# Mikroskopická stavba smyslových orgánů

Aleš Hampl

# 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 tělíska

**Složitá čidla**

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

# Orgán zraku – Oko

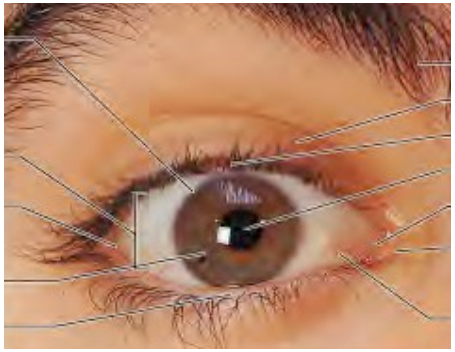
**Analyzuje tvar, intenzitu a barvu světla odraženou objekty**

## Oční koule
(s trojvrstvou strukturou)

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

## Přídatné struktury oka

- víčko,
- spojivka
- slzný aparát
- okohybné svaly



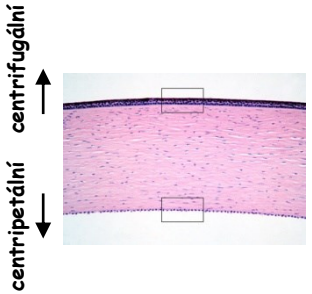
# Jaké požadavky by struktury oka měl splnit ?

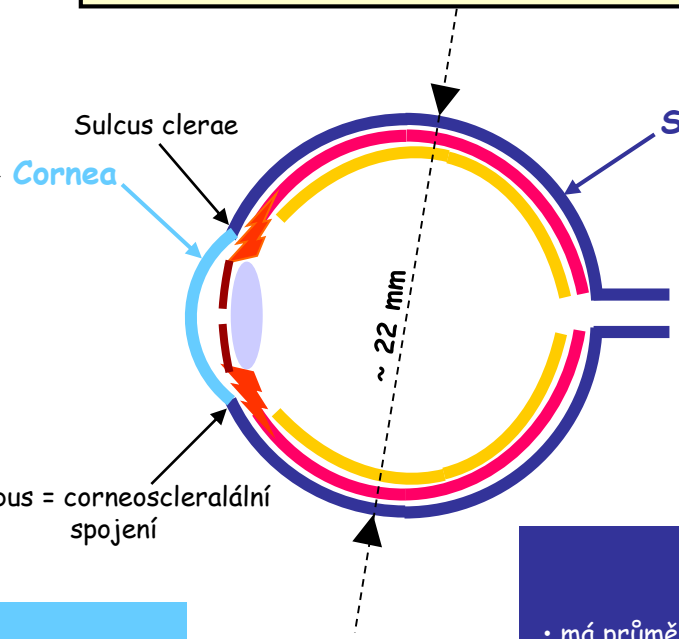
- Schopnost přijímat signály a přenášet je do CNS ke zpracování
- Schopnost ostřit na objekty
- Dostatečná pevnost (odolnost)
- Schopnost regenerovat
- Volný pohyb – minimální frikce

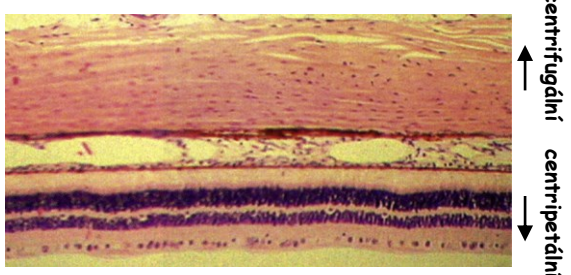
# Dostatečná pevnost (odolnost)

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

| Cornea (Rohovka) | + | Sclera (Bělima) | = | Tunica externa oculi |
|---|---|---|---|---|
| 1/6 | + | 5/6 | = | 6/6 povrchu oka |




## Cornea

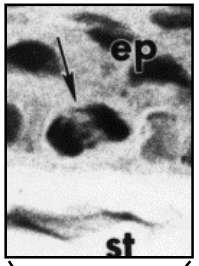
- má průměrnou tloušťku asi 0.9-1.0 mm
- je bezbarvá
- je transparentní
- je zcela avaskulární
- sestává z 5-ti odlišitelných vrstev

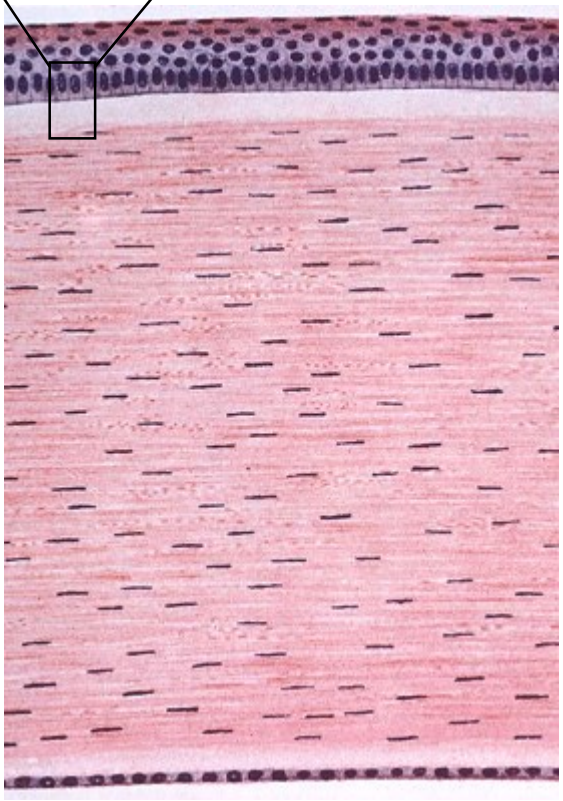
**pokračování na dalším obrázku**

## Sclera

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

# Cornea
## (transverzální řez)



Přední

Zadní

**Přední epitel rohovky**

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

**Bowmanova membrána**

= **Lamina limitans anterior**
- má tloušťku asi 7 – 12 μm
- 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 oplostělé 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**

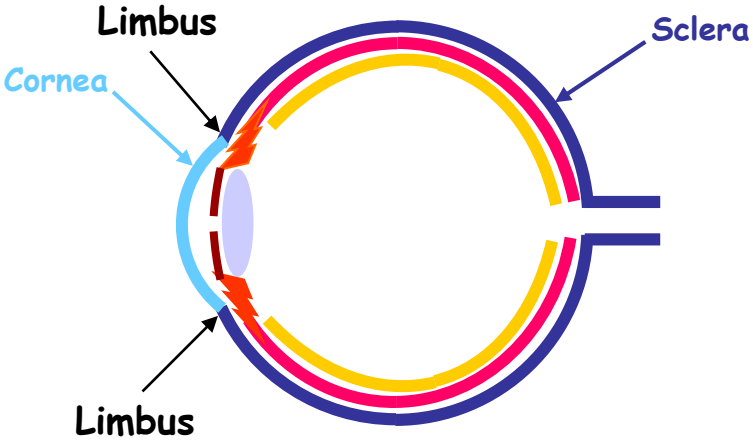
- jednovrstevný dlaždicový epitel
- svojí aktivitou udržuje ve správném stavu stroma rohovky
- přechází na na přední plochu duhovky
  (přes spongium anguli iridocornealis)

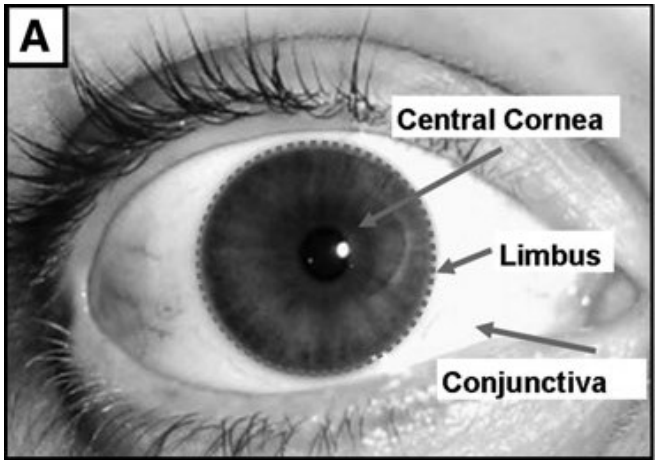
# Schopnost regenerace

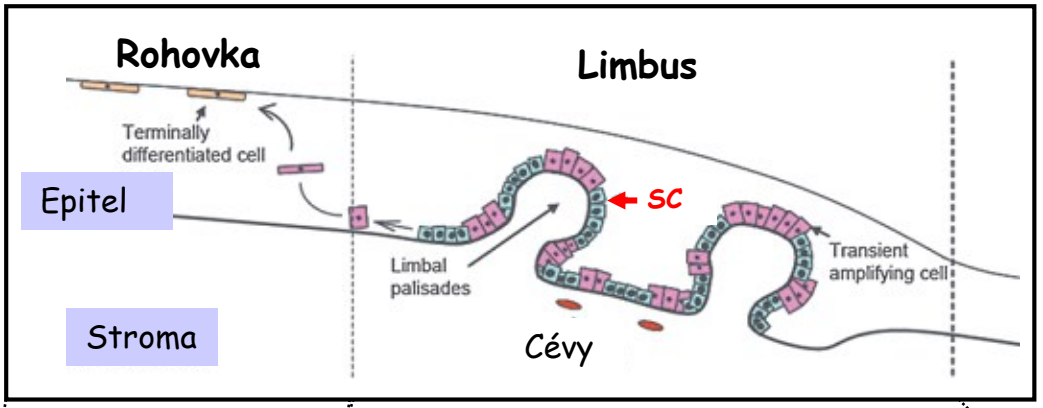
## **Limbus** – corneosclerální spojení

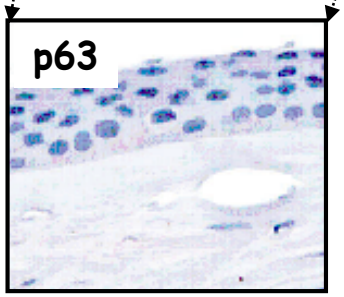
Je oblast přechodu trasparentních kolagenních vláken rohovky v netransparetní kolagennní vlákna bělimy.

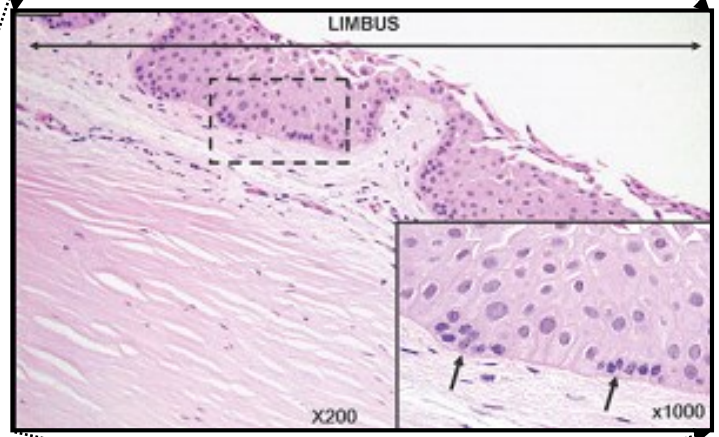
Je vysoce vaskularizovaná – vyživuje bezcévnou rohovku.

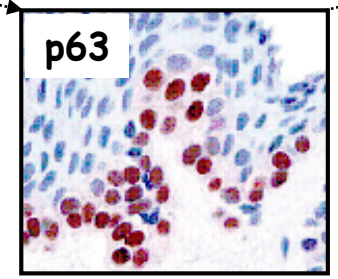


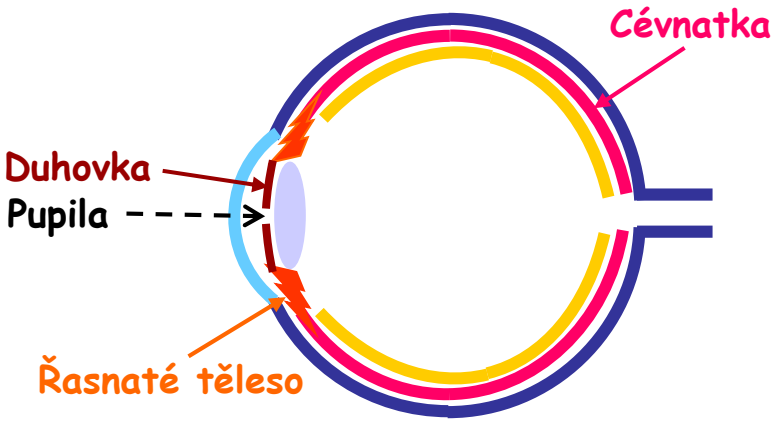






# Dostatečné zásobení zdroji

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

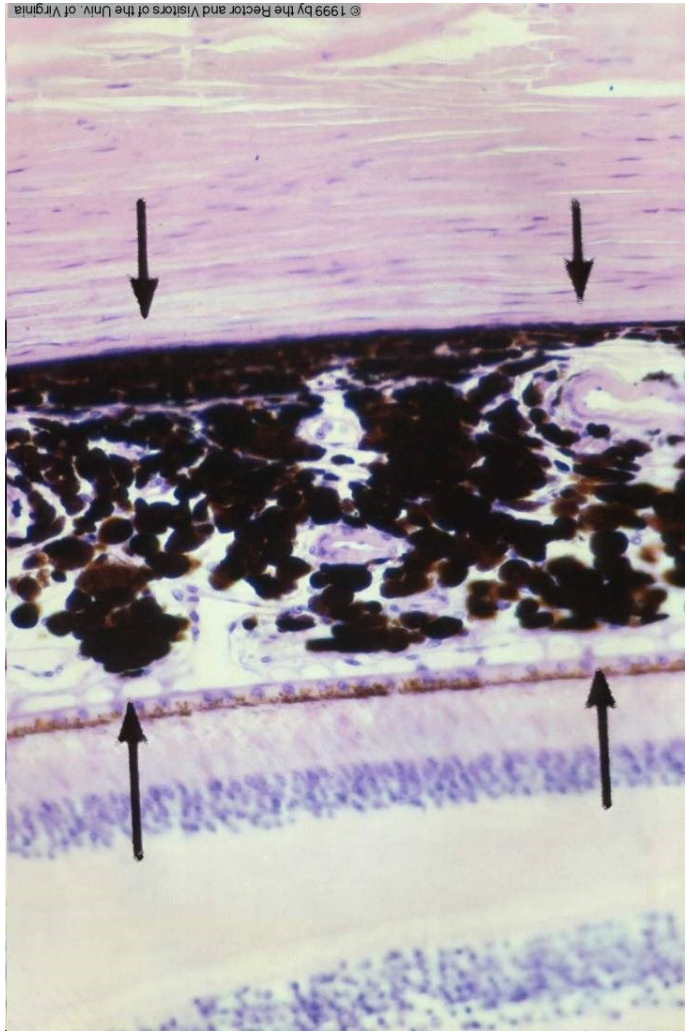
## Cévnatka = 4-vrstvá struktura

### 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 silnějšíší 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 μm
- vytváří přechod mezi bazálními membránami Lamina choriocapillaris a pigmentového epitelu sítnice

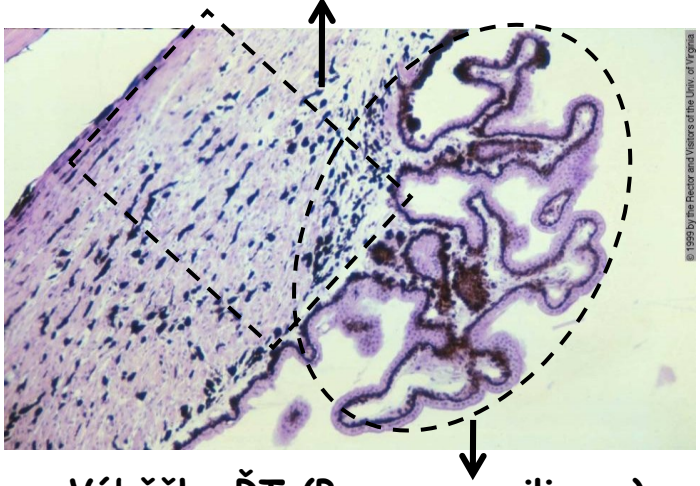


# Schopnost zaostřit na objekty

## 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*)



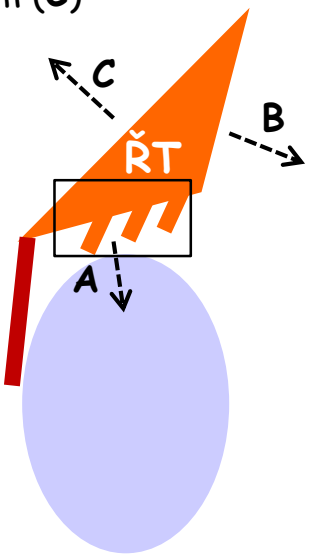

### Výběžky ŘT (Processus ciliares)

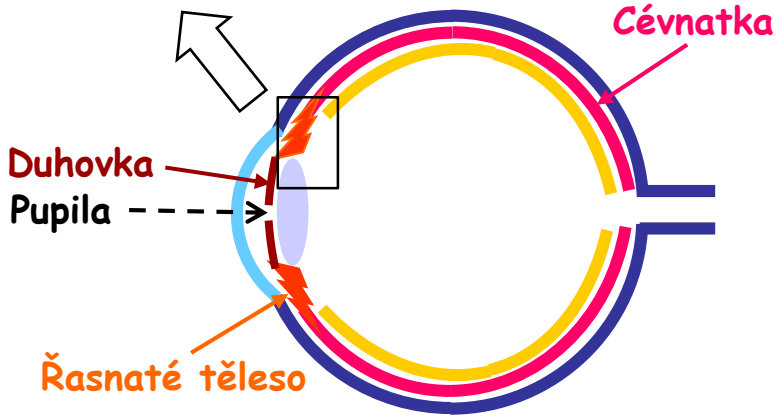
- prominují do zadní komory
- celkový počet asi 70-80
- bohaté kapilárami (komorový mok)
- pokryto dvouvrstvým epitelem (přechází ze sítnice – *pars ciliaris retinae*)
- spojeny s pouzdrem prostřednictvím *fibrae suspensoriae lentis* (zonulae)

### Trojúhelníkovité na řezu

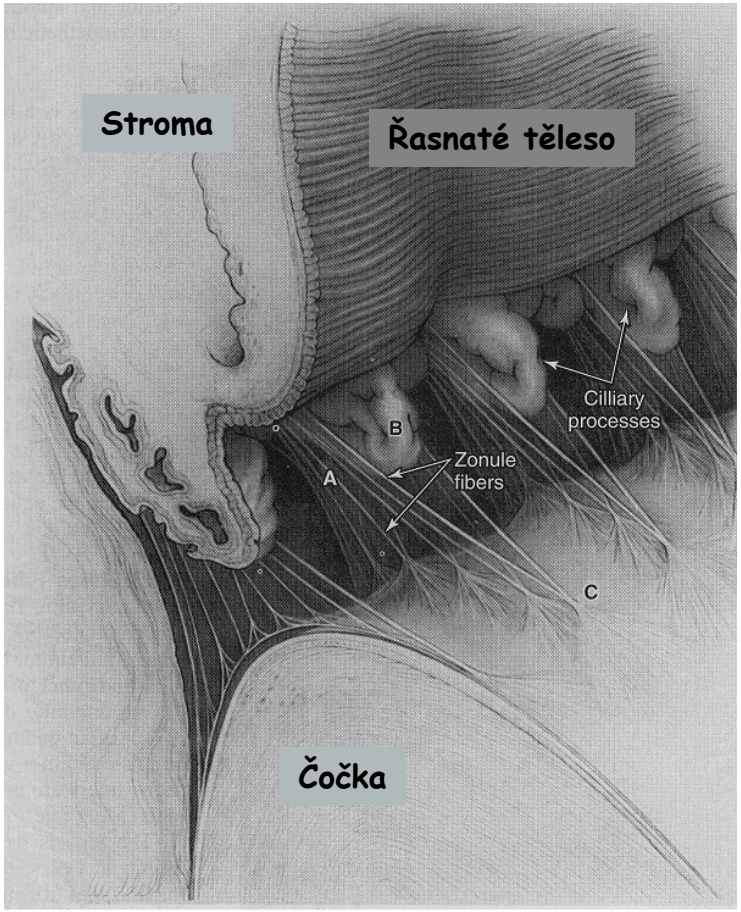
Stýká se s:

