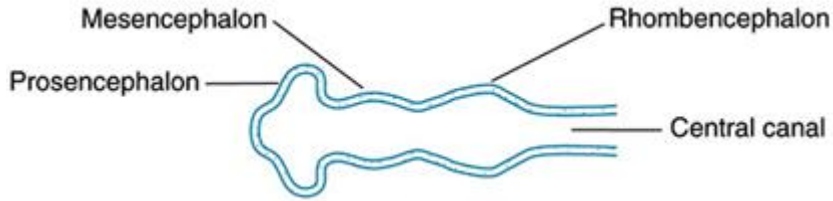


# Smyslové orgány - Neurální lišta

Vzniká z obou  
dorzální epidermis a nervové ploténky



# Smyslové orgány - Kraniální část nervové trubice + Plakody

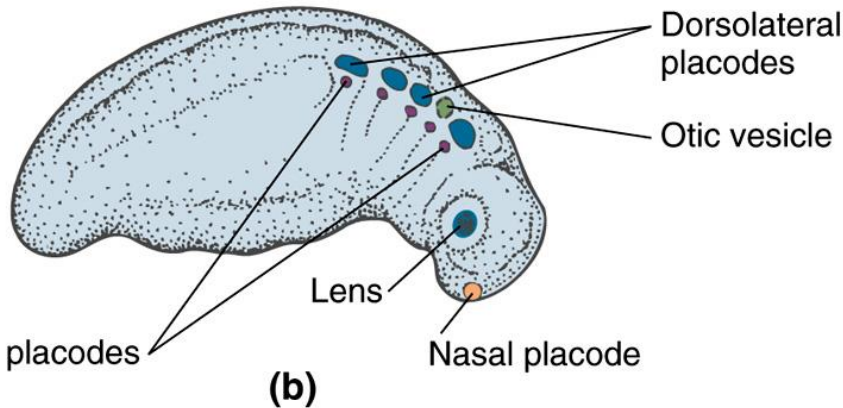


## Mozek po 4 týdnech vývoje

**Plakody:** okrsky nahuštěného cylindrického epitelu v epidermis pokrývající hlavovou část zárodku - jejich formování je indukováno pod ním ležící nervovou tkání a mesenchymem - **vyvíjí se ve 4 týdnu**



Placode  
(a)



### Dorsolaterální plakody

Přispívají k vývoji:

- oka - plakoda čočky
- ucha - ušní plakoda
- sensorického epitelu nosu - nazální plakoda
- sensorických ganglií

### Epibranchiální plakody

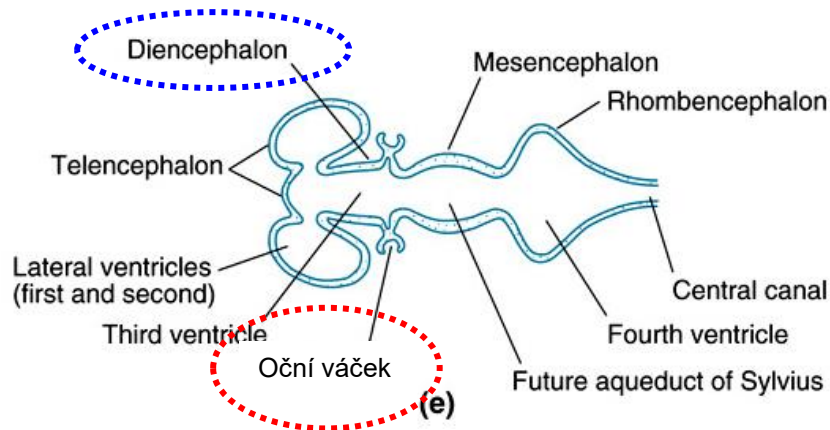
Dávají vznik:

- sensorickým gangliím hlavových nervů (V, VII, IX, X)

