

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 tělíška

Složité 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

Přidatné struktury oka

- víčko,
- spojivka
- slzný aparát
- okohybné svaly



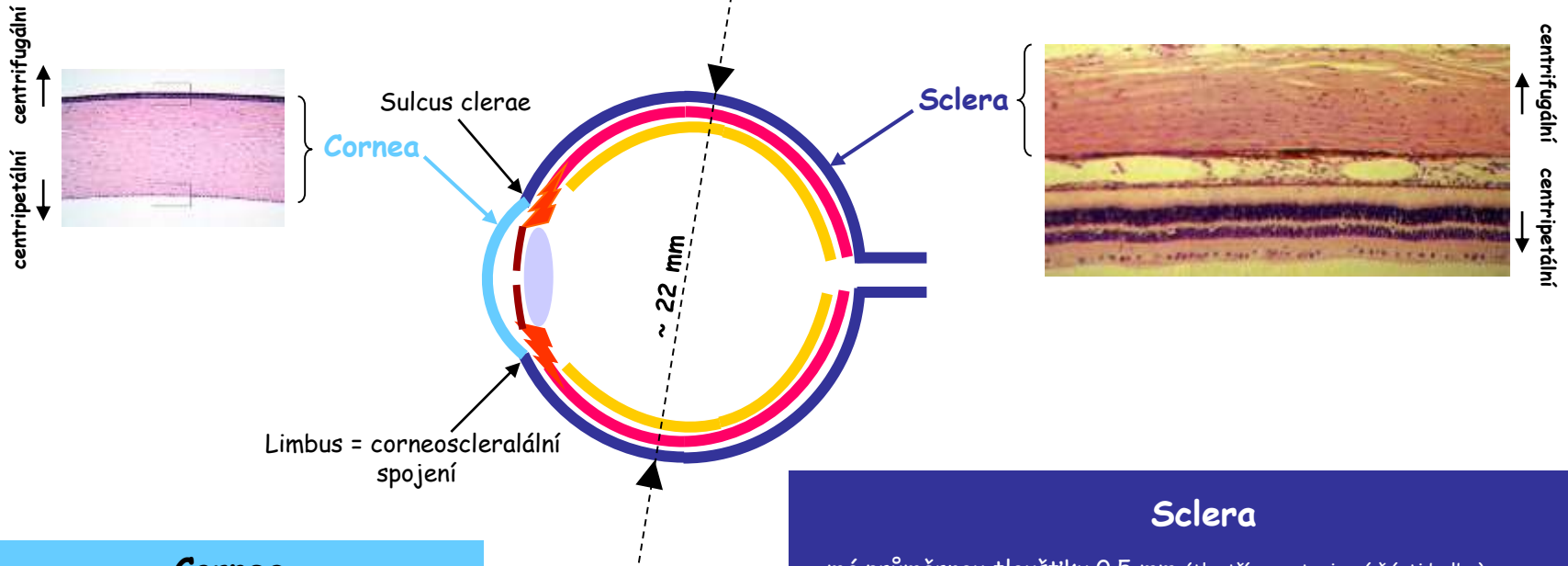
Jaké požadavky by struktury oka měl splnit ?

- 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 (Bělma)	=	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

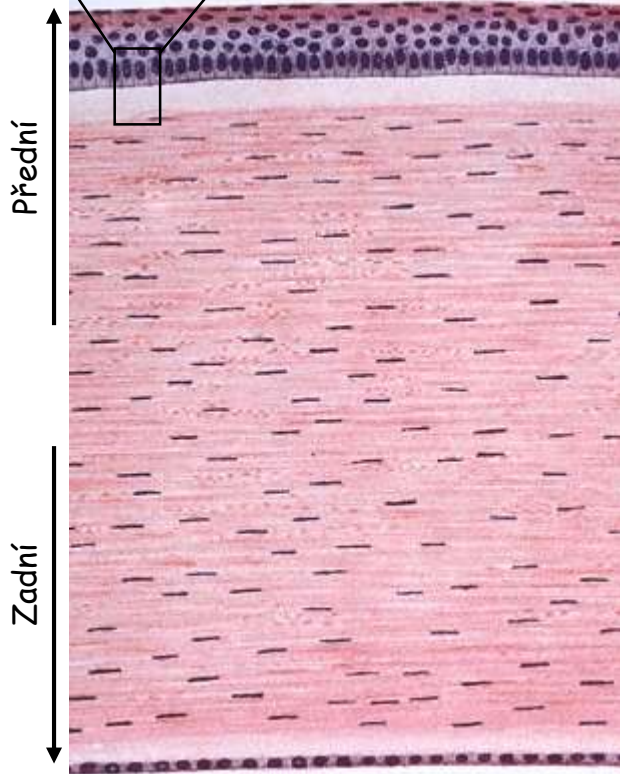
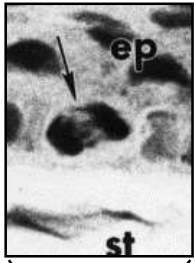
pokračování na dalším obrázku