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

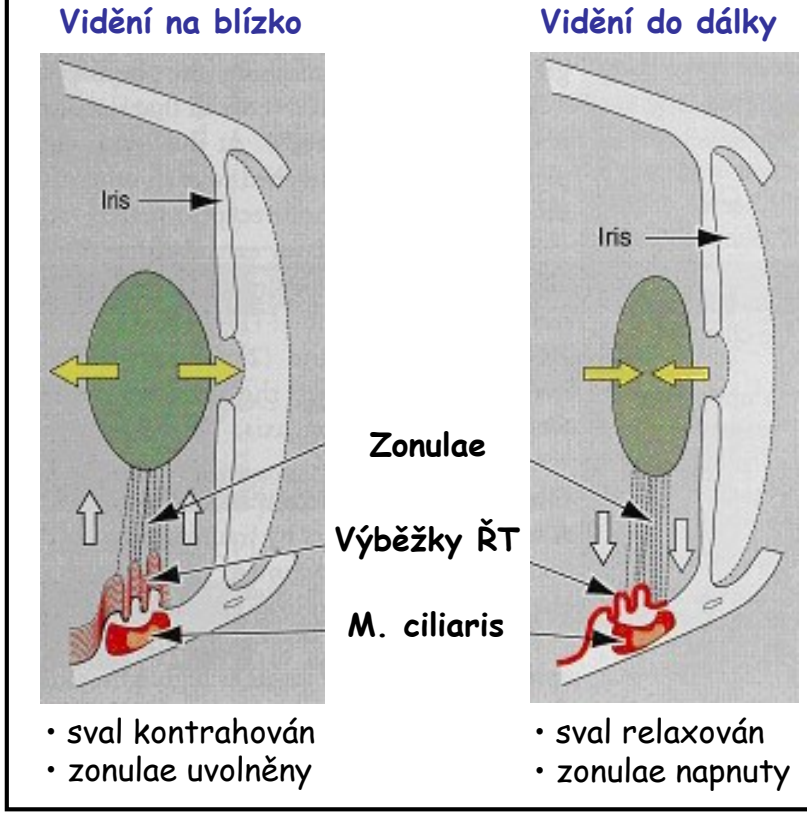


# Řasnaté těleso

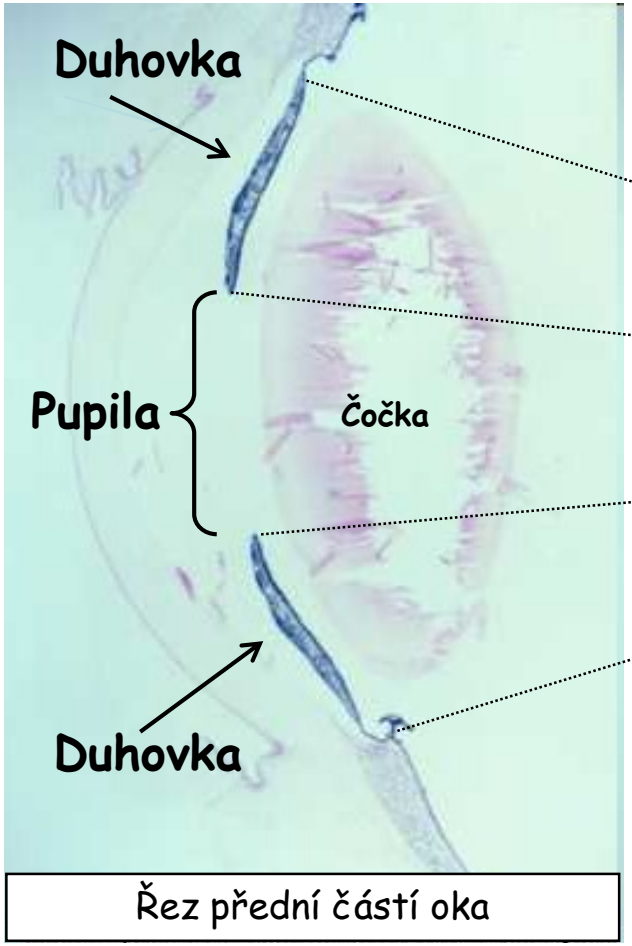



## Akomodace čočky

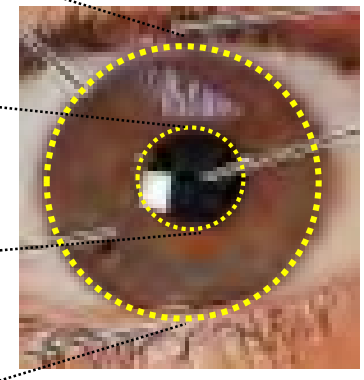


# Duhovka (Iris) - 1

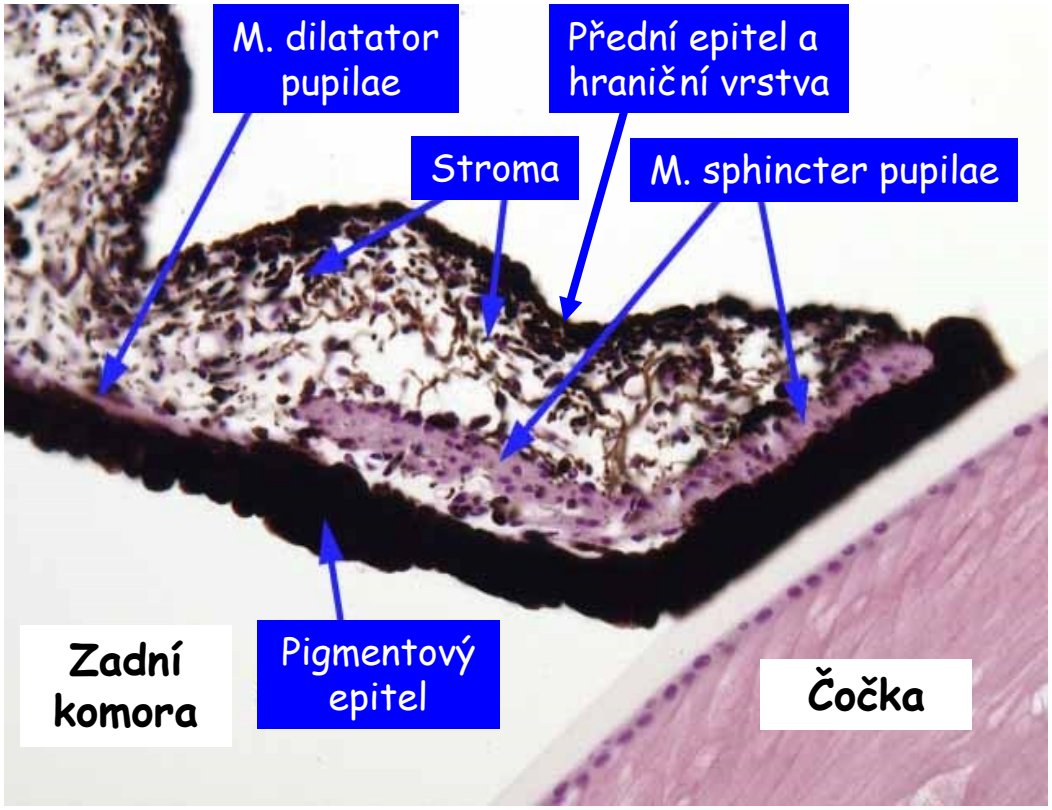
Přední pokračování cévnatky.
Částečně kryje čočku.




Řez přední částí oka



# Duhovka (Iris) - 2




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

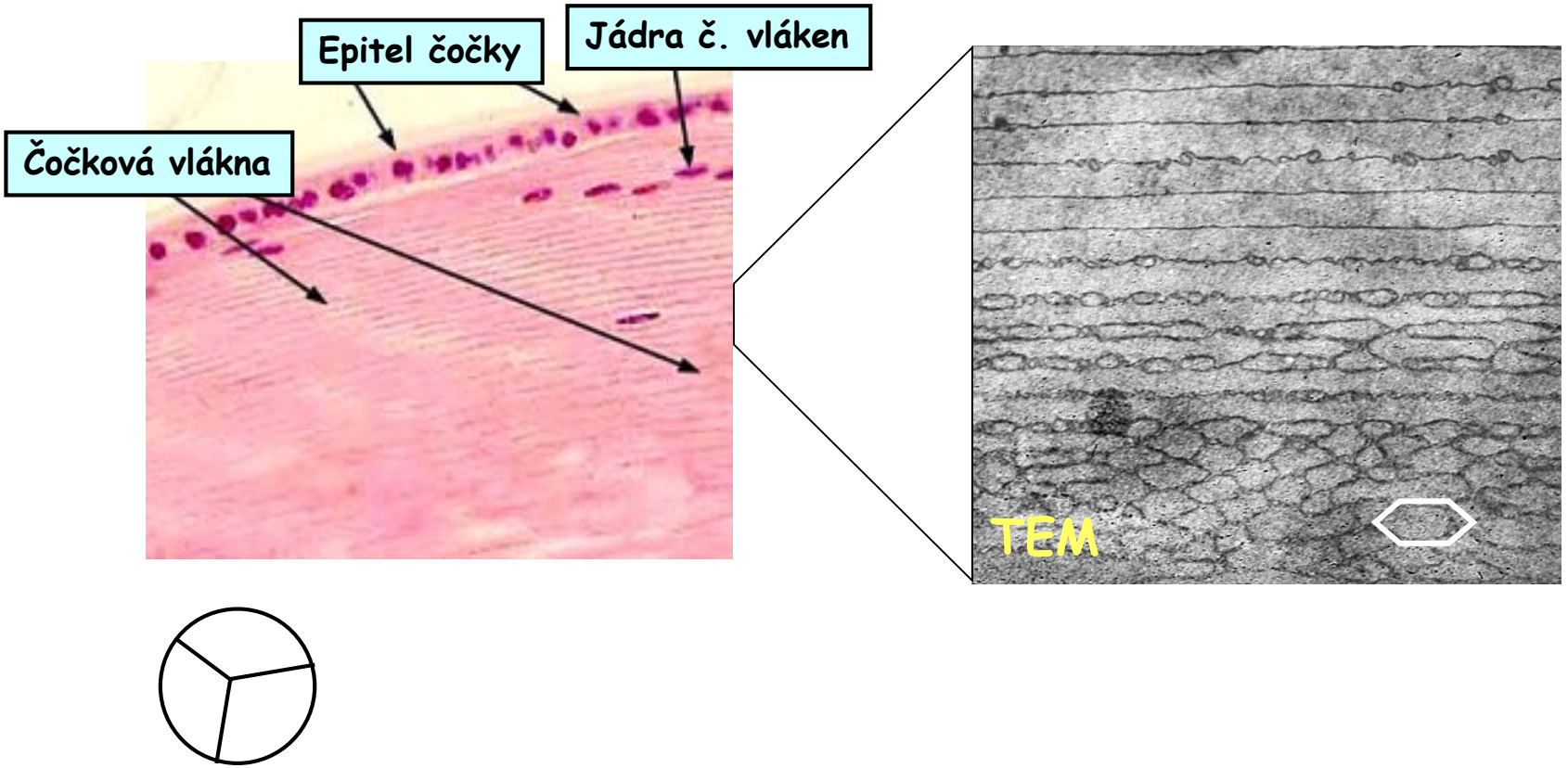
1. **Přední epitel duhovky**
   - je pokračováním zadního epitelu rohovky
   - nesouvislá vrstva velmi plochých epitelialních buněk, fibroblastů a melanocytů

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

**Zadní část**
- fotosenzitívní
- vícevrstevná

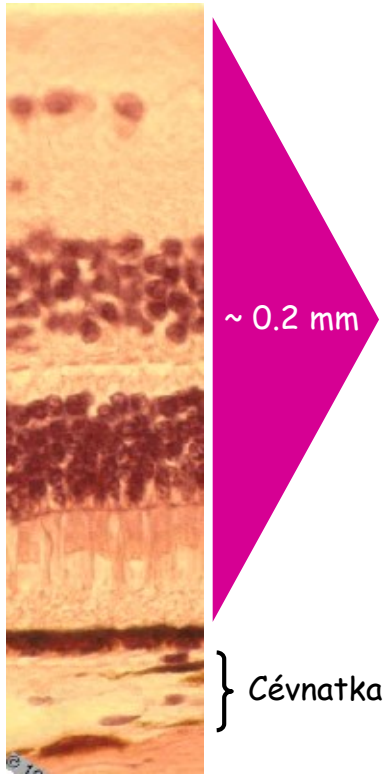
**Přední část**
- nefotosenzitívní
- dvojvrstvá
- pokrývá řasnaté těleso a zadní část duhovky

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

**Vnější vrstva**

**Stratum pigmenti retinae**

- sloupcovité buňky
- jádro při bázi
- pevné spojení s lamina vitrea/basalis cévnatky
- zonulae occludentes and adherentes
- bohaté na hladké ER (esterifikace vit A)
- četná granula melaninu
- extenze (mikroklky) apikální části
- v apikální části vesikuly v různém stupni digesce




**Vnitřní vrstva**

**Nervová retina**

# 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

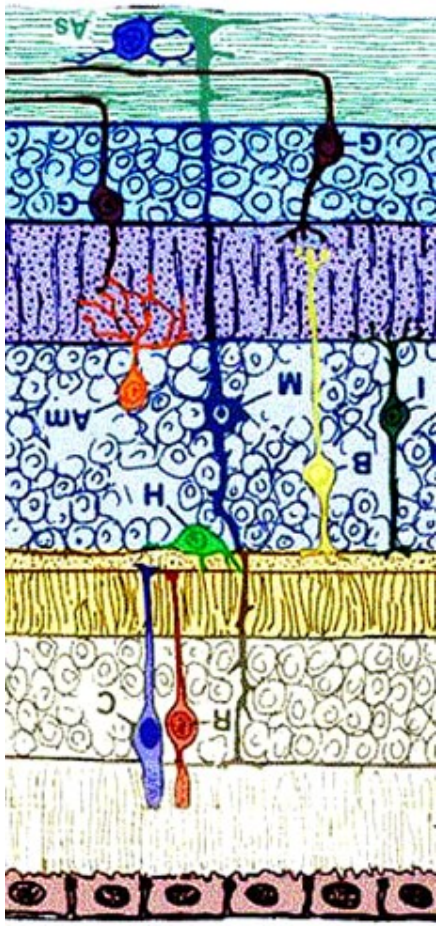
Zevní vrstva plexiformní

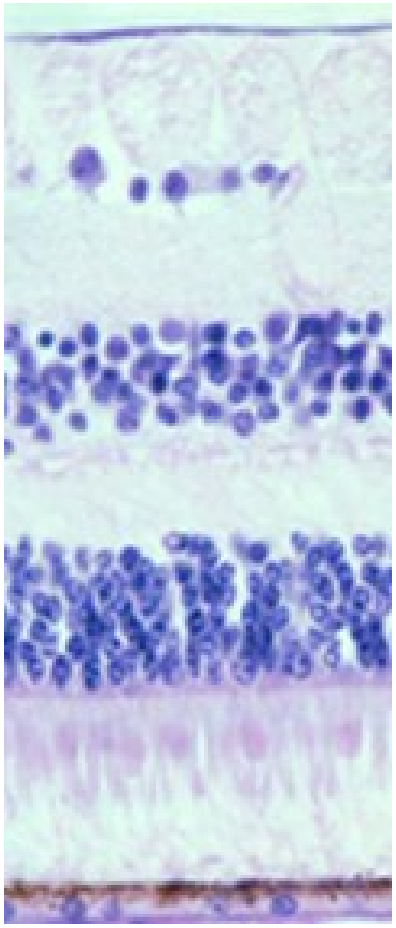
Zevní vrstva jádrová

Membrana limitans externa

Vrstva tyčinek a čípků

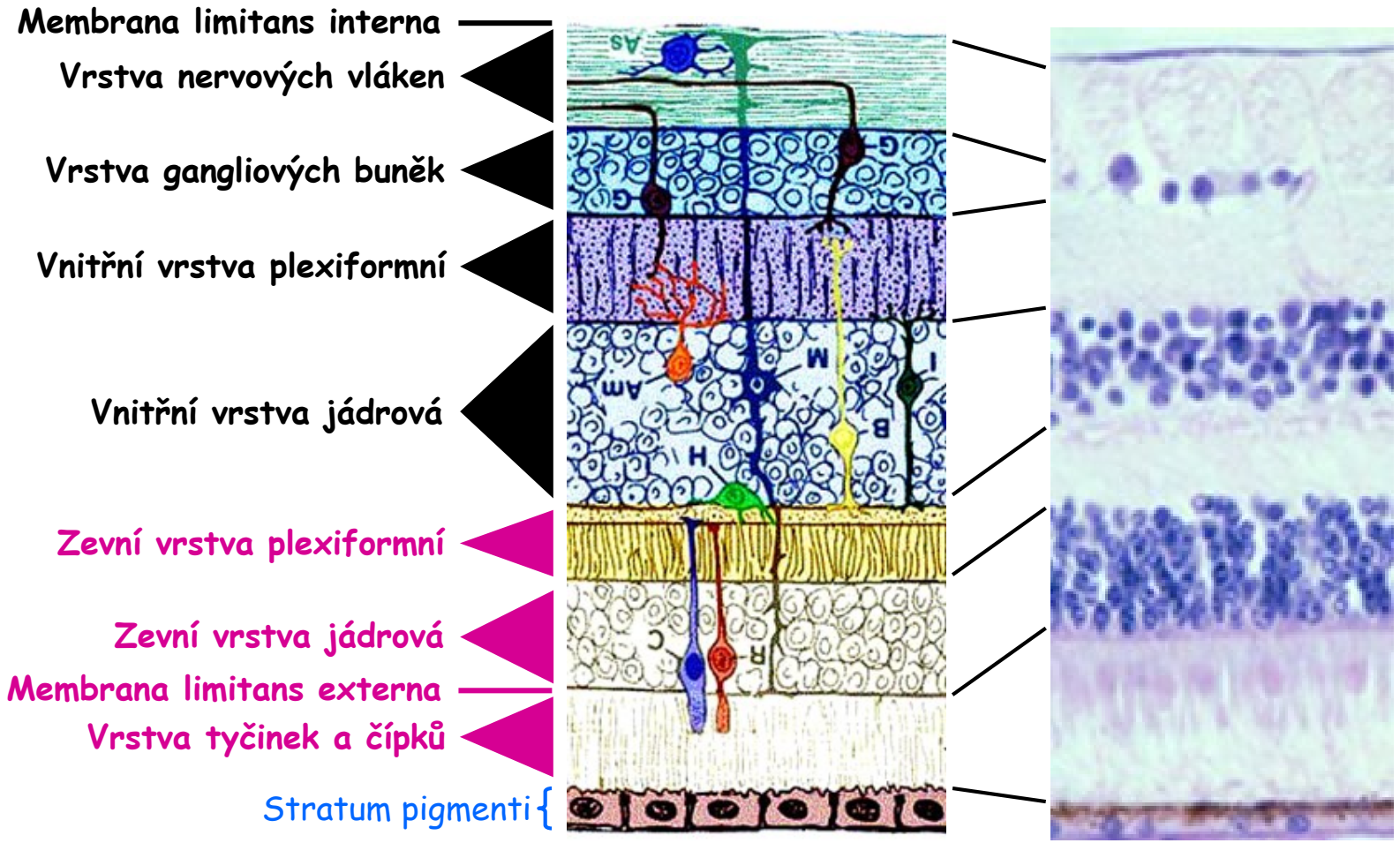
Stratum pigmenti



# Fotoreceptory = Buňky tyčinkové a čípkové 1

## I. neurony zrakové dráhy



# Fotoreceptory = Buňky tyčinkové a čípkové 2

## I. neurony zrakové dráhy

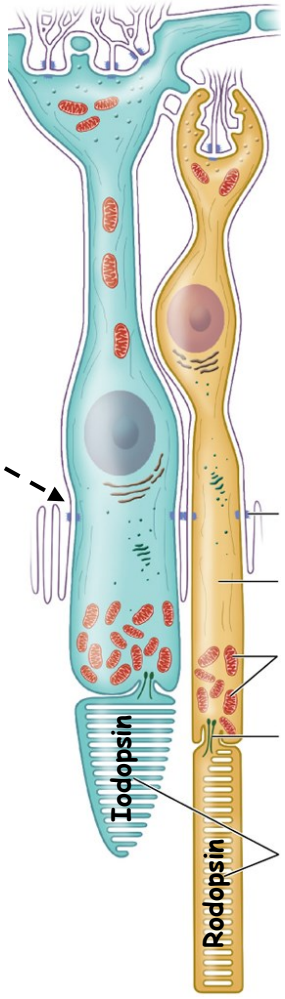
Zevní vrstva plexiformní

Zevní vrstva jádrová

Membrana limitans externa

(série spojovacích komplexů mezi fotoreceptory a gliovými buňkami Mullerovými)