# Smyslové orgány - Vývoj oka 1

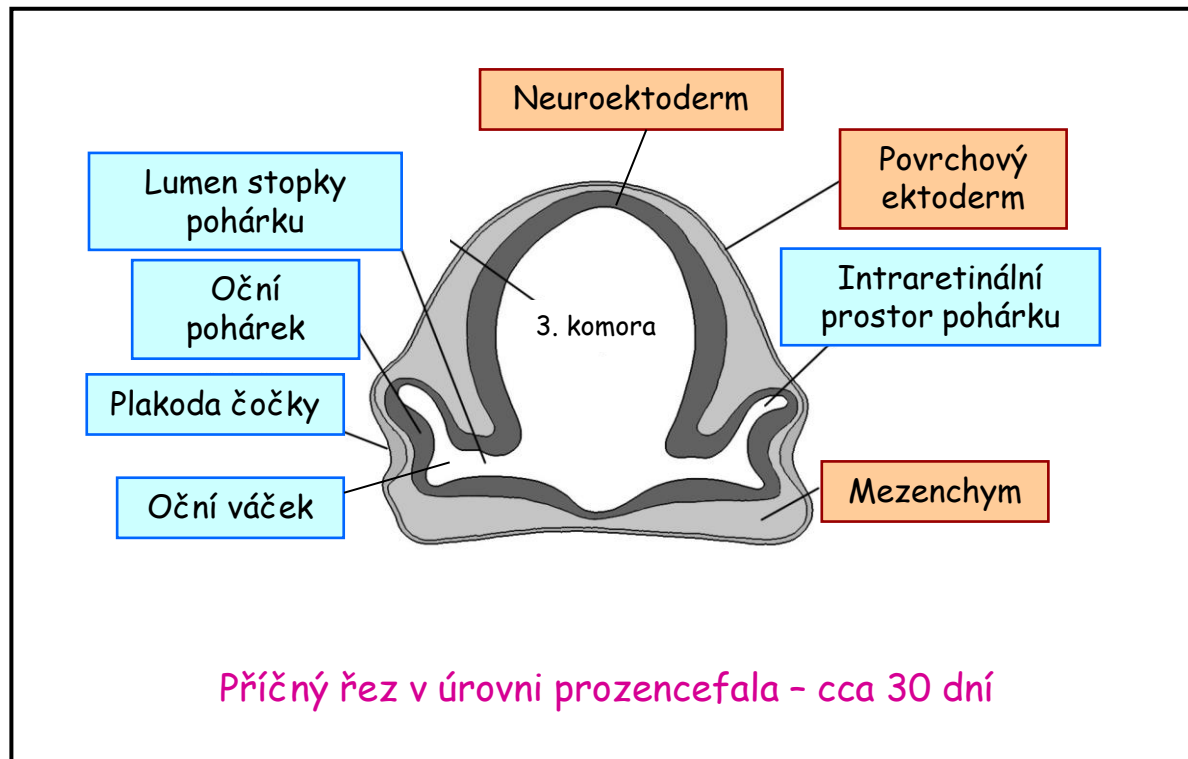
22 týden - první známky vývoje oka

- **vklesliny** po stranách předního mozku
- **oční výchlípky** předního mozkového váčku