Sclera

- má průměrnou tloušťku 0.5 mm (tlustší v posteriorní části bulbu)
- tvořena svazky vláken kolagenu I (kříží se v různých směrech)
- obsahuje ojedinělé 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 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 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

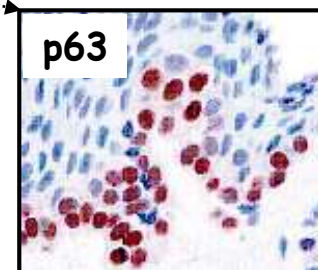
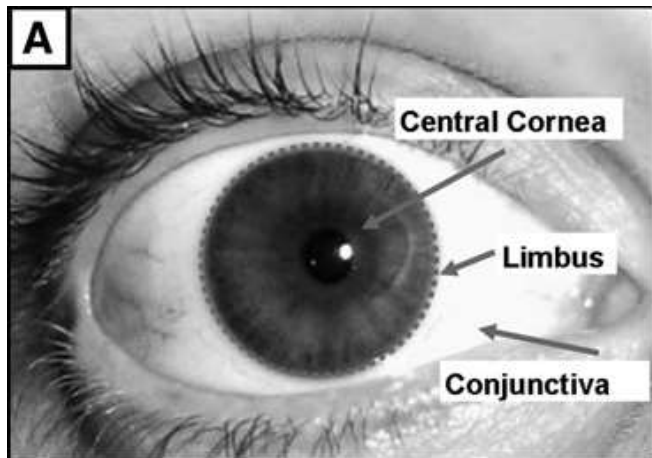
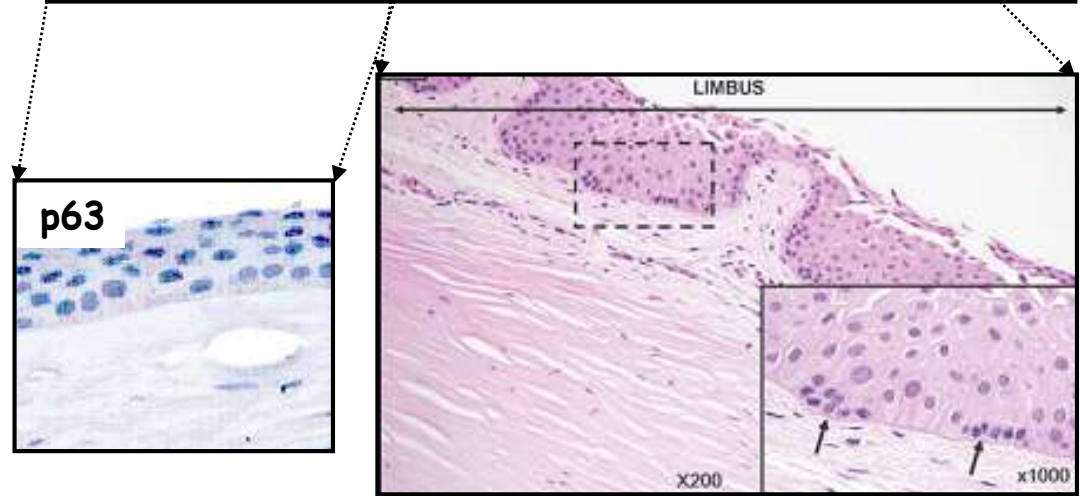
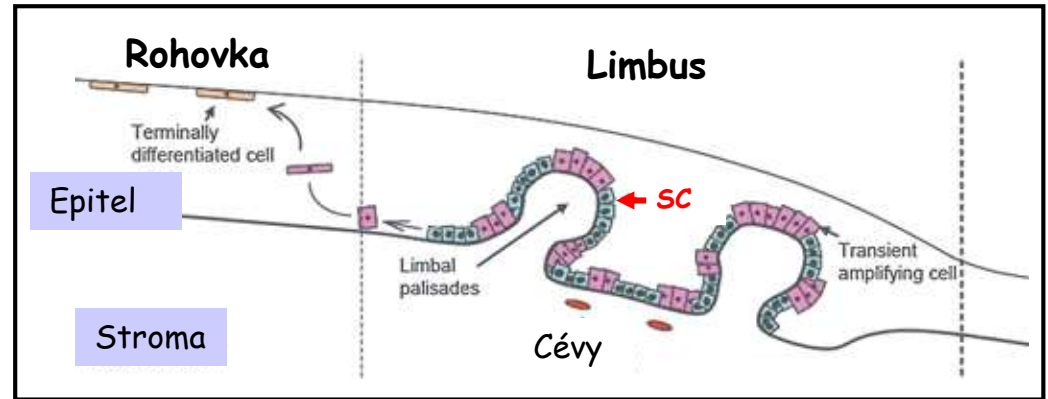
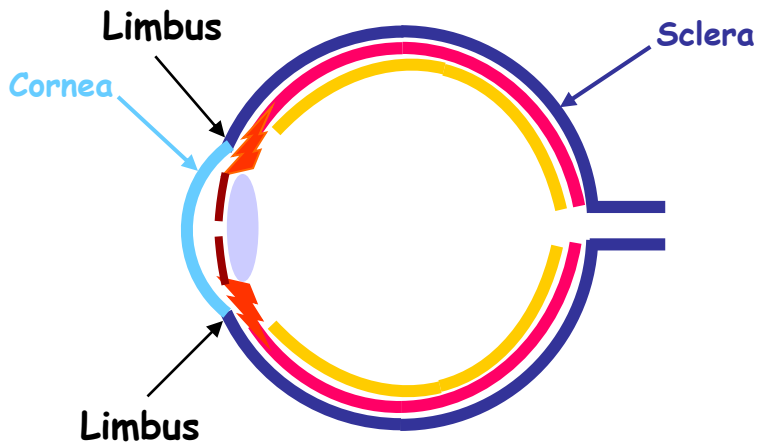
- jednovrstevný dlaždicový epitel
- svojí aktivitou udržuje ve správném stavu stroma rohovky
- přechází na přední plochu duhovky (přes spongium anguli iridocornealis)