Vrstva tyčinek a čípků




Synaptická oblast

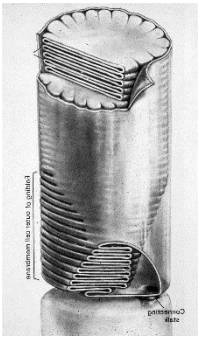
Jádrová oblast

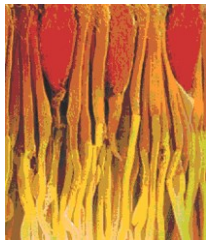
Centrální oddíl

Vnitřní segment

Vnější segment

Periferní oddíl

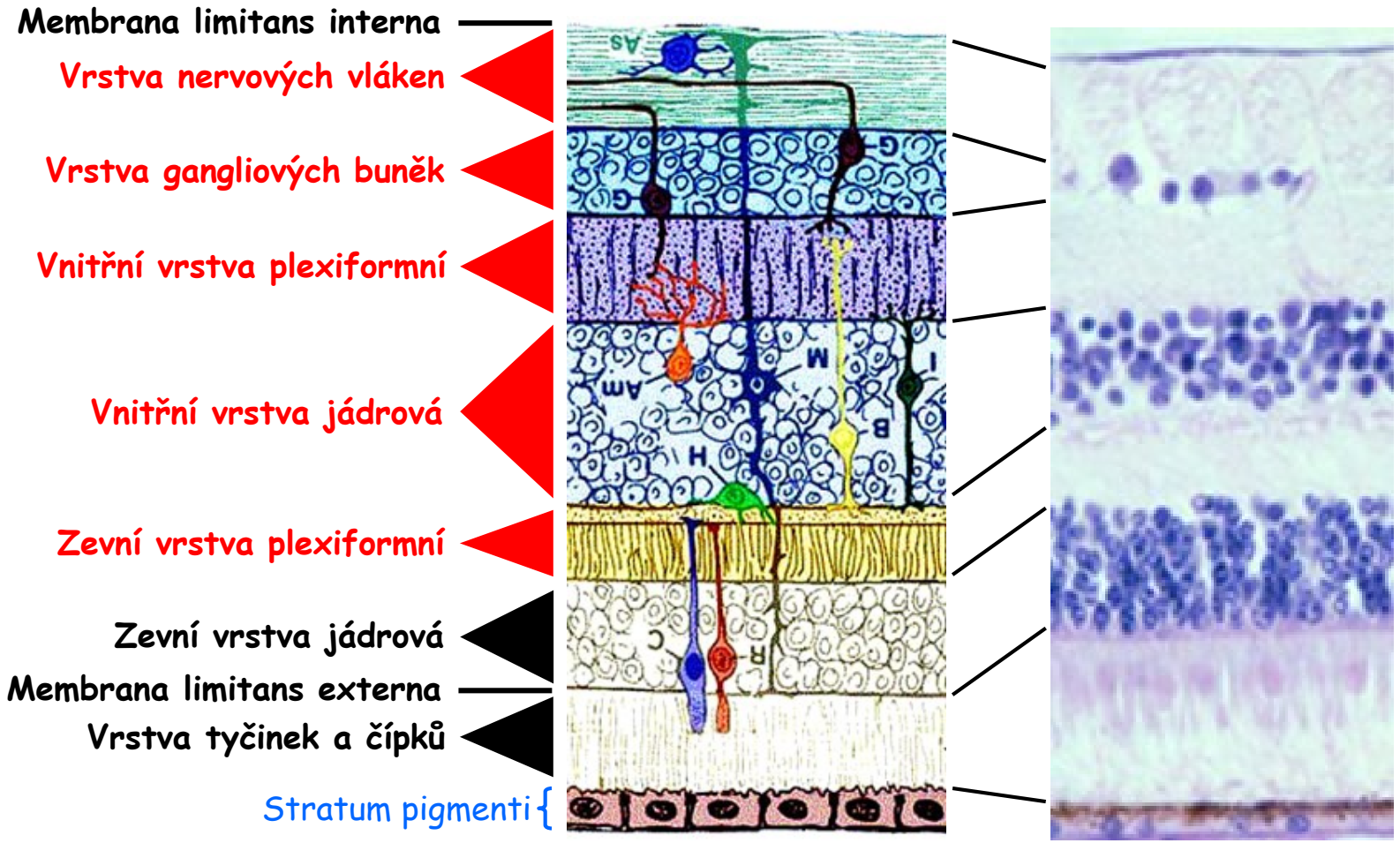




SEM

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

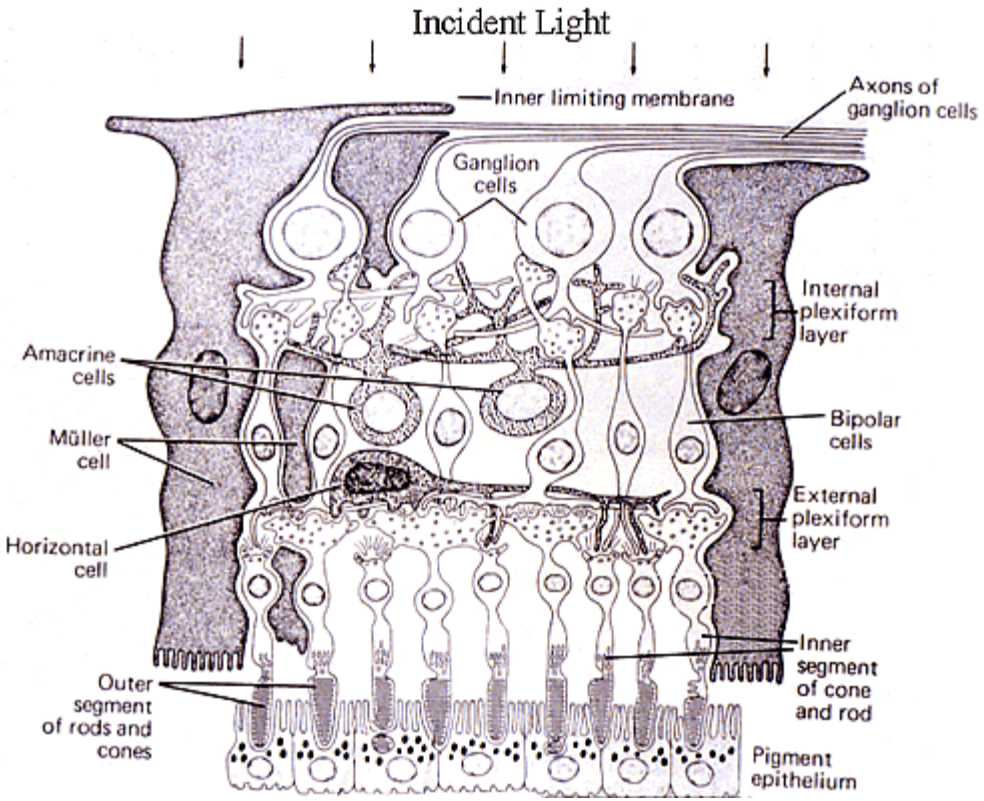
**Monosynaptické**
- Synapse pouze s jedním receptorem
- Přímý přenos impulsů z některých čípků

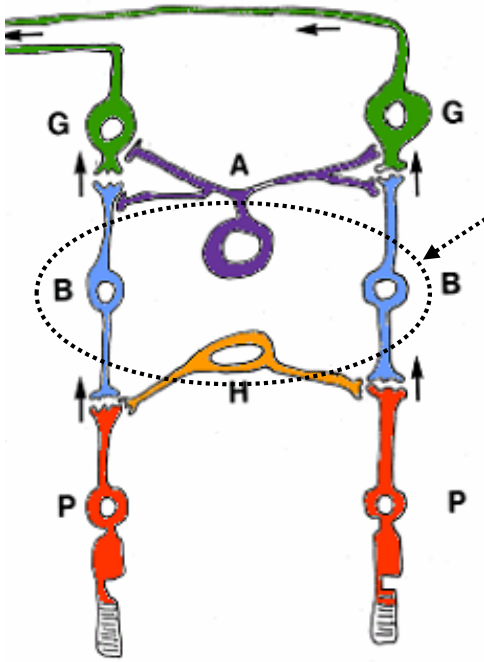
## III. neuron
## Gangliové buňky (multipolární)
- Velké buňky
- Jádra obvykle v jedné vrstvě
- Dendrity se spojují s neurity bipolárních a amakrinních buněk
- Neurity pobíhají v 9. vrstvě sítnice a spojují se ve zrakový svazek

## Asociační + integrační neurony

**Horizontální Buňky**
- Malé
- Multipolární

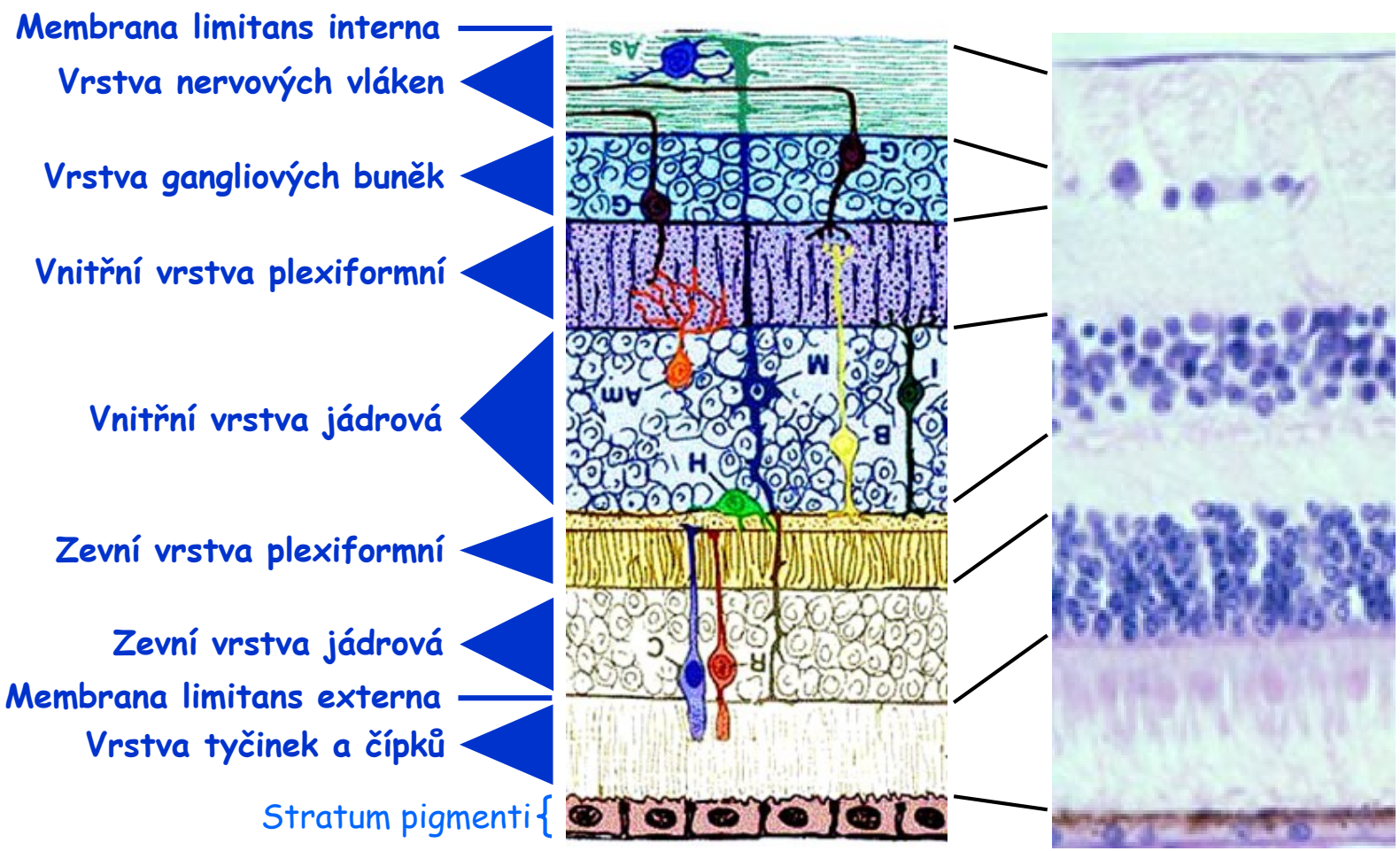
**Amakrinní Buňky**
- Nemají patrný neurit




**Buňky s jádry ve vnitřní vrstvě jádrové**

# Podpůrné buňky sítnice 1

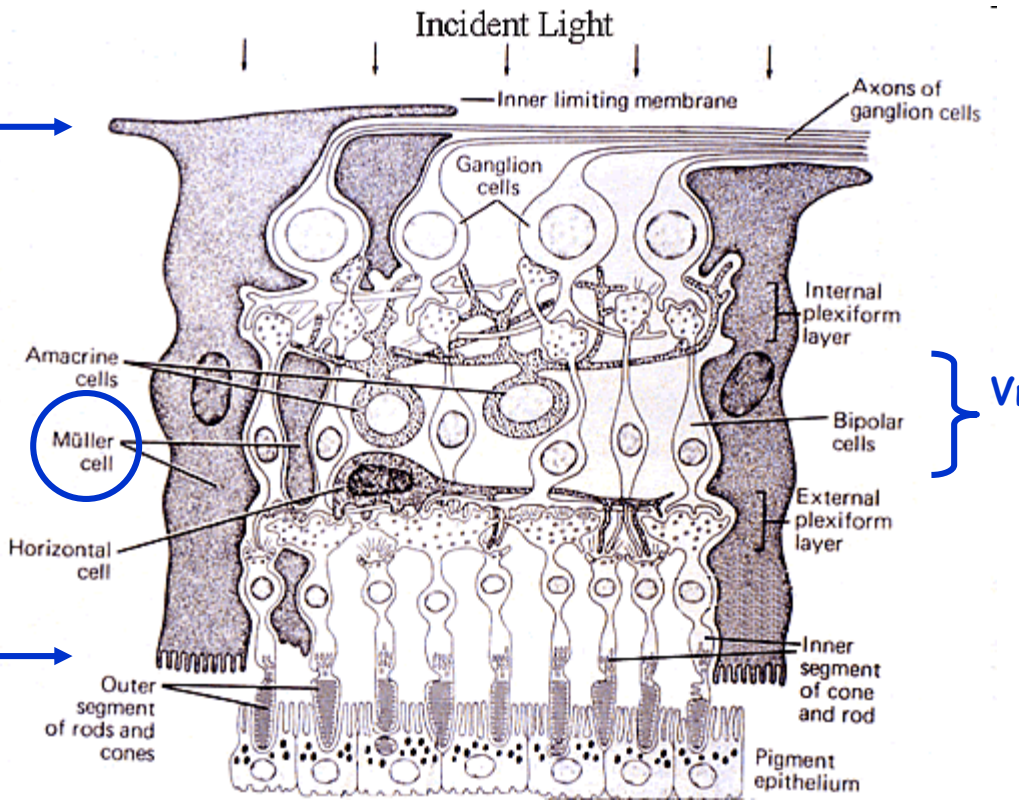


# Podpůrné buňky sítnice 2
## Mullerovy buňky

= **modifikované glie CNS**

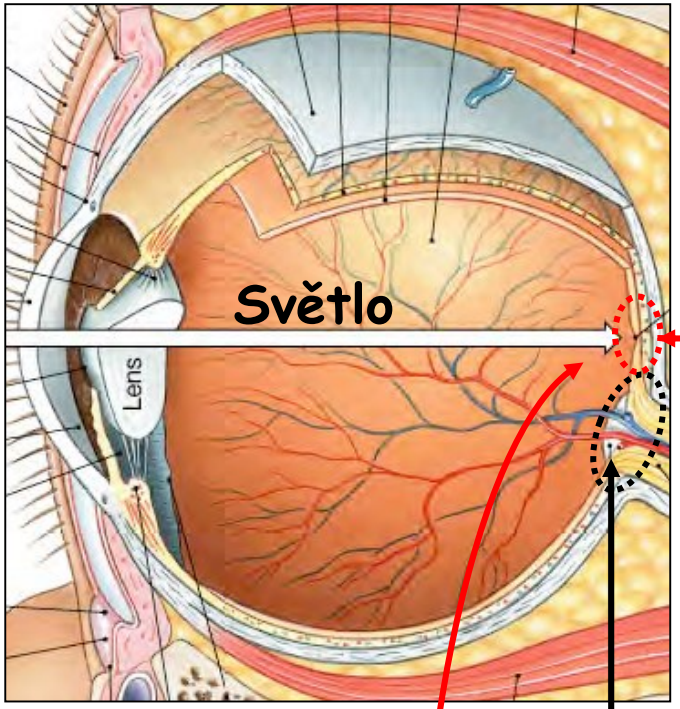
Membrana limitans interna

Membrana limitans externa

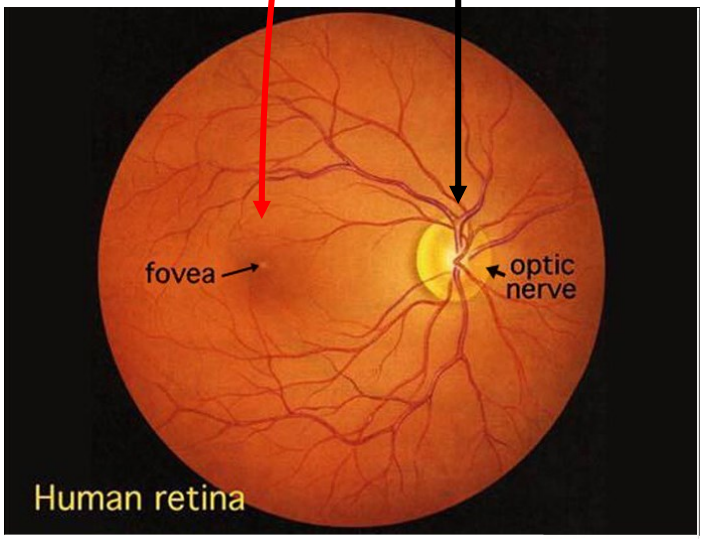



Vnitřní vrstva jádrová

# „Vidí sítnice všude stejně"

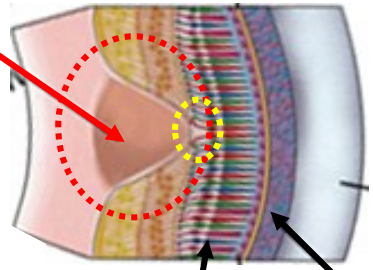



Disk zrakového nervu




## Centrální x Periferní vidění

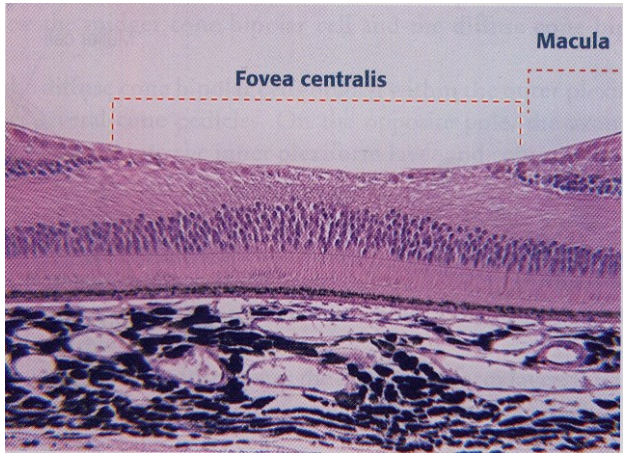
Žlutá skrna (macula lutea)