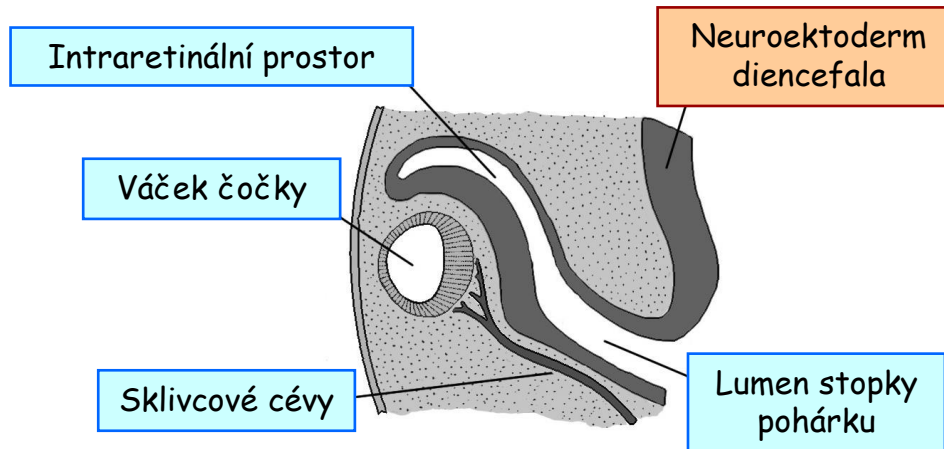
Mozek po 4 týdnech vývoje

## Smyslové orgány - Vývoj oka 2

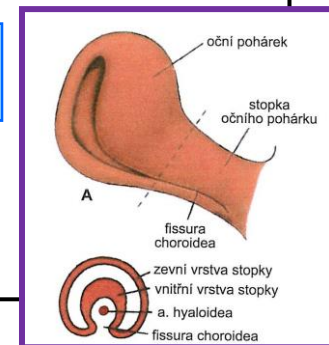


# Smyslové orgány - Vývoj oka 3

Další vchlípnutí, přechází i na stopku očního pohárku - **fissura choroidea**.  
Kondenzace mezenchymu ve f.choroidea - sklivcové cévy (a. a v. hyaloidei).



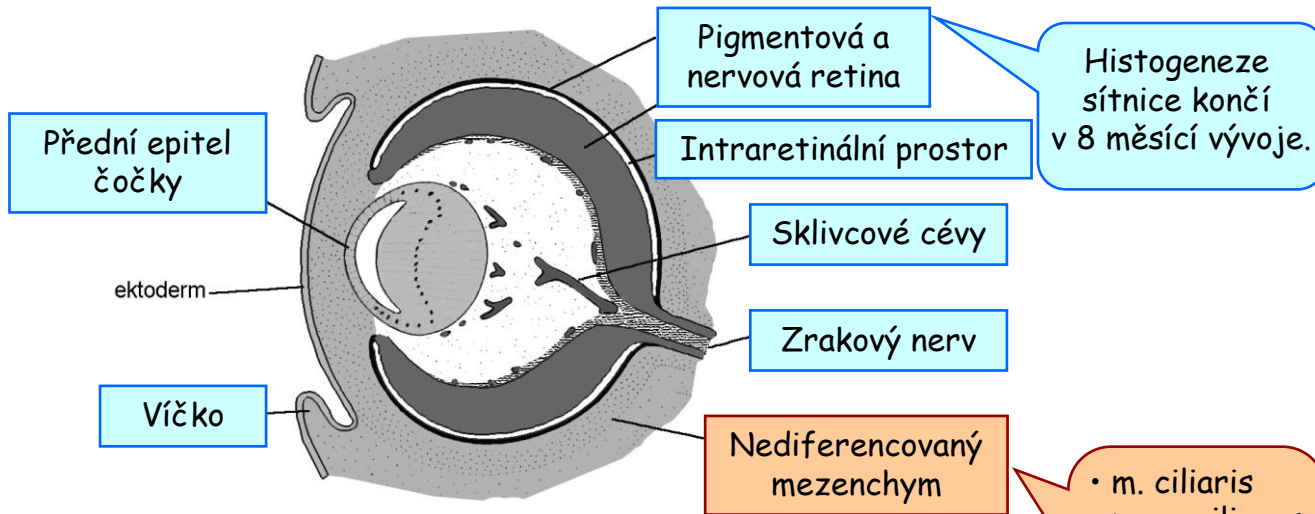
Příčný řez v úrovni diencefala - cca 6 týdnů