Schopnost regenerace

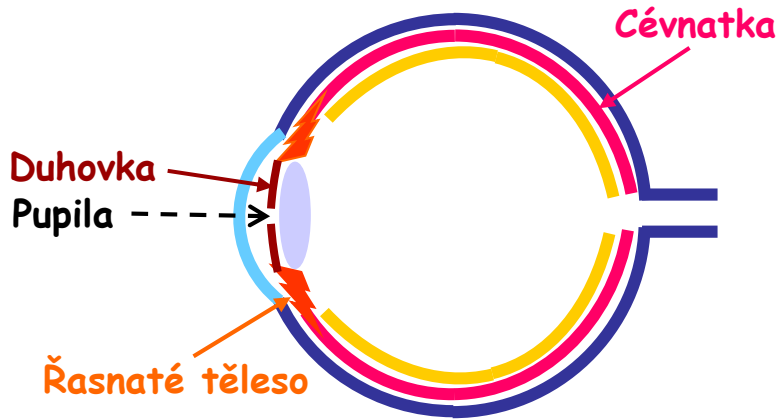
Limbus - corneosclerální spojení

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

Je vysoce vaskularizovaná - vyživuje bezcévnou rohovku.



Dostatečné zásobení zdroji



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 silnější cévy a nervová vlákna

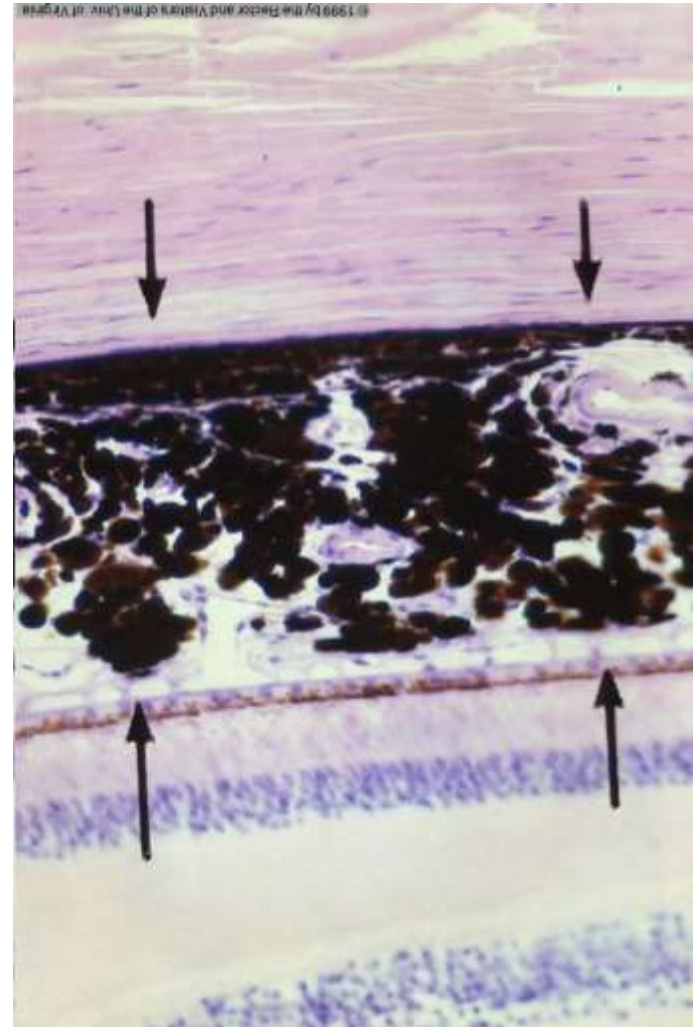
Lamina choriocapillaris

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

Cévnatka



Sclera