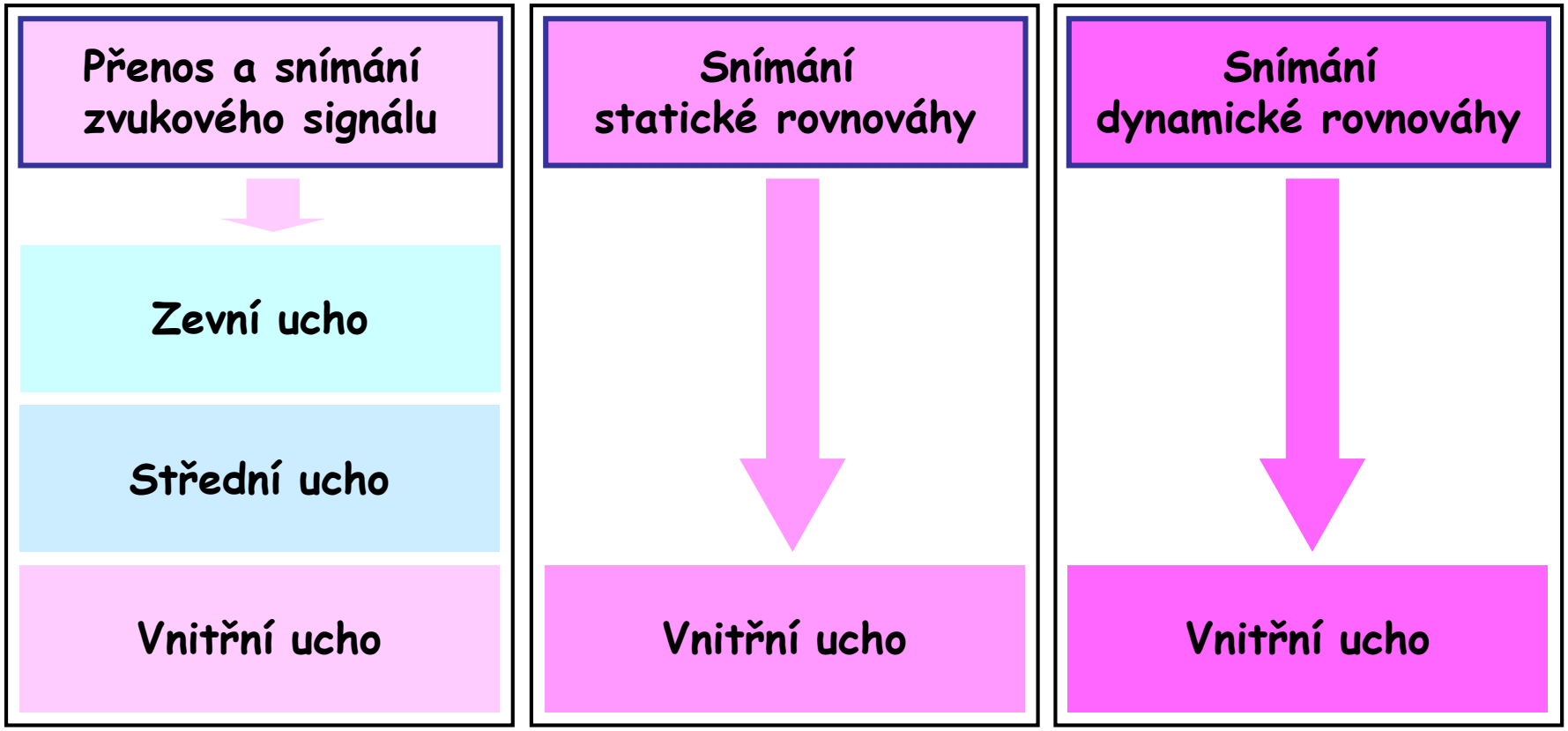
Sítnice

Cévnatka

**Fovea centralis žluté skvrny = nejostřejší vidění**

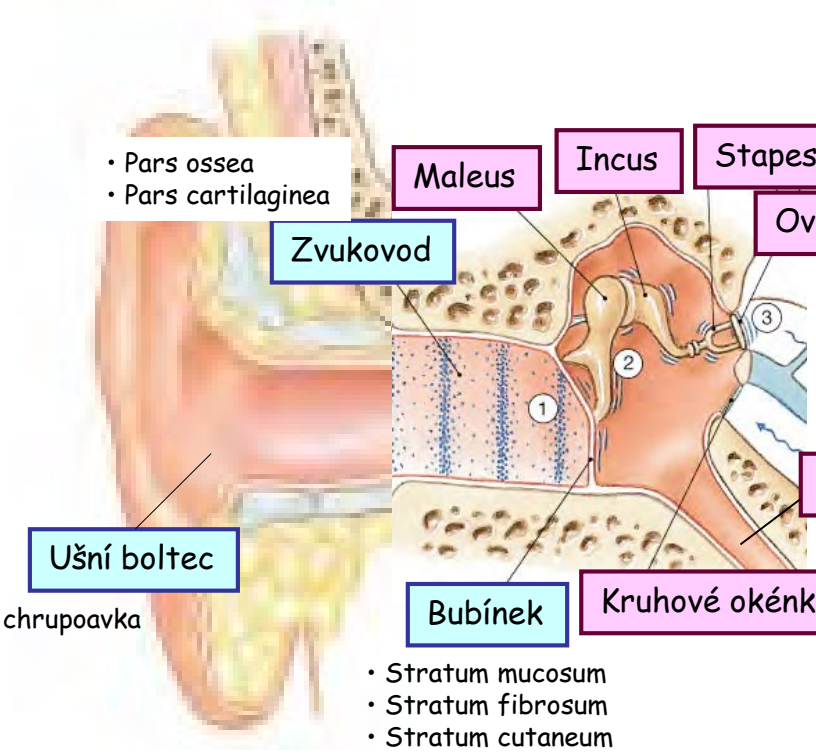


# Orgán sluchu a rovnováhy
# =
# Vestibulokochleární aparát



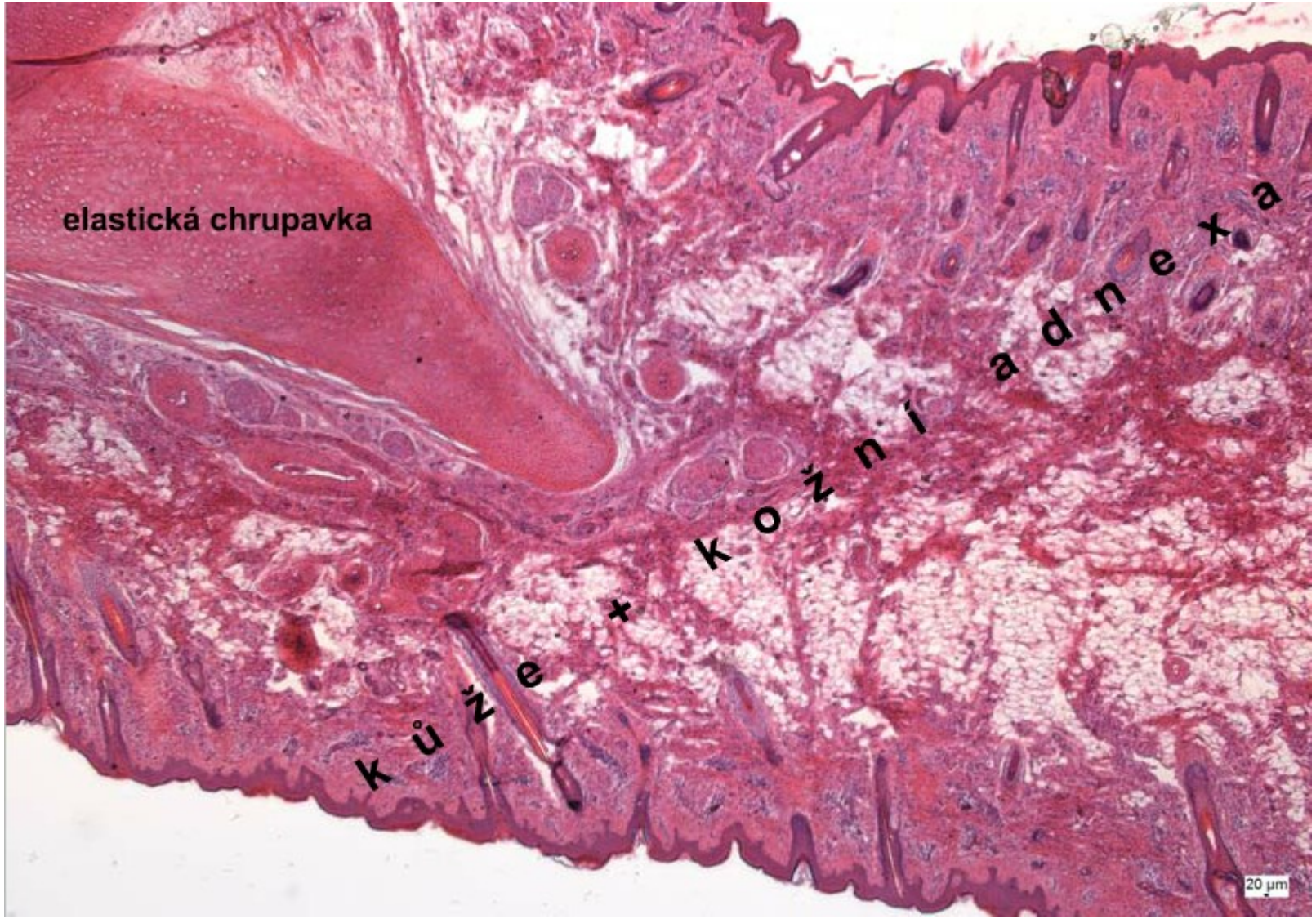
# Zevní + střední ucho – Orgán sluchu

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

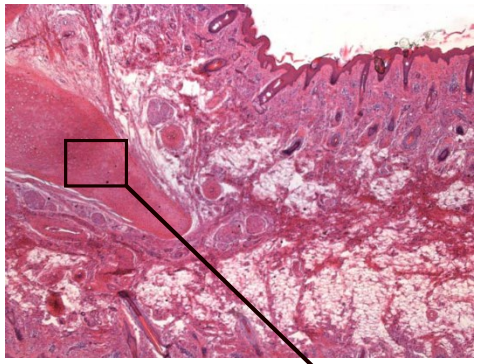


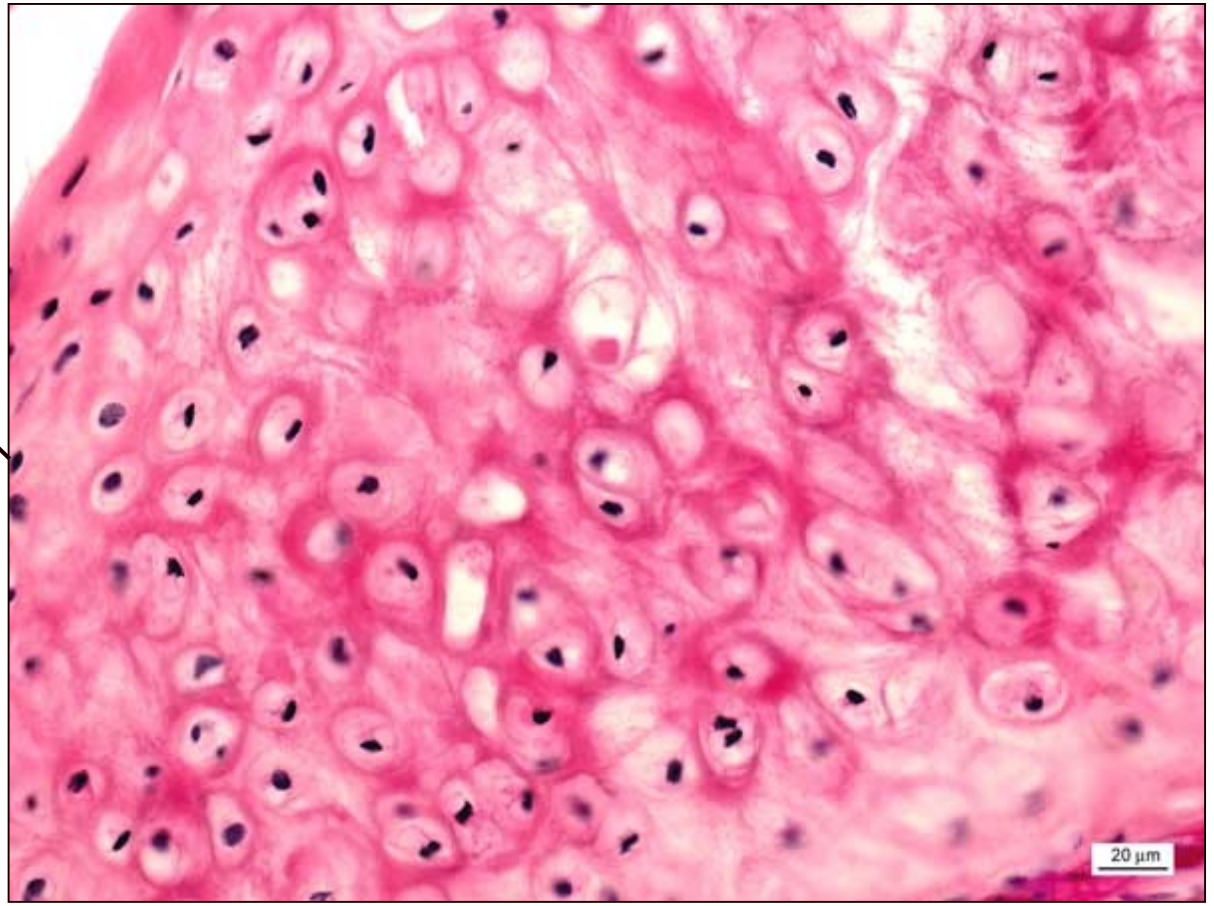

• Pars ossea: 2-řadý cyl. epitel s řasinknami
• Pars cartilaginea: – víceřadý -"-

# Extrenal ear - Auricle



# Extrenal ear – Auricle – Elastic cartilage





# Vnitřní ucho

## Kostěný labyrint

- série prostor
- uvnitř pyramidy skalní kosti

**Vestibulum**

**Hlemýžď (cochlea)**

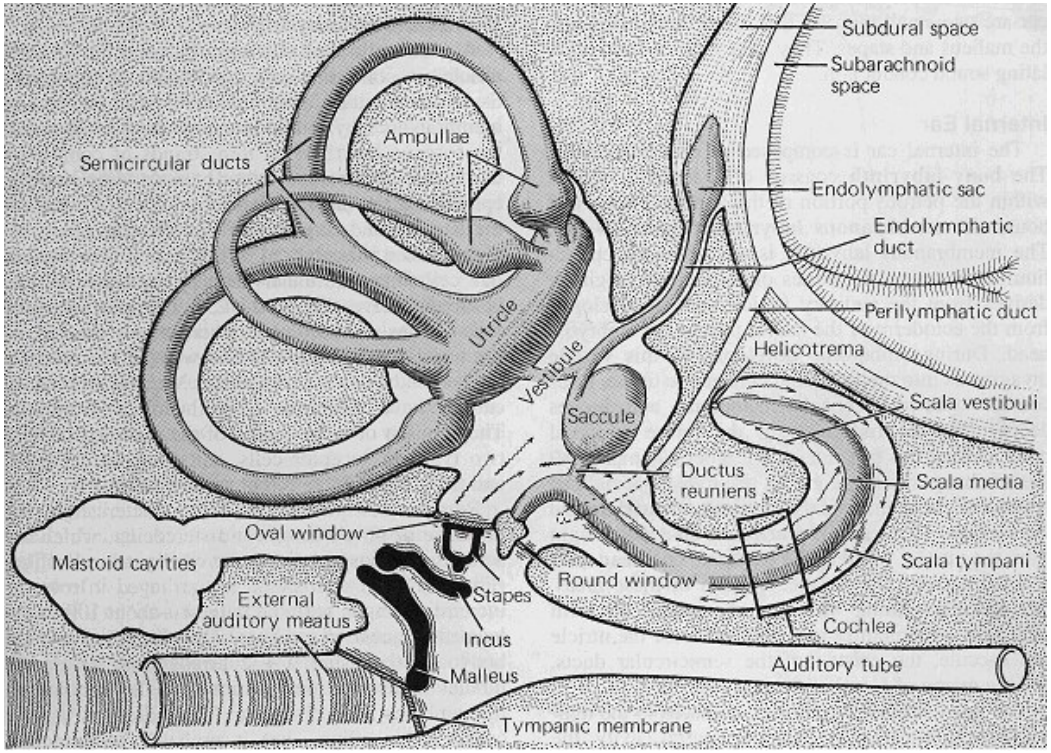
**Polokruhové kanálky**

## Blanitý labyrint

- série vzájemně spojených váčků a trubiček
- vystlán epitelem
- umístěn v kostěném labyrintu

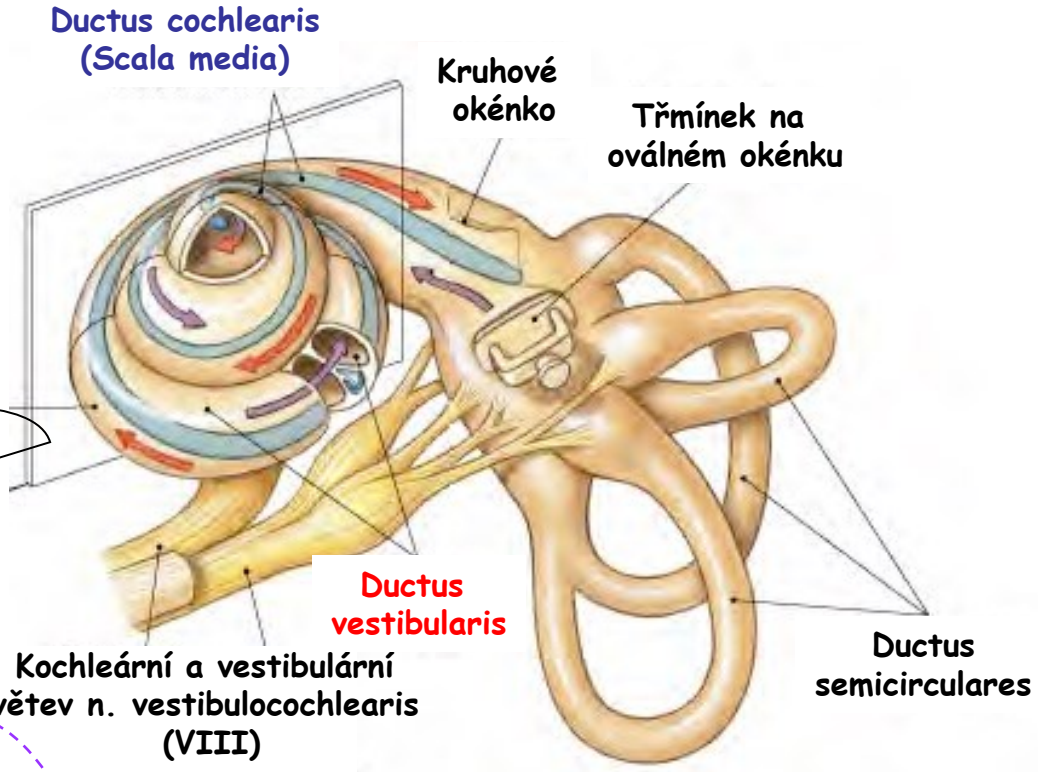
**Utricullus** → **Polokruhové blanité kanálky**