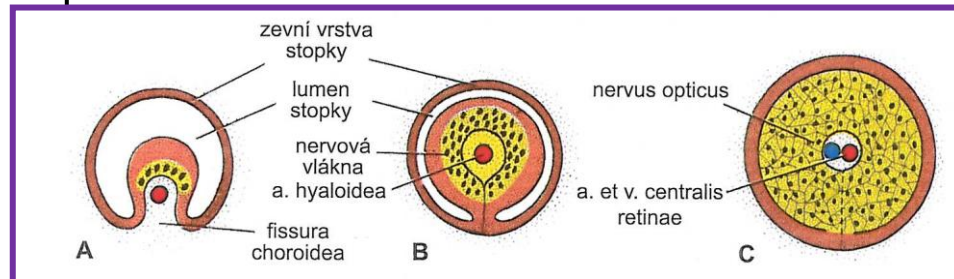
# Smyslové orgány - Vývoj oka 4

**Fissura choroidea se uzavírá - vzniká zrakový nerv.**

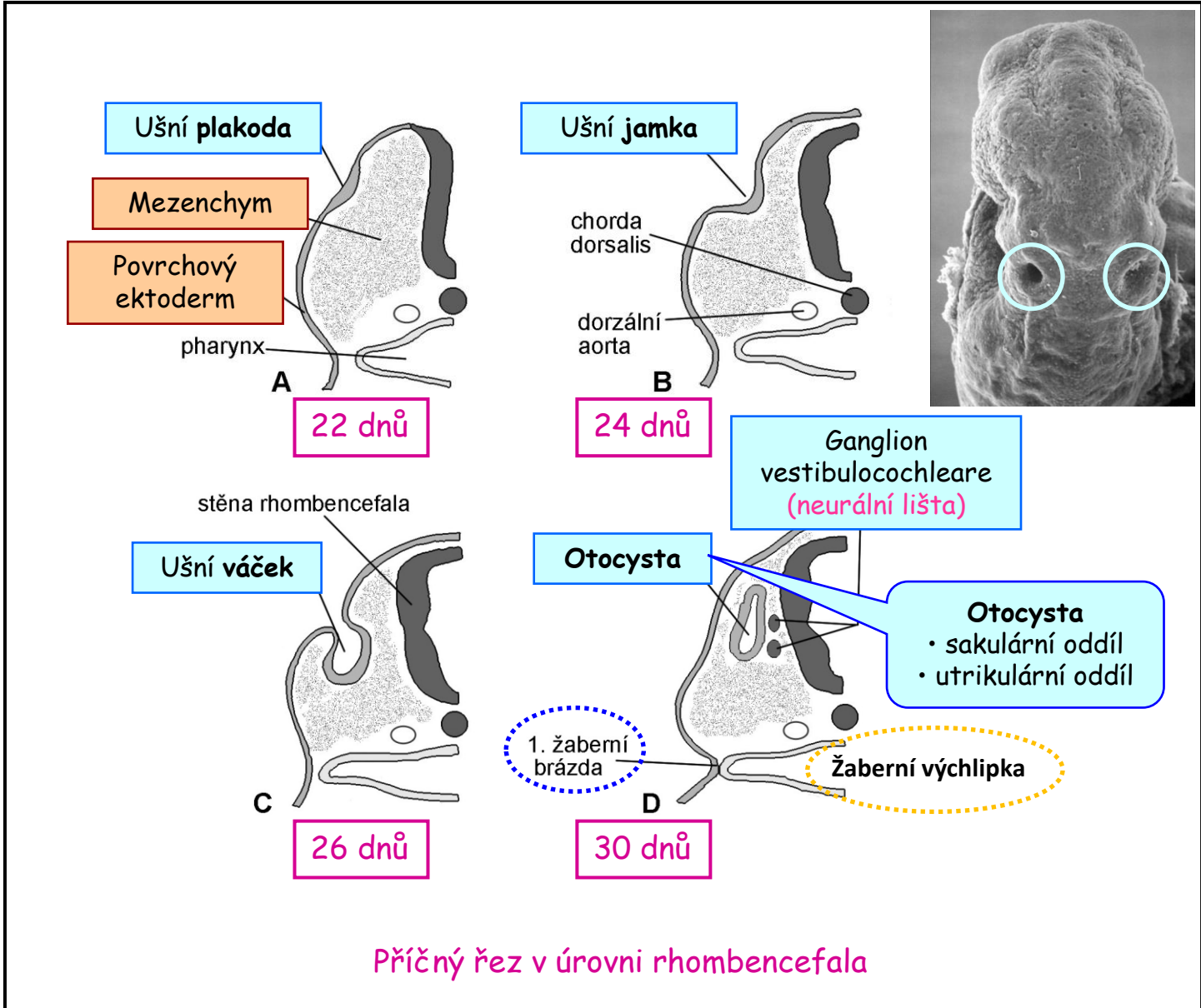
Čočkový váček se odškrucuje - zaujímá centrální pozici - vzniká jádro čočky s prvními vlákny