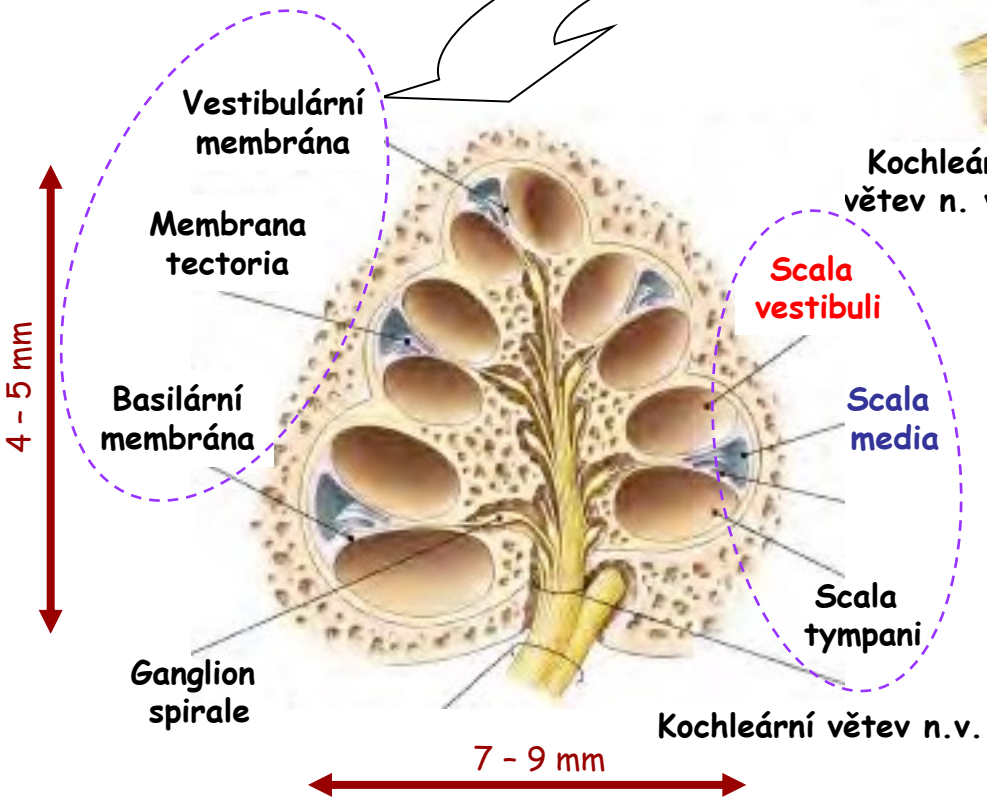
**Sacullus** → **Ductus cochlearis**



# Vnitřní ucho – Orgán sluchu

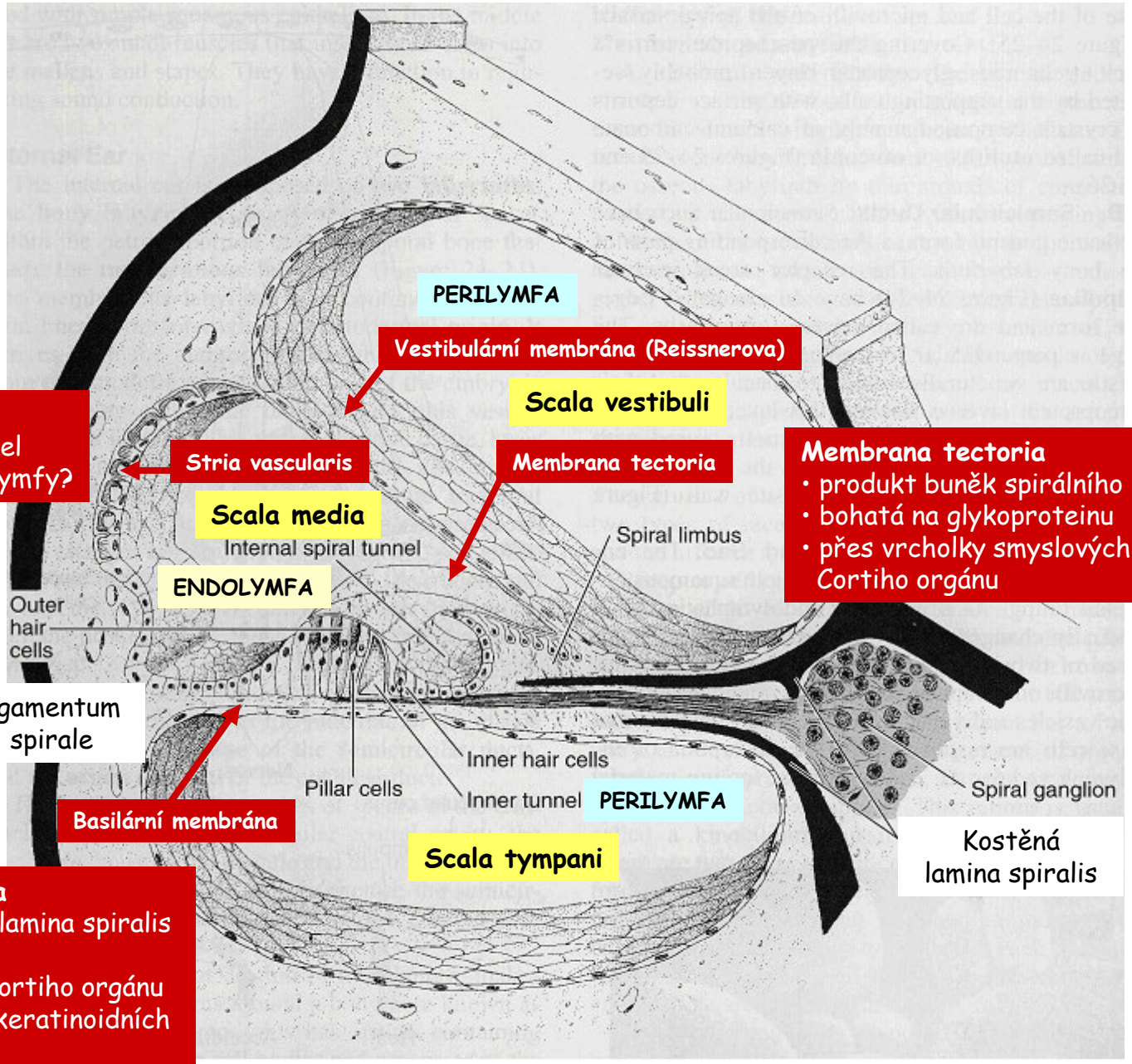
**Hlemýžď**
- 2,5 závitu okolo modiolu
- celkem 35 mm délky




**Modiolus (vřeténko)**
- centrální osa ductus cochlearis
- obsahuje ganglion spirale cocleae, nervus cochlearis a cévy

# Vnitřní ucho – Detail ductus cochlearis

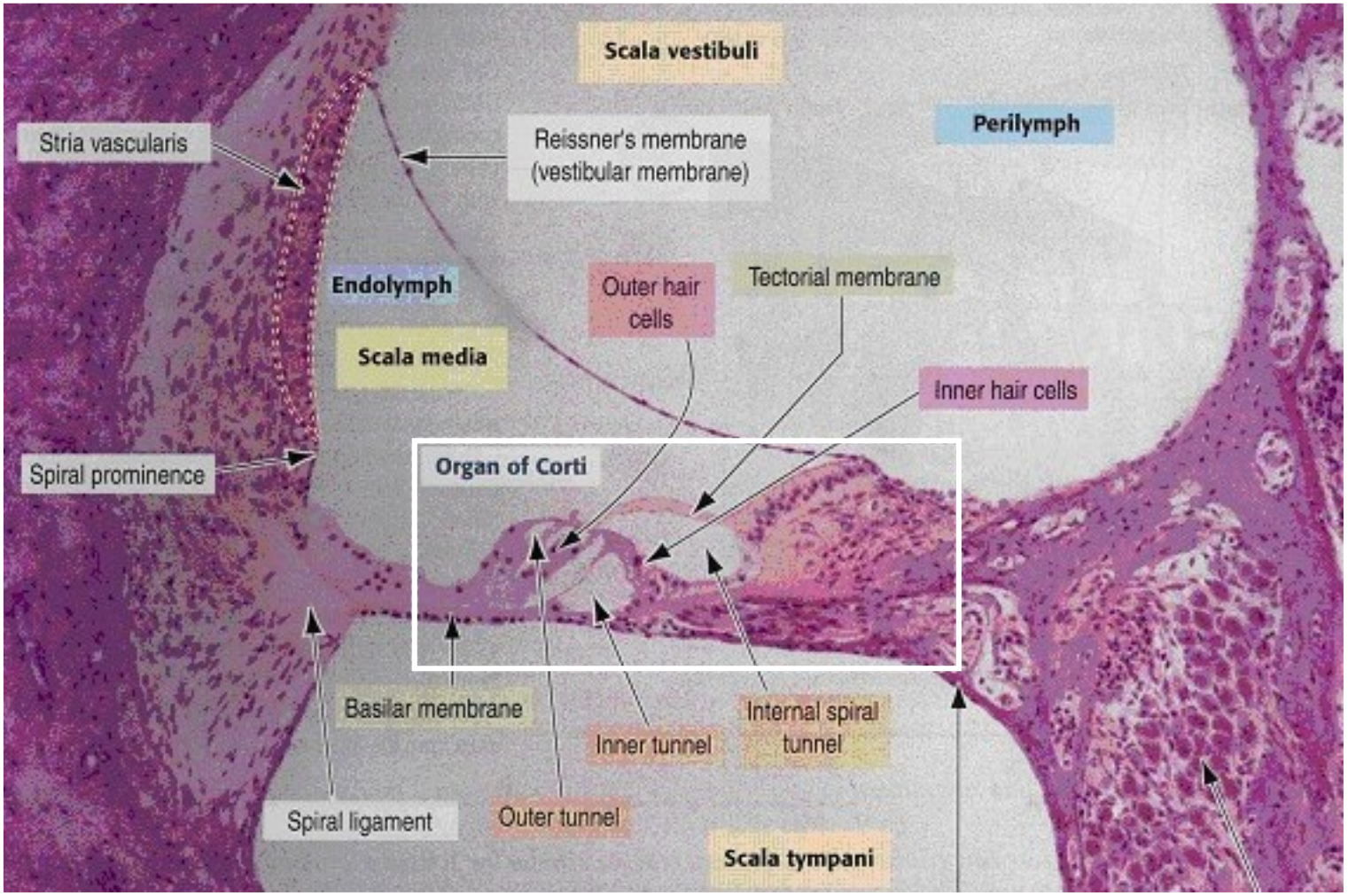


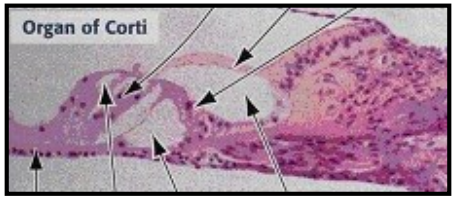

**Stria vascularis**
- vaskularizovaný epitel
- řízeni skladby endolymfy?

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

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

# 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

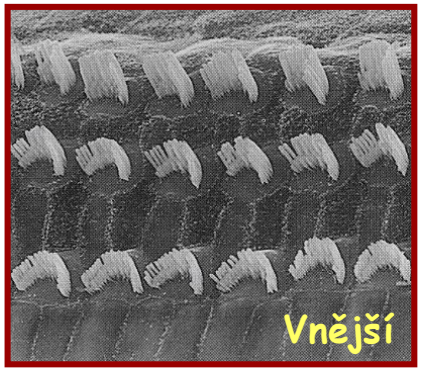
**Vnitřní vláskové buňky**
- 1 řada, ~3 500, bez axon.

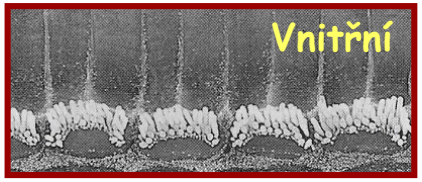
## Podpůrné buňky

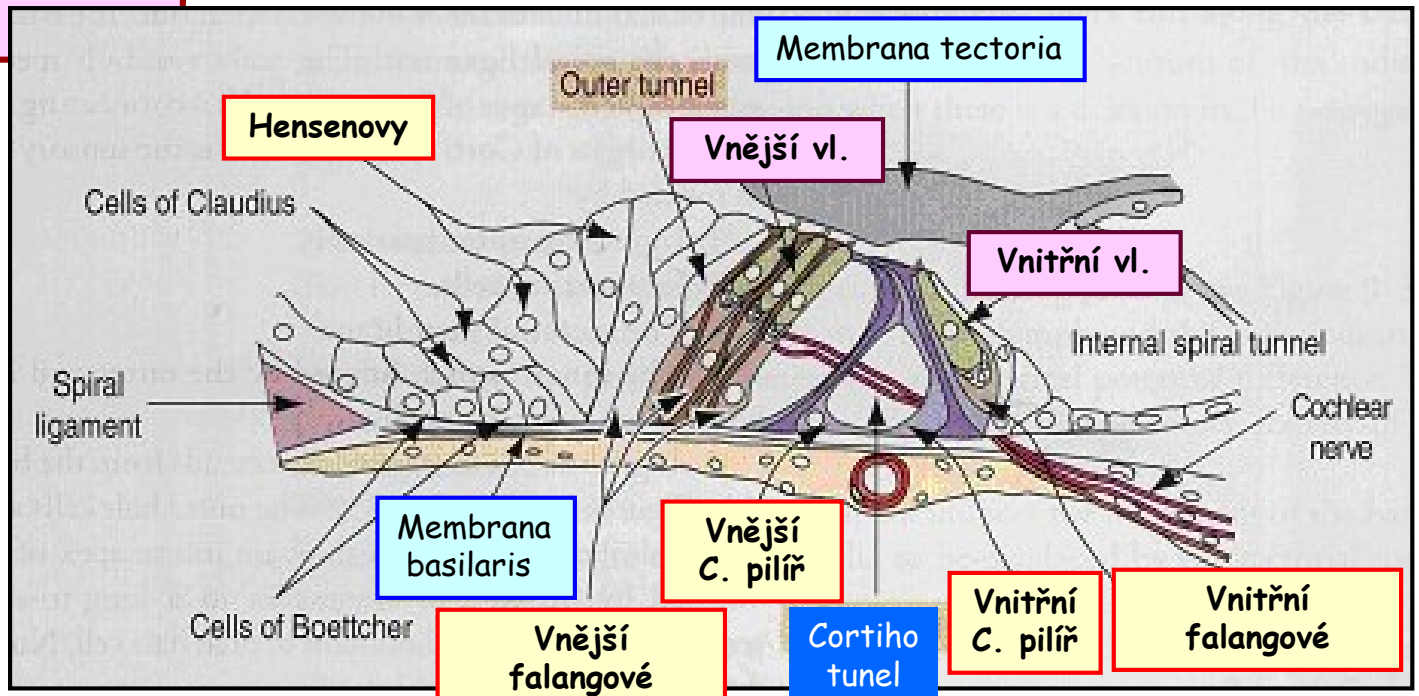
**Hensenovy buňky**
**Zevní falangové buňky**
- opora vláskových buněk, které
- prostupují prostory mezi falangami

**Zevní Cortiho pilíř**
**Vnitřní Cortiho pilíř**
**Vnitřní falangové buňky**
- stejně ako zevní FB

**Hraniční buňky**

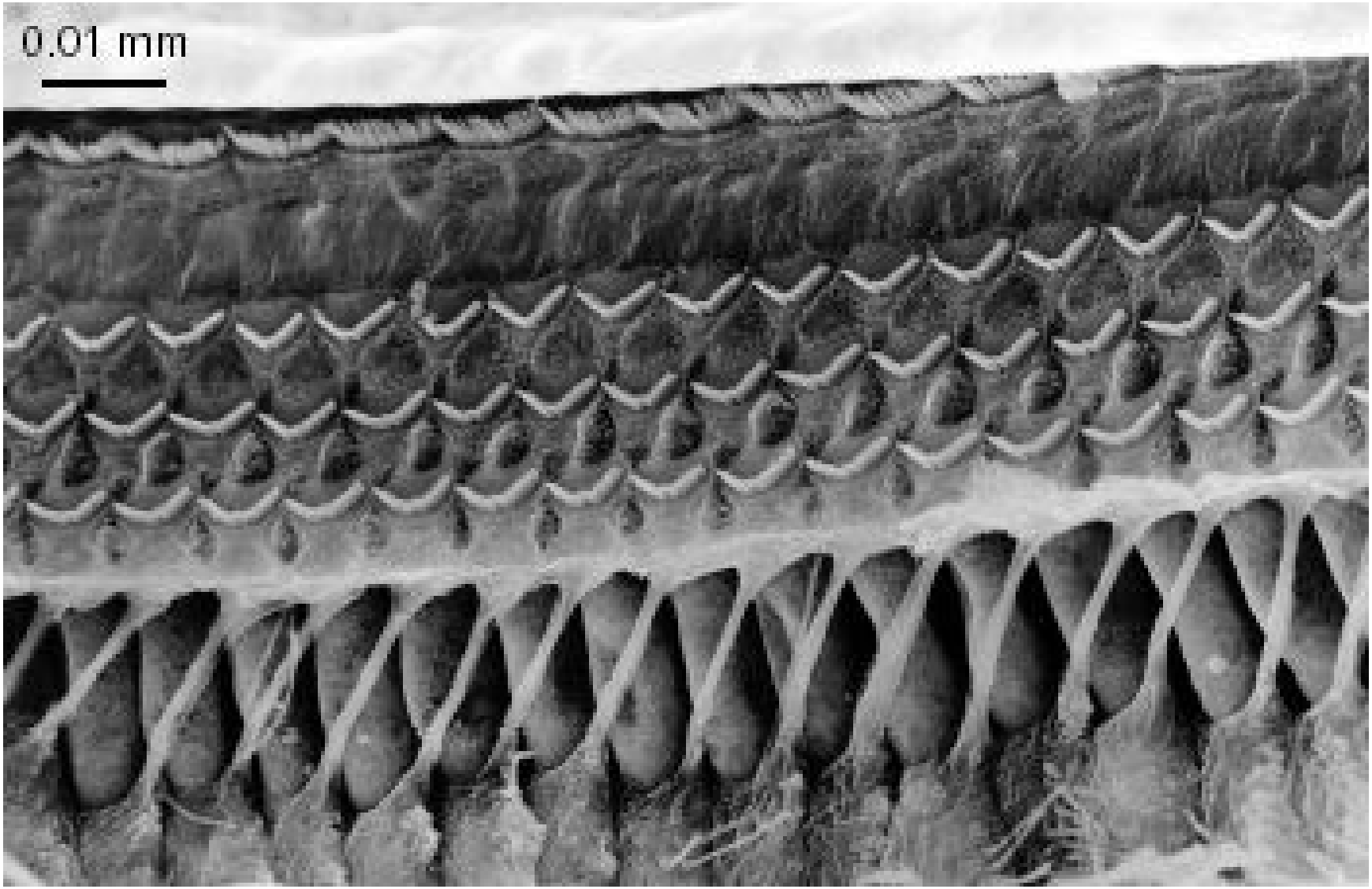


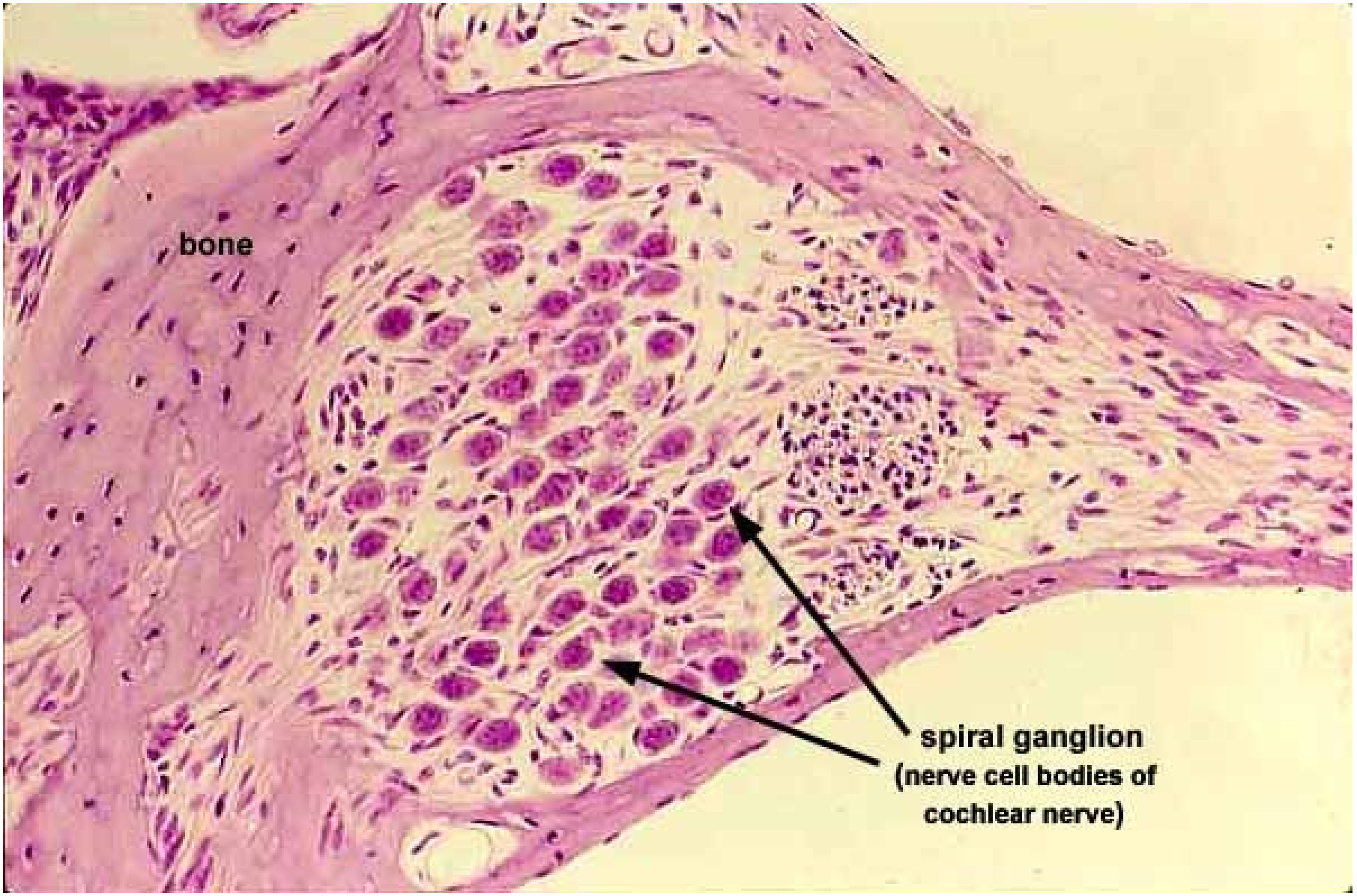



20 µm

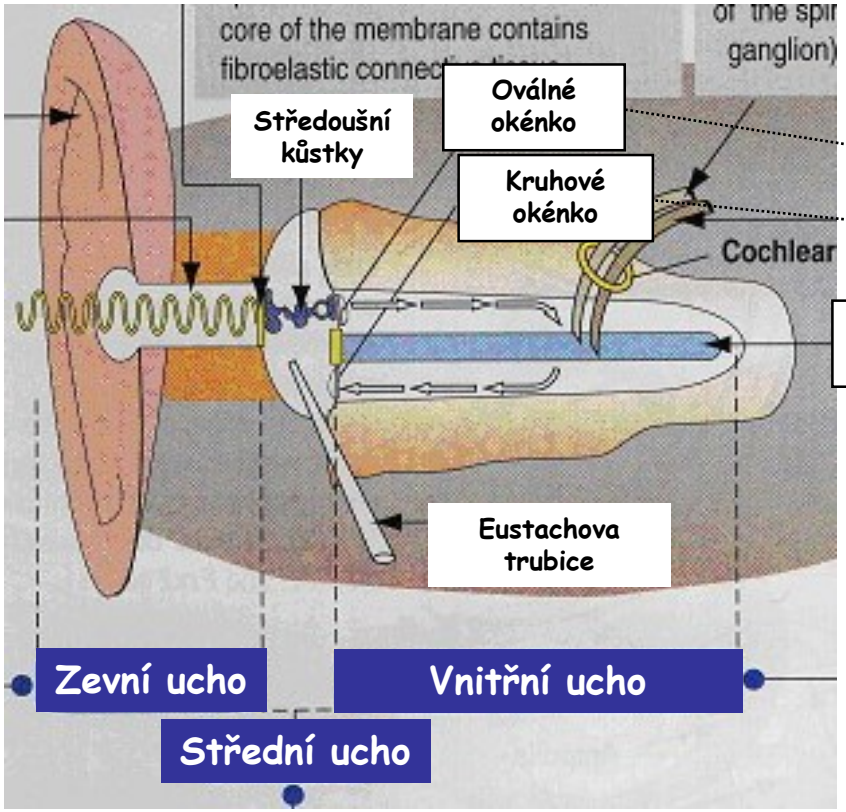
# Vláskové a falangeální buňky

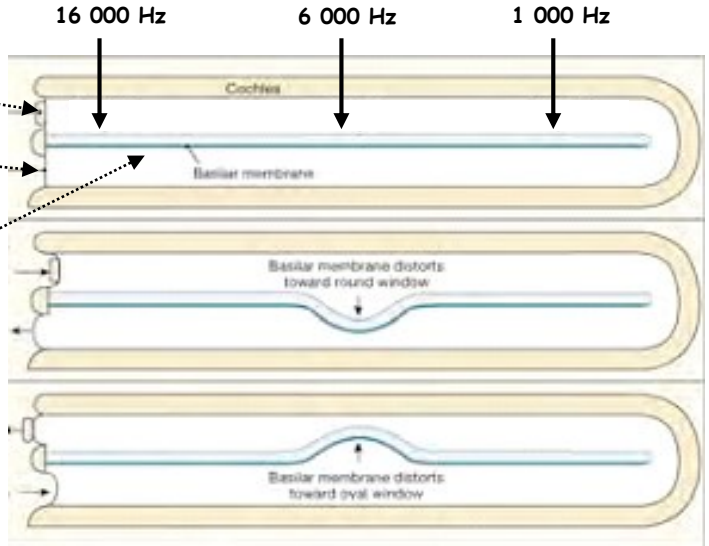


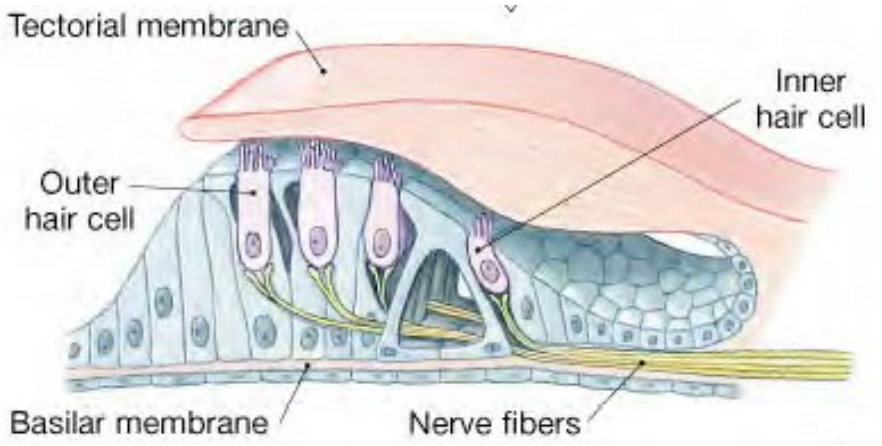
# Ganglion spirale



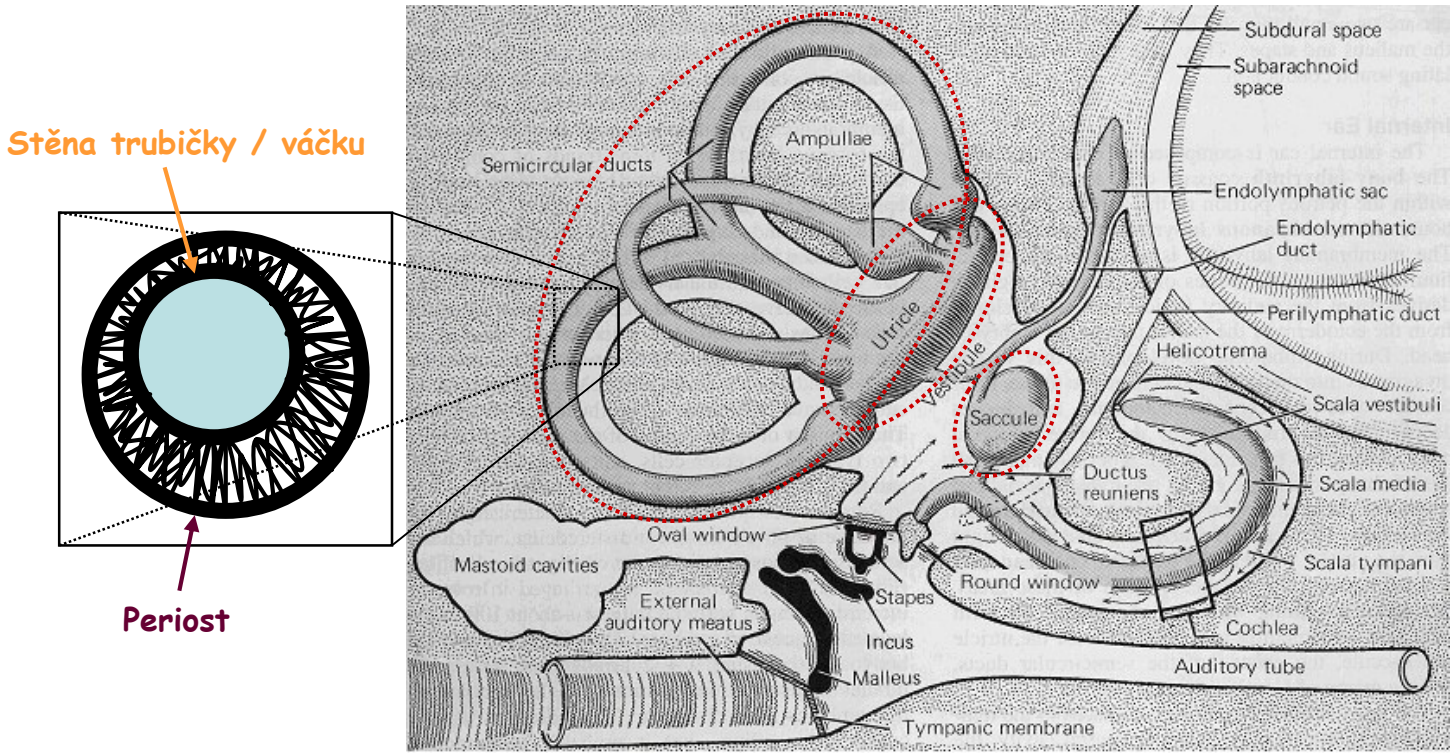
# Orgán sluchu – Princip slyšení



# Vnitřní ucho – Statokinetický / Vestibulární orgán - 1




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

**Jednotná koncepce stavby smyslových prvků**
(váčky – maculae; trubičky – criastae ampullares)
Zesílení stěny s neuroepitelovými buňkami inervovanými větvemi n. vestibularis.

# Vnitřní ucho – Statokinetický / Vestibulární orgán - 2

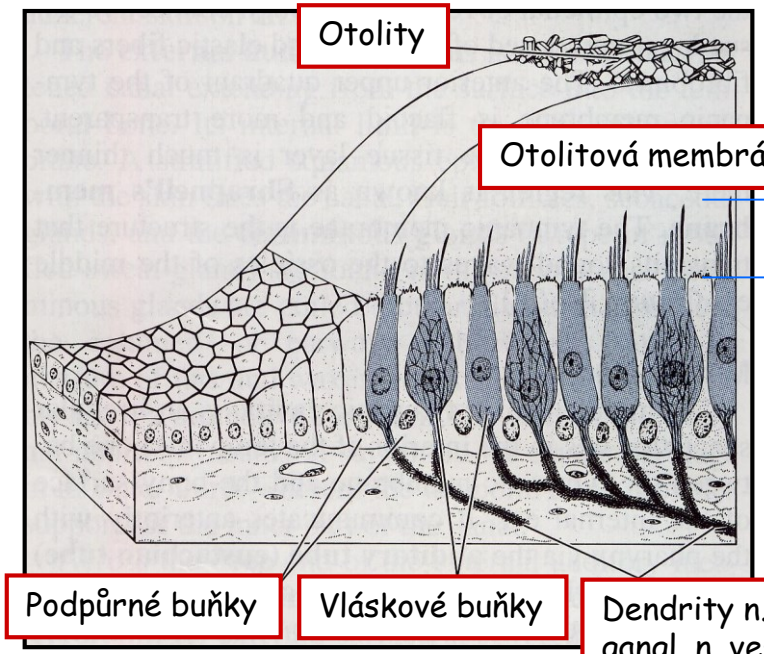
## Snímání statické rovnováhy (maculae = statické skrvny)

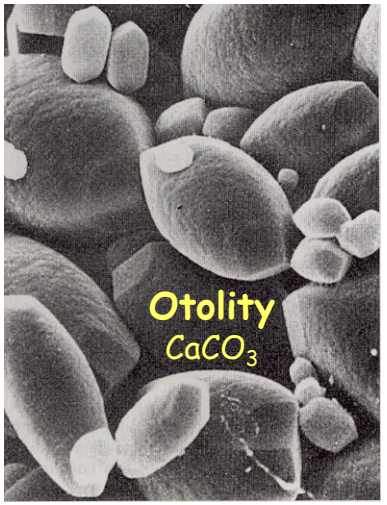
Odklon od směru zemské gravitace
(gravitační síla otolitů)
max. tlak – max. tah

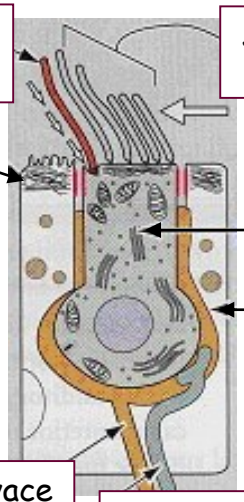
**Umístění makul**

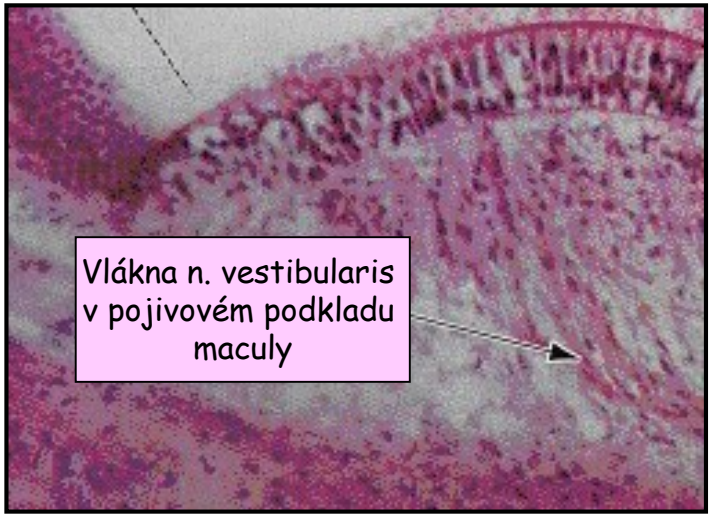
**Sacculus**
dno

**Utriculus**
laterální stěna



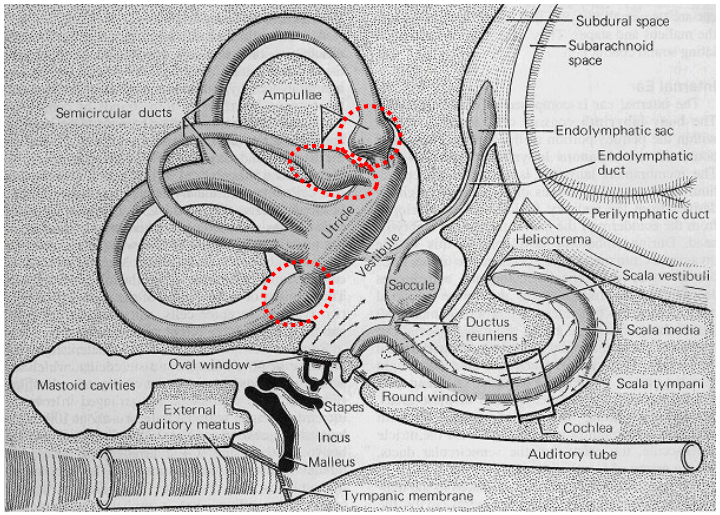



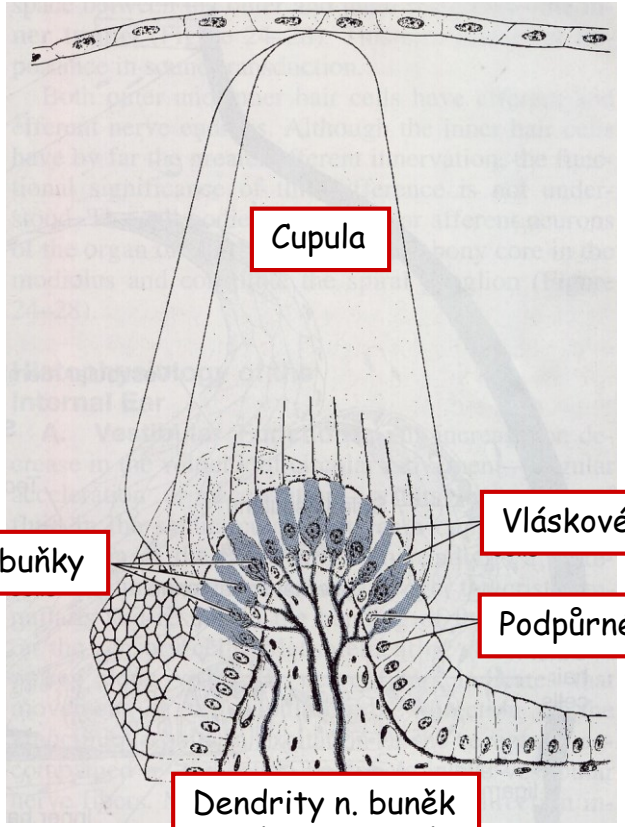



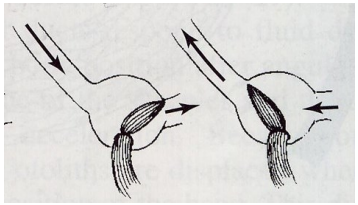
# Vnitřní ucho – Statokinetický / Vestibulární orgán - 3

## Snímání dynamické rovnováhy (cristae ampulares)



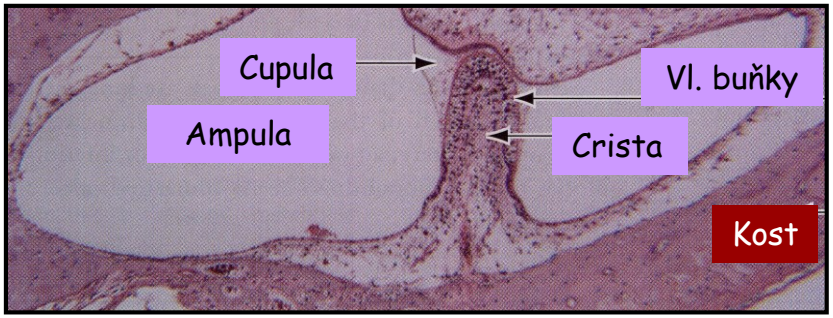




**Reakce na setrvačné zrychlení**
(pohyb endolymfy)

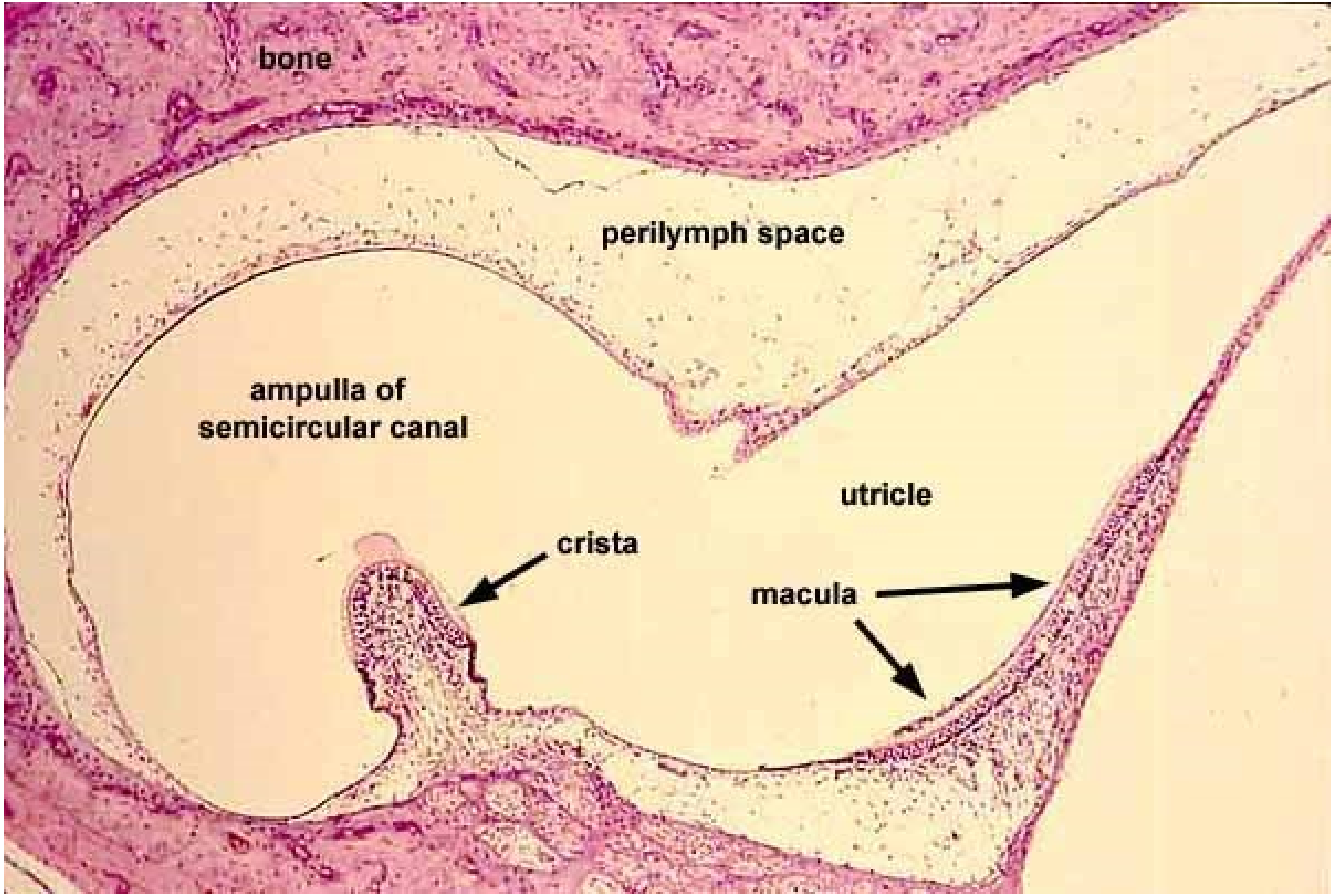


**Umístění CA**

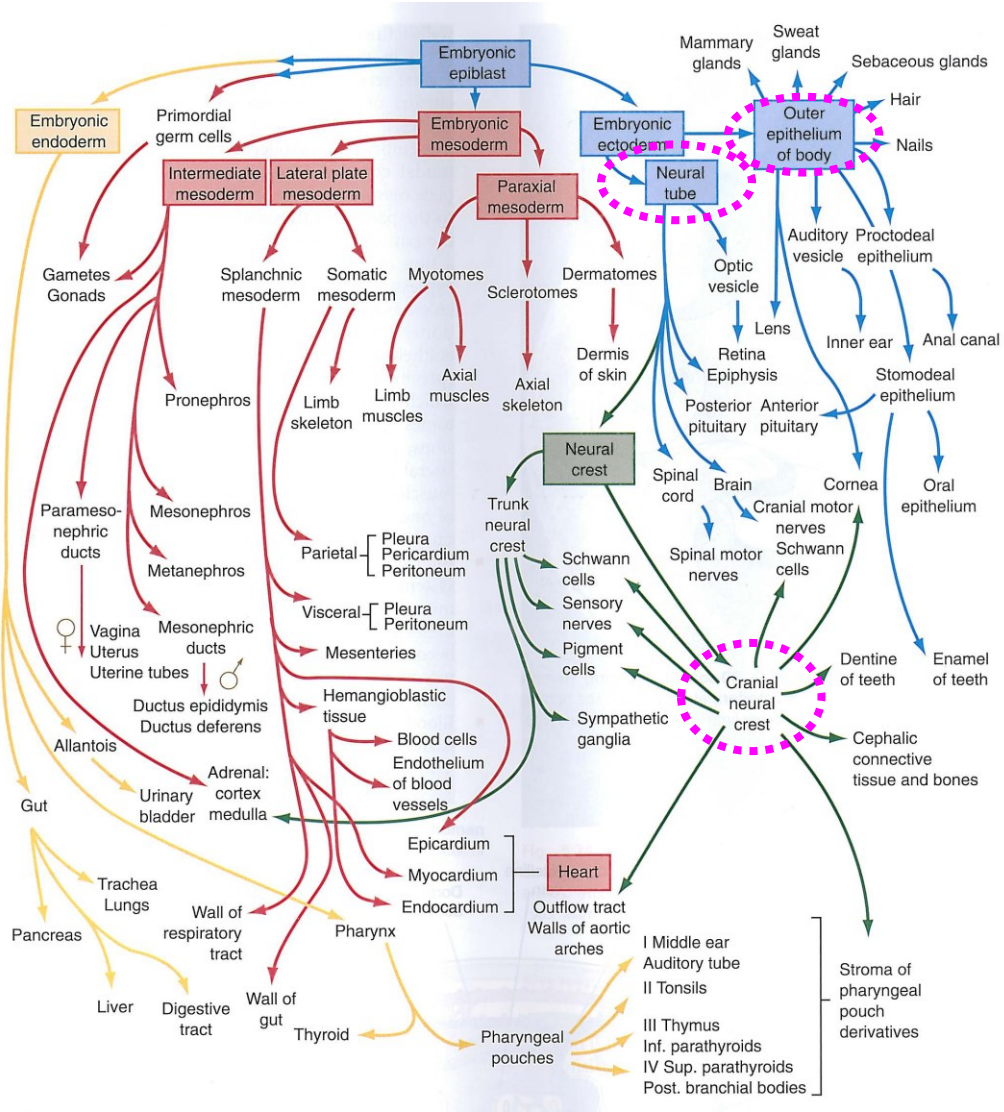
- v „ampulách" ductus semicirculares
- hřebeny CA kolmo na osu DS