Příčný řez vyvíjejícím se okem - cca 7 týdnů



# Smyslové orgány - Vývoj ucha 1





# Smyslové orgány - Vývoj ucha 2

## 6-8 týden

- vývoj ductus cochlearis ze sacculárního základu
- vývoj ductus semicirculares z utrikulárního základu

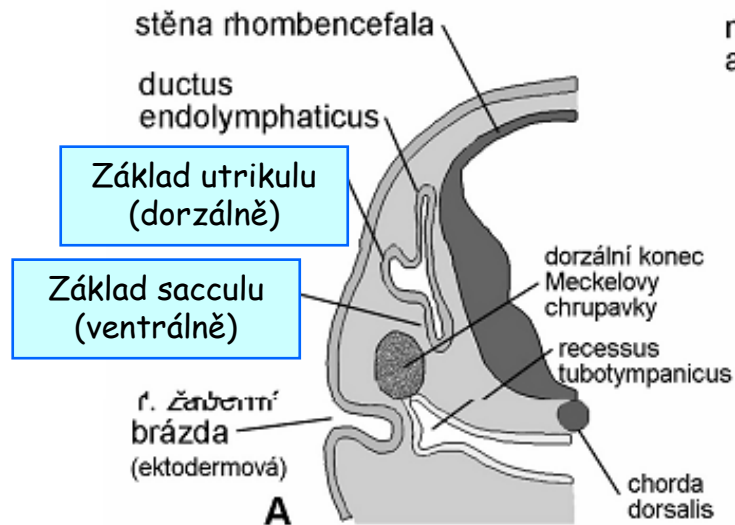
## 10 týden

- mezenchym se formuje do dutinek scala vestibuli a scala tympani a jejich vazivové výstelky

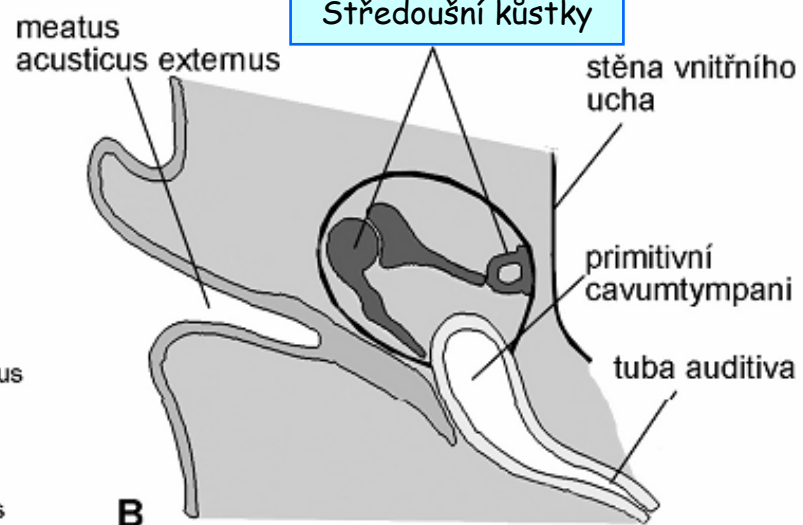
## 10 týden-3. trimestr

- vývoj Cortiho orgánu

z chrupavek 1. a 2.  
žaberního oblouku  
(až do 8. m obaleny  
mezenchymem)



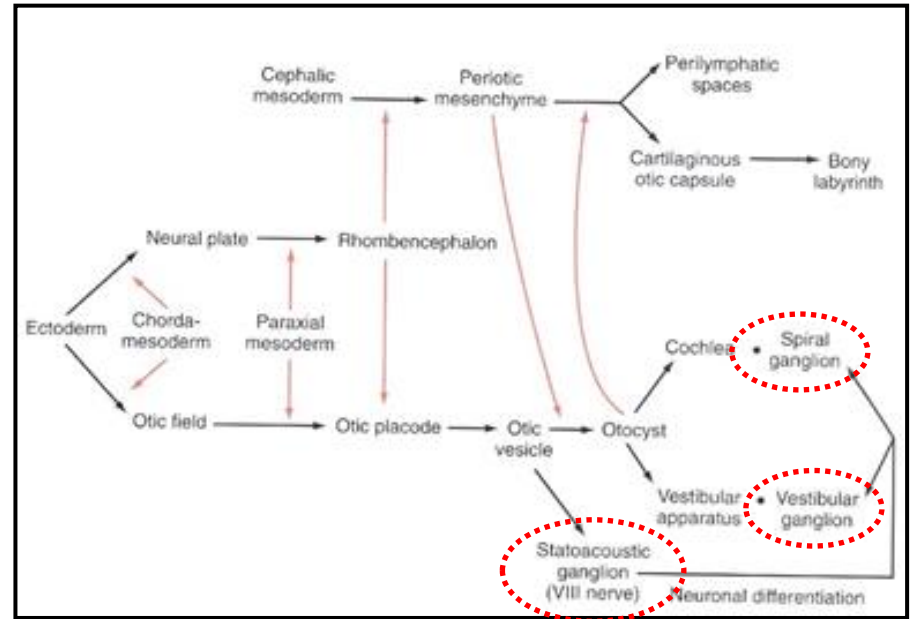
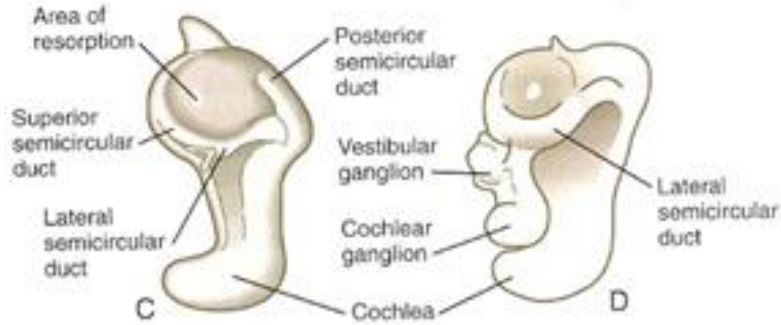
7 týden