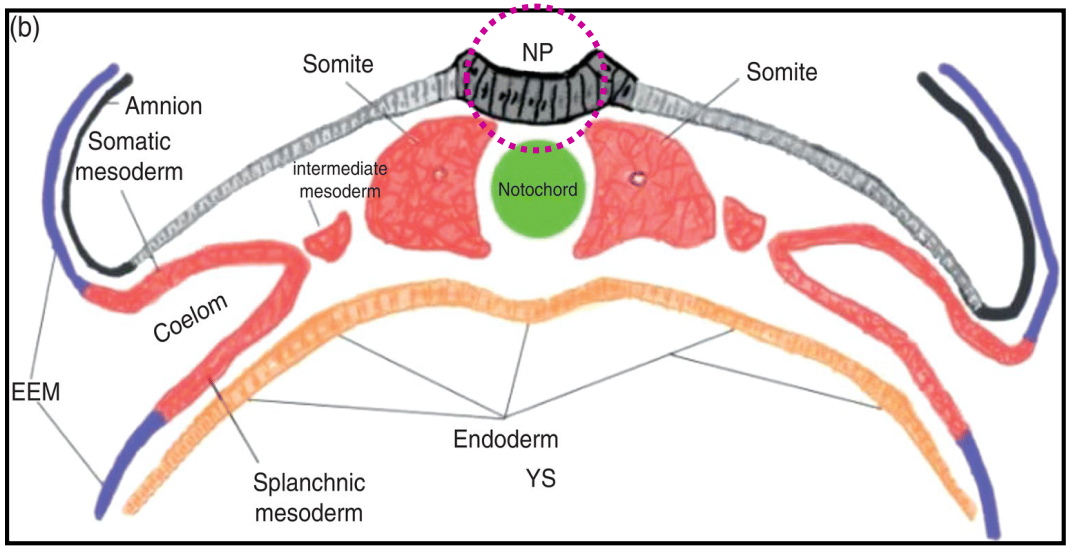
# Blanitý labyrint

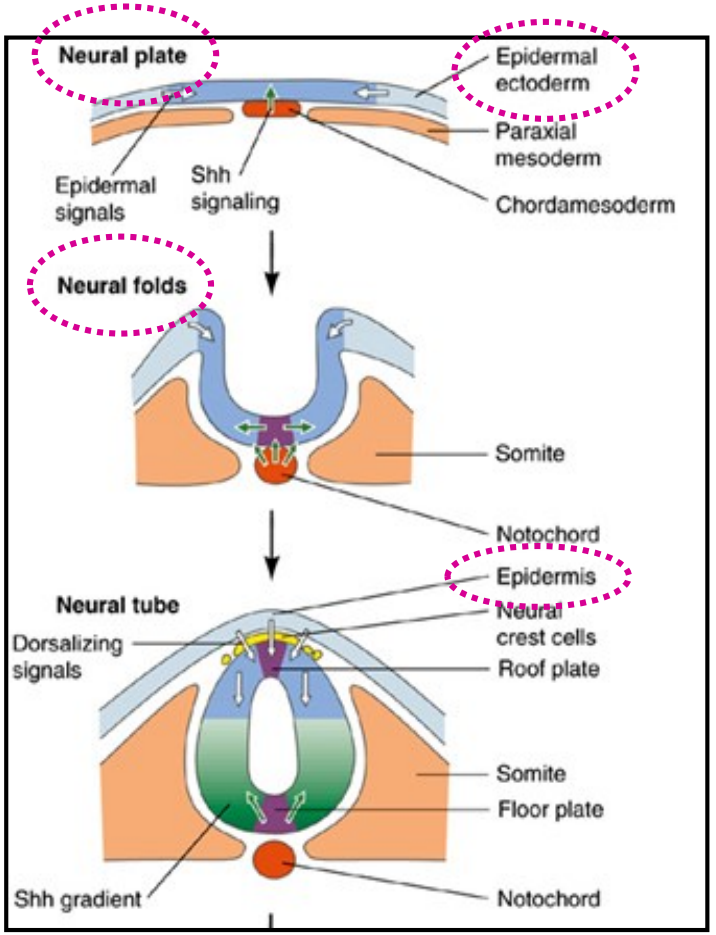


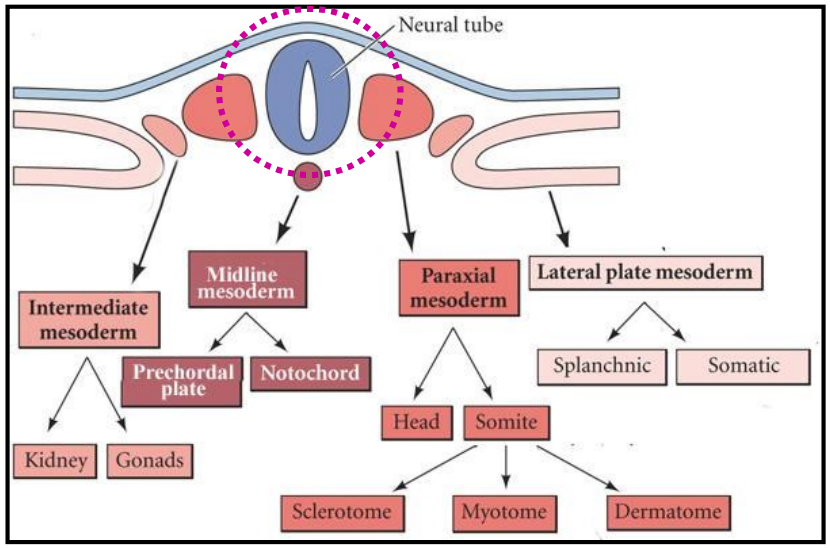
# Vývoj smyslových orgánů – Celkový obrázek

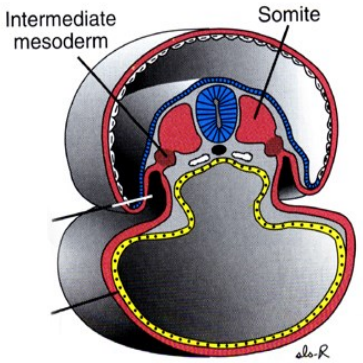


# Smyslové orgány – Nervová trubice

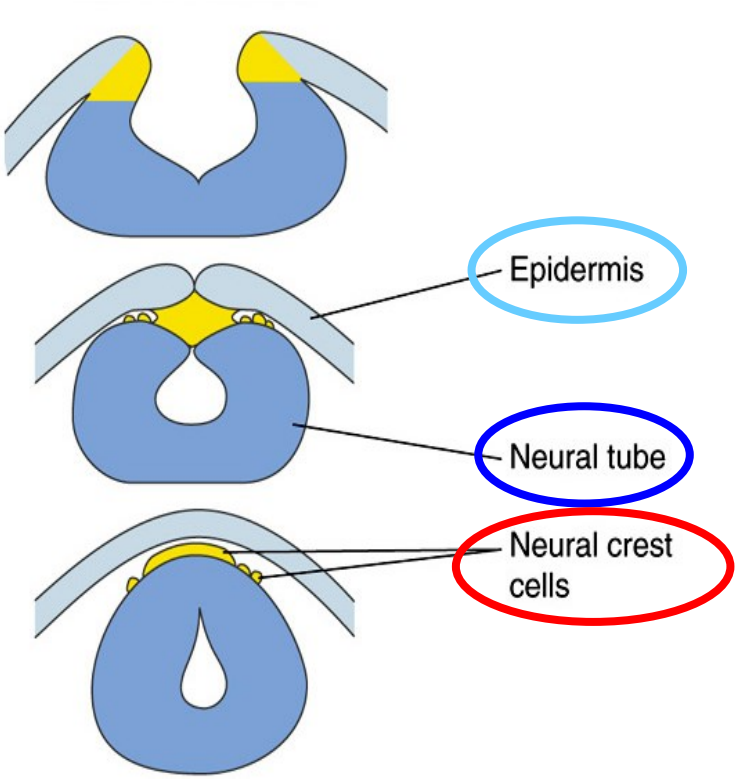


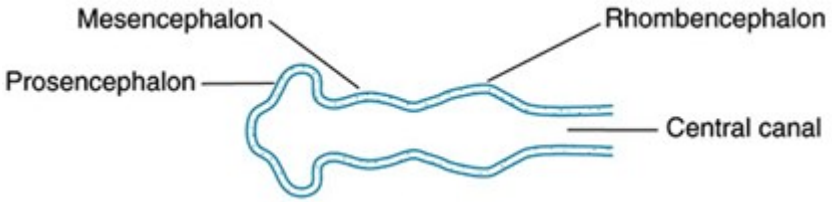



# Smyslové orgány – Neurální lišta



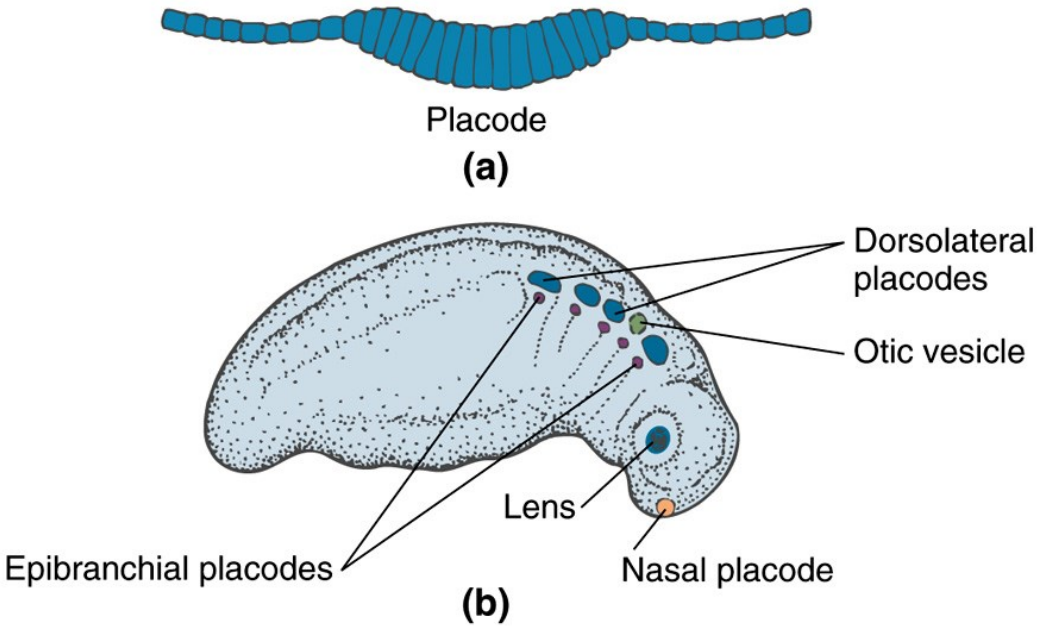

**Vzniká z obou**
**dorzální epidermis a nervové ploténky**

# Smyslové orgány – Kraniální část nervové trubice + Plakody




**Mozek po 4 týdnech vývoje**

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



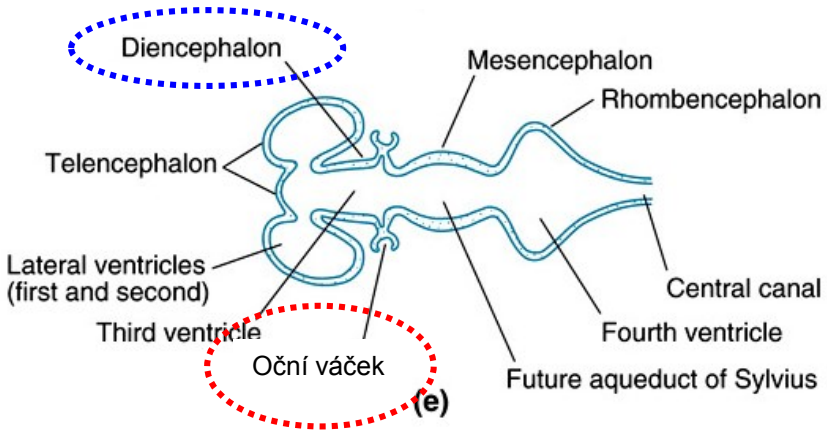

**Dorsolaterální plakody**
Přispívají k vývoji:
- oka – plakoda čočky
- ucha – ušní plakoda
- sensorického epitelu nosu – nazální plakoda
- sensorických ganglií

**Epibranchiální plakody**
Dávají vznik:
- sensorickým gangliím hlavových nervů (V, VII, IX, X)

# Smyslové orgány – Vývoj oka 1

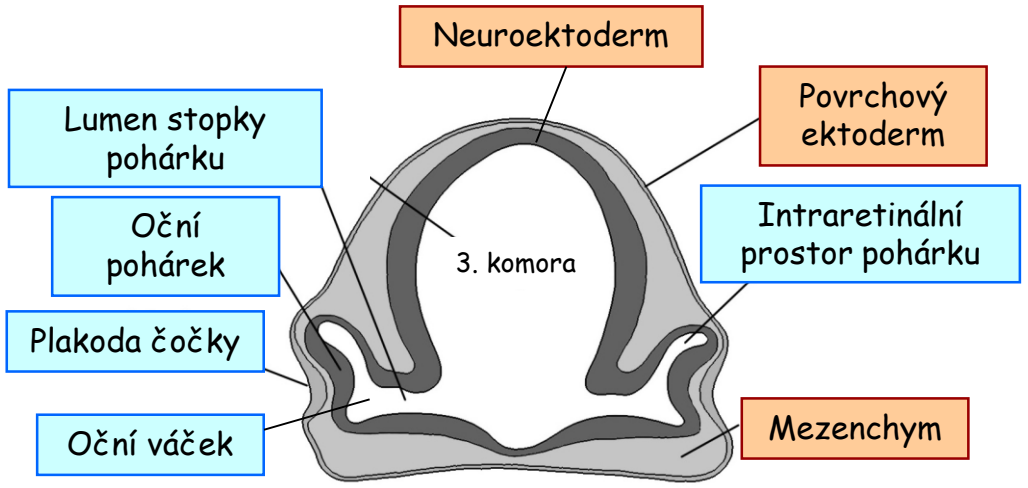
**22 týden – první známky vývoje oka**

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




**Mozek po 4 týdnech vývoje**

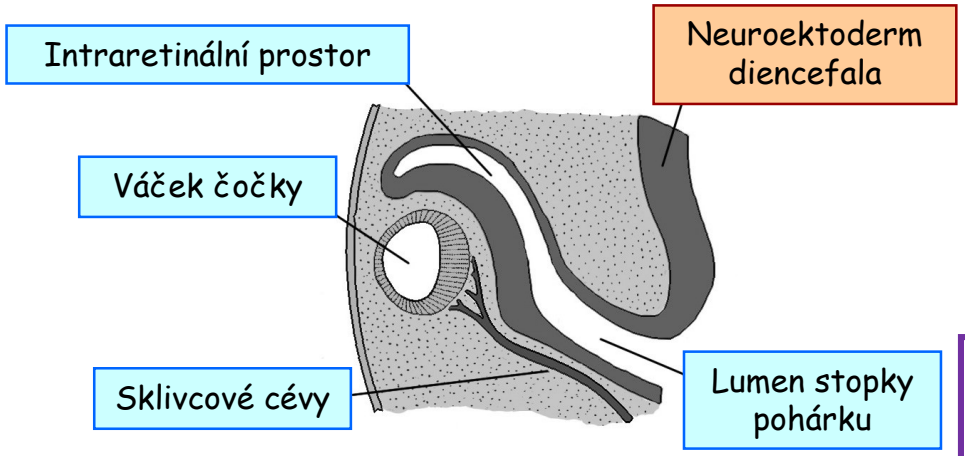
# Smyslové orgány – Vývoj oka 2



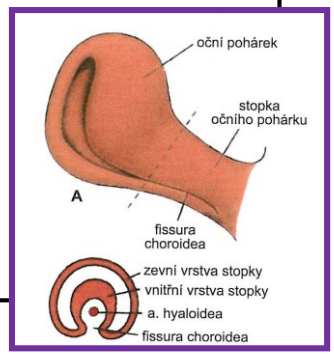

Příčný řez v úrovni prozencefala – cca 30 dní

# Smyslové orgány – Vývoj oka 3

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



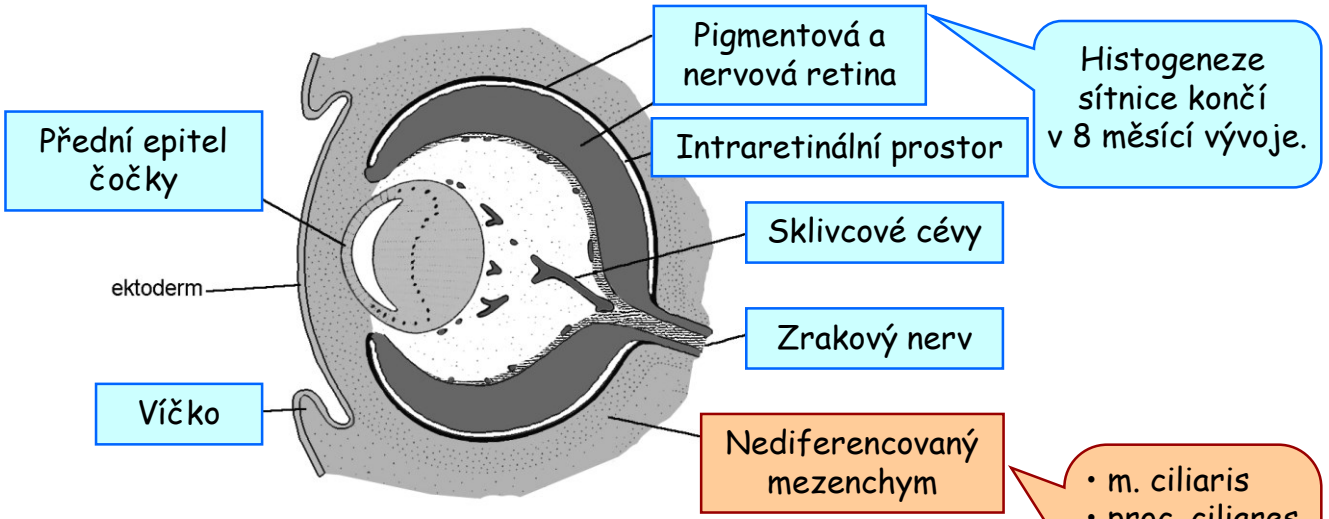

Příčný řez v úrovni diencefala – cca 6 týdnů



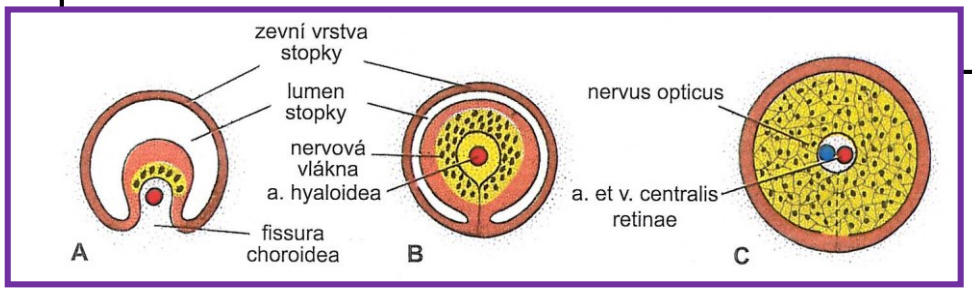
# Smyslové orgány – Vývoj oka 4

Fissura choroidea se uzavírá – vzniká zrakový nerv.