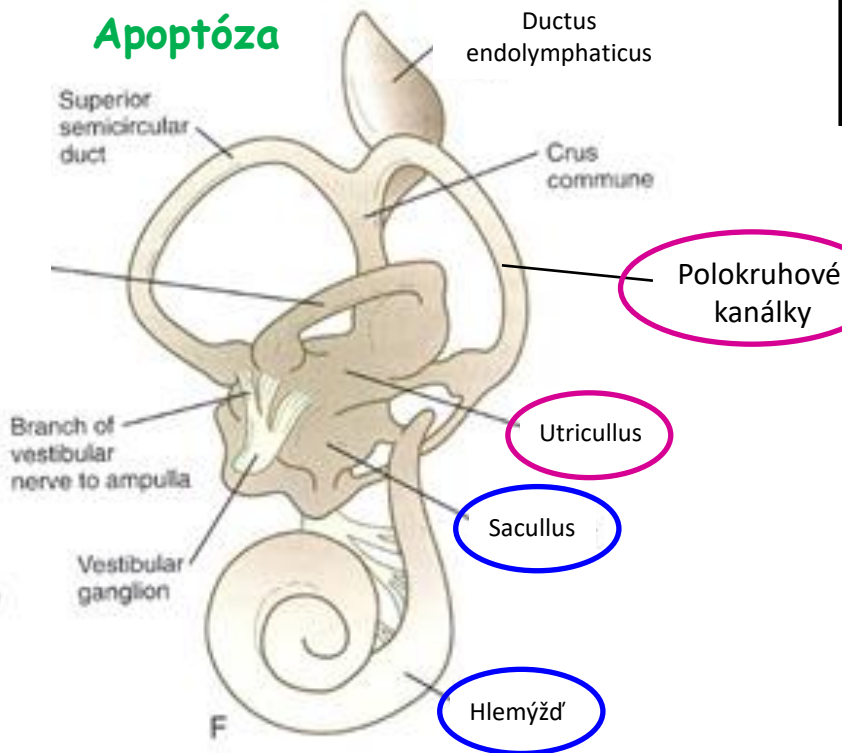
konec 3. měsíce

# Vývoj ucha - Vnitřní ucho 2

## Elongace

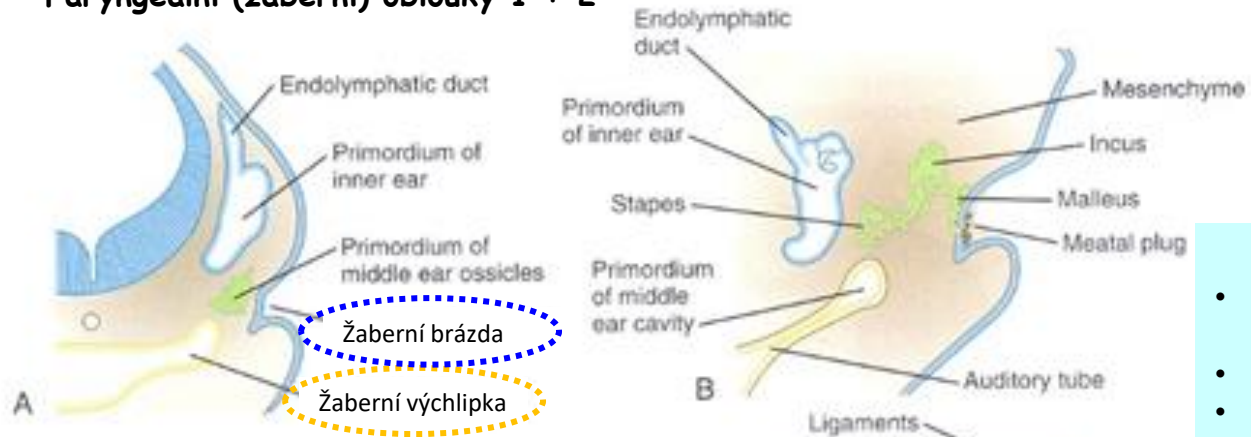


## Apoptóza



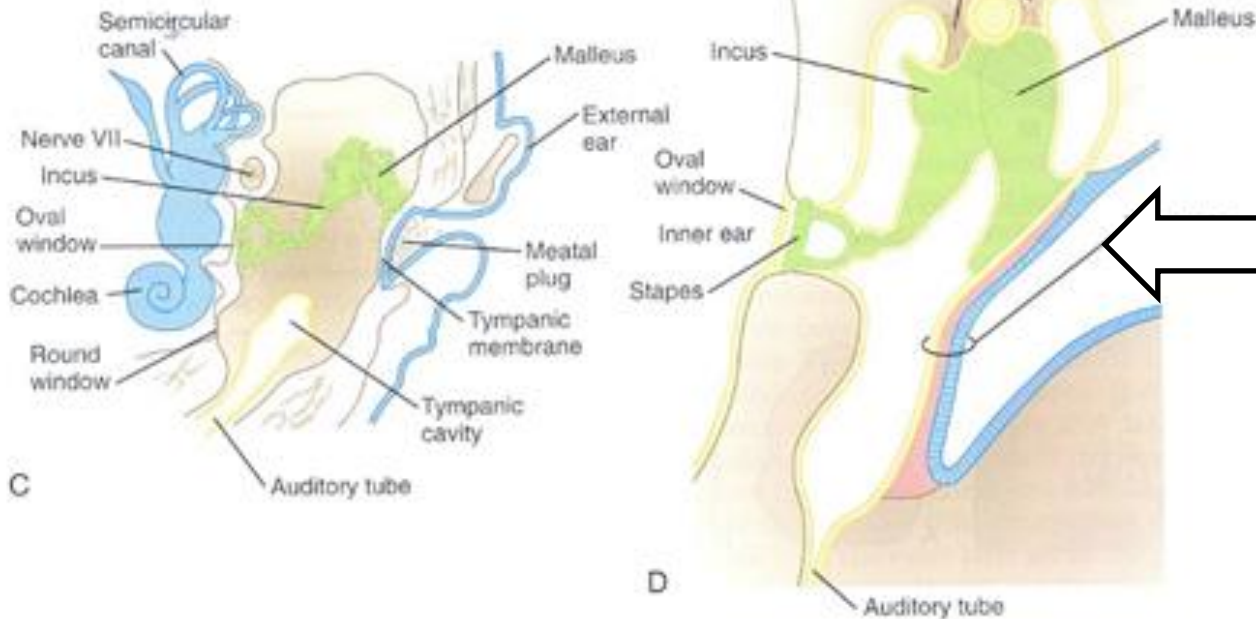
# Vývoj ucha - Vnitřní ucho 3

Faryngeální (žaberní) oblouky 1 + 2



**Středoušní kůstky**

- Mezenchym odvozený z neurální lišty (žab. oblouky 1+2)
- Obdány mezenchymem
- Apoptóza v pozdní graviditě



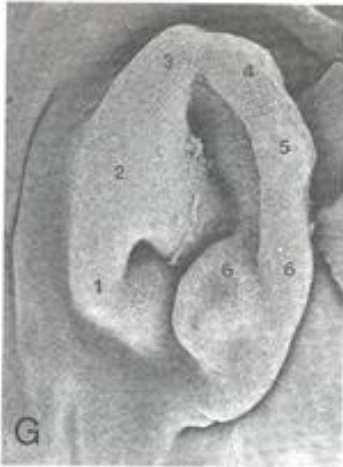
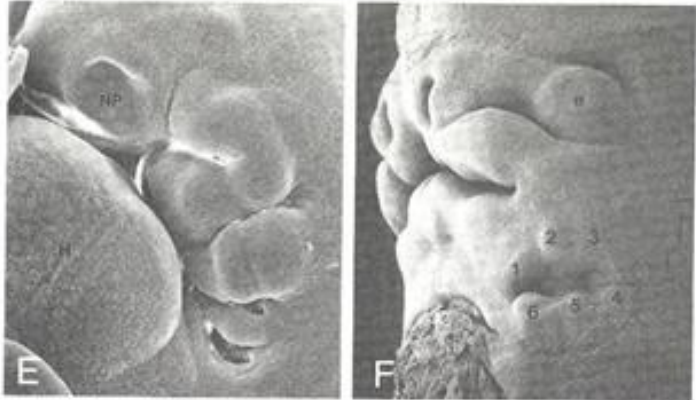
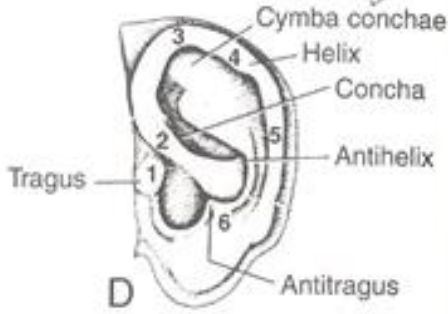
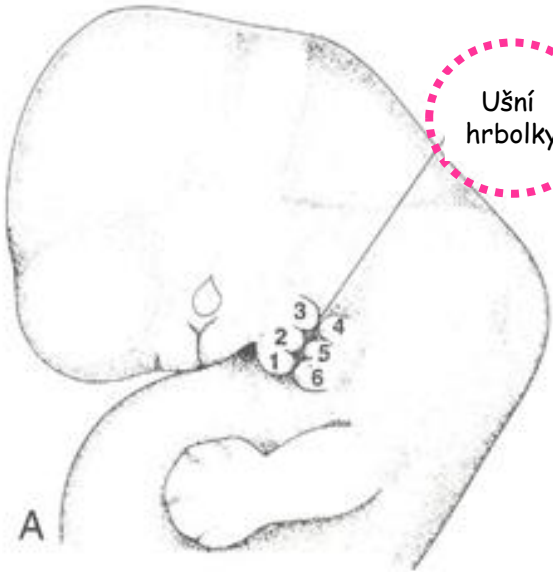
**Ušní bubínek**

Entoderm (str. mucosum)  
 Mezoderm (str. fibrosum)  
 Ektoderm (str. cutaneum)

# Vývoj ucha - Vnější ucho

Mezenchym

Ušní hrbolky



Zevní zvukovod - ektoderm

Děkuji za pozornost !