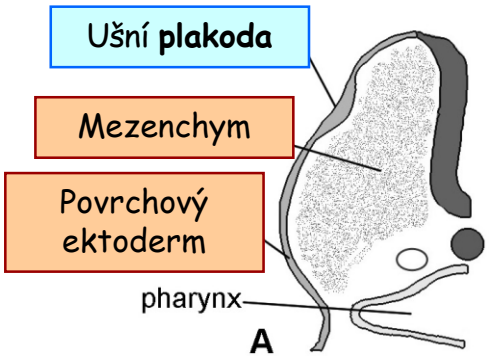
Čočkový váček se odškrcuje – zaujímá centrální pozici – vzniká jádro čočky s prvními vlákny

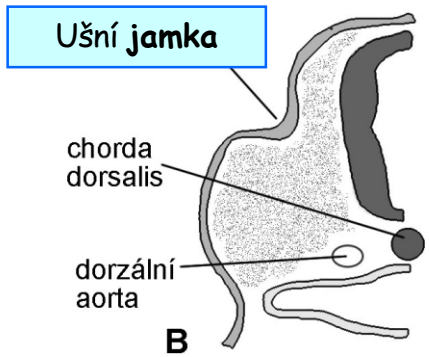


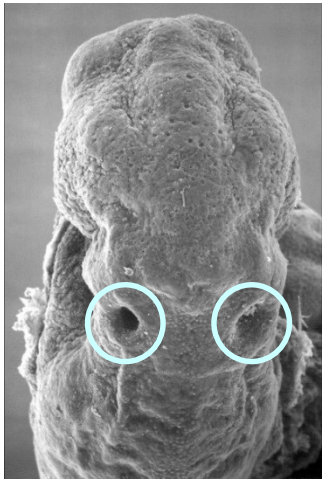

Příčný řez vyvíjejícím se okem – cca 7 týdnů

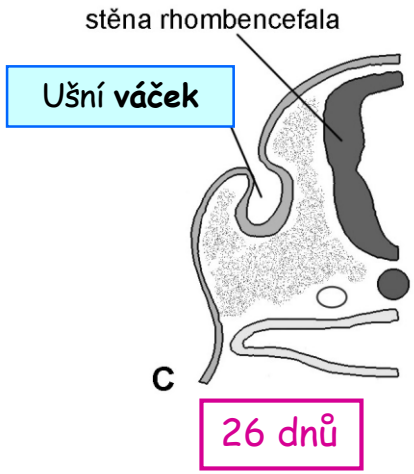


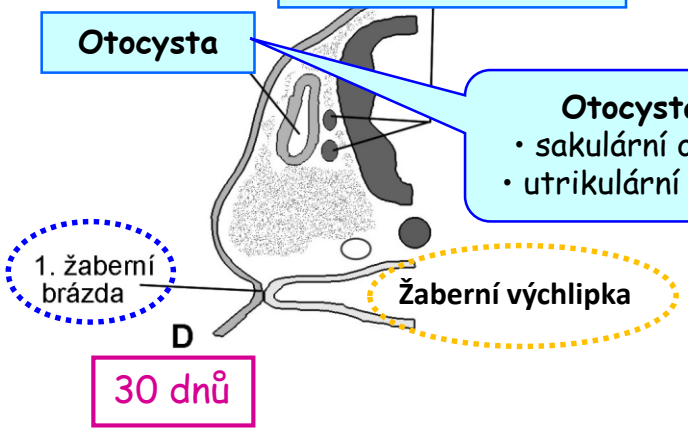
# Smyslové orgány – Vývoj ucha 1






Příčný řez v úrovni rhombencefala

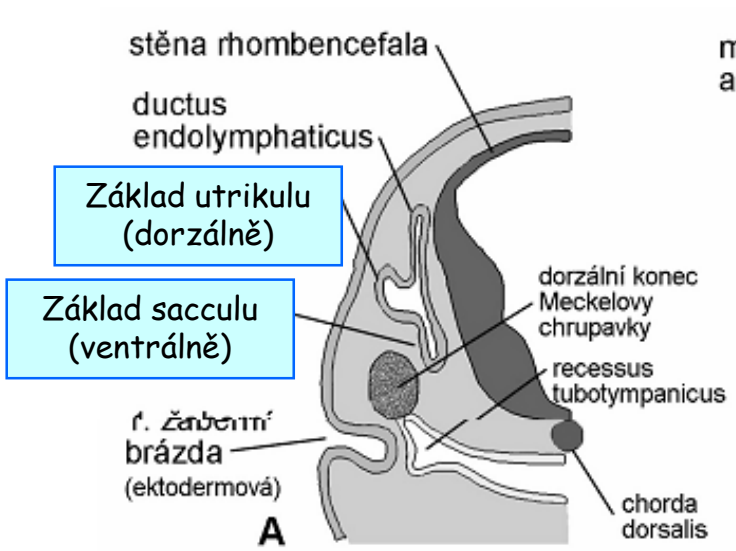
# Smyslové orgány – Vývoj ucha 2

**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

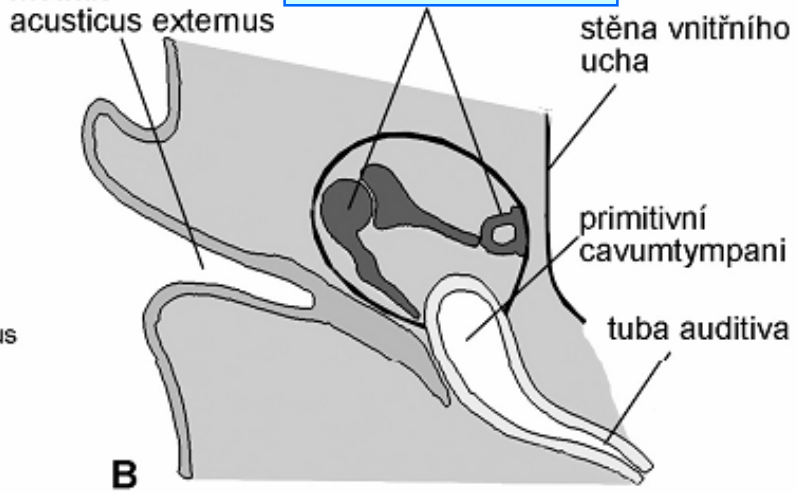
**10 týden-3.trimestr**
- vývoj Cortiho orgánu

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




7 týden

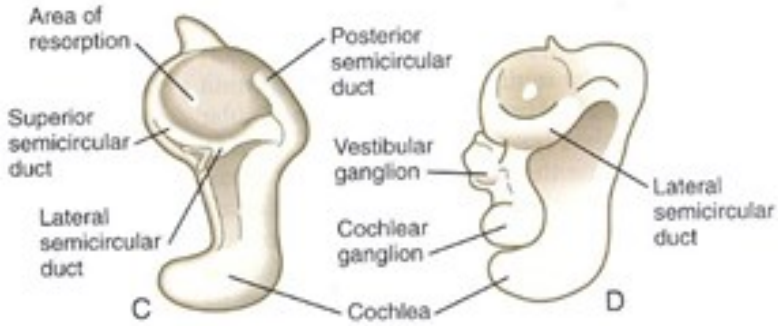
Středoušní kůstky

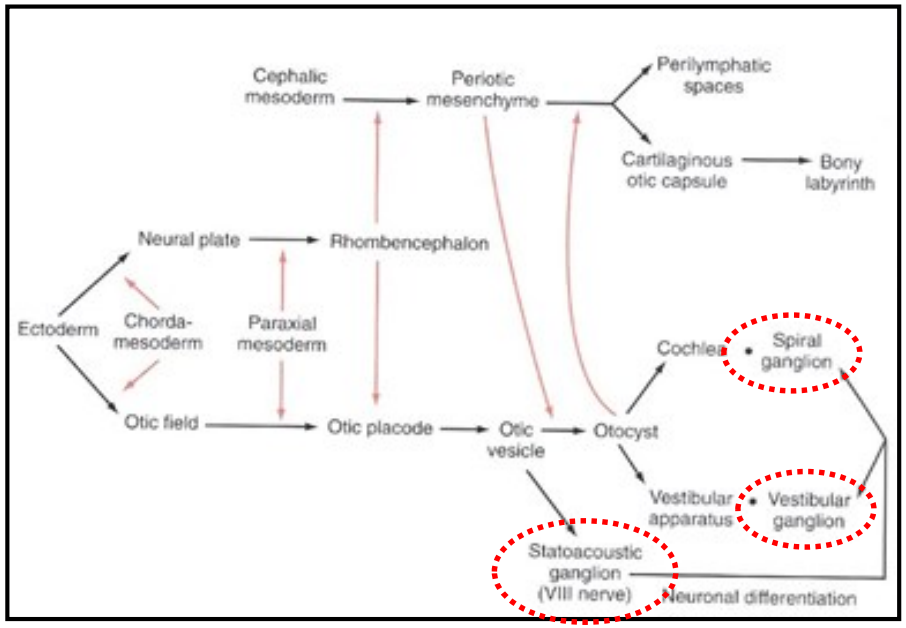



konec 3. měsíce

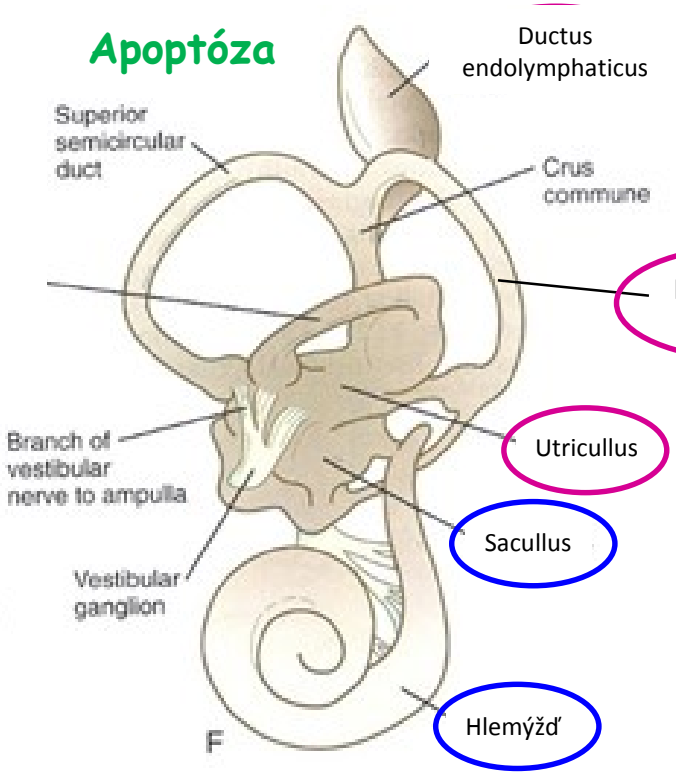
# Vývoj ucha – Vnitřní ucho 2

## Elongace




## Apoptóza




Polokruhové kanálky

Utricullus

Sacullus

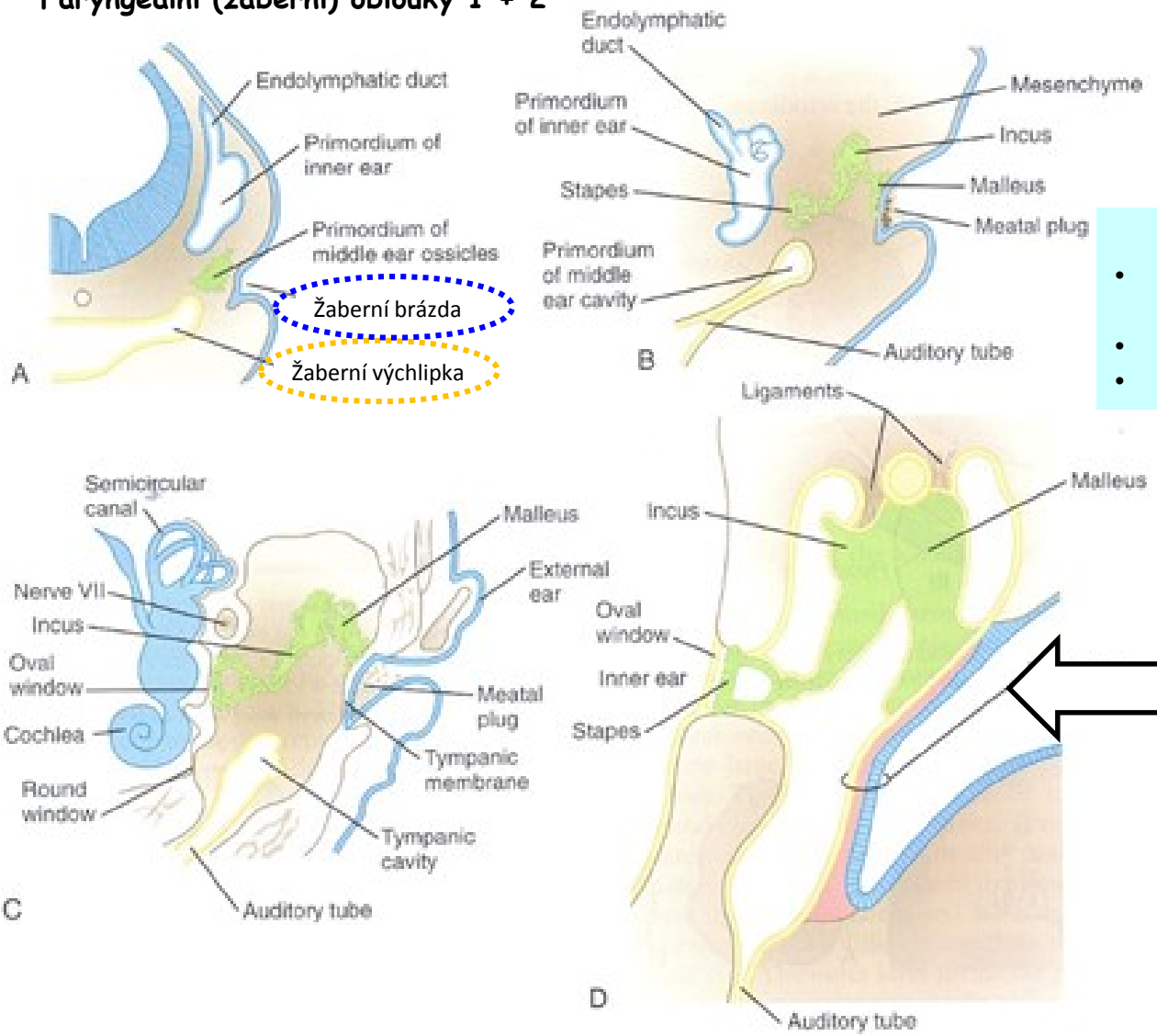
Hlemýžď

**Dorzální část**

**Ventrální část**

# Vývoj ucha – Vnitřní ucho 3

**Faryngeální (žaberní) oblouky 1 + 2**




**Středoušní kůstky**

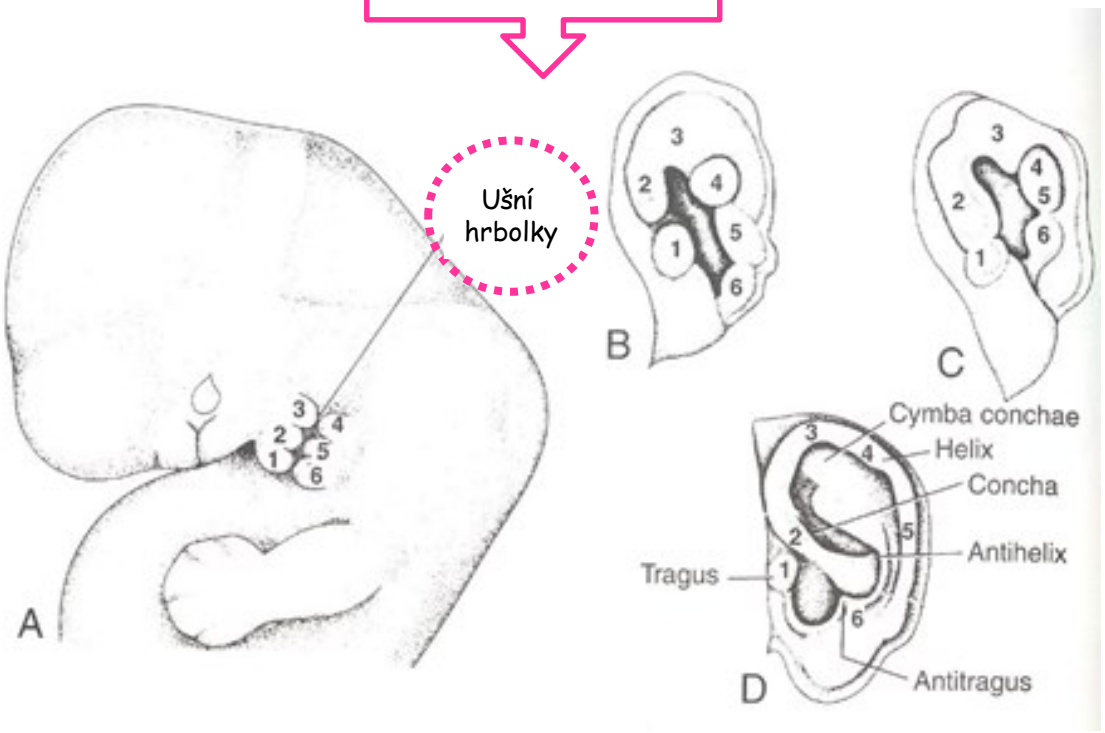
- Mezenchym odvozený z neurální lišty (žab. oblouky 1+2)
- Obdány mezenchymem
- Apoptóza v pozdní graviditě

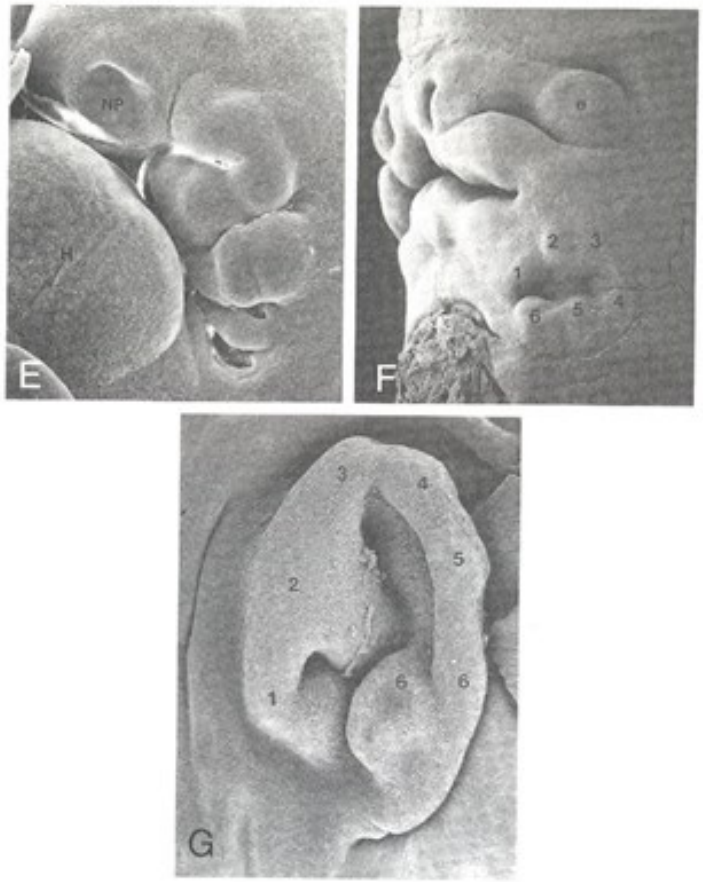
**Ušní bubínek**

Entoderm
Mezoderm
Ektoderm

# Vývoj ucha – Vnější ucho

Mezenchym




Zevní zvukovod - ektoderm

Děkuji za pozornost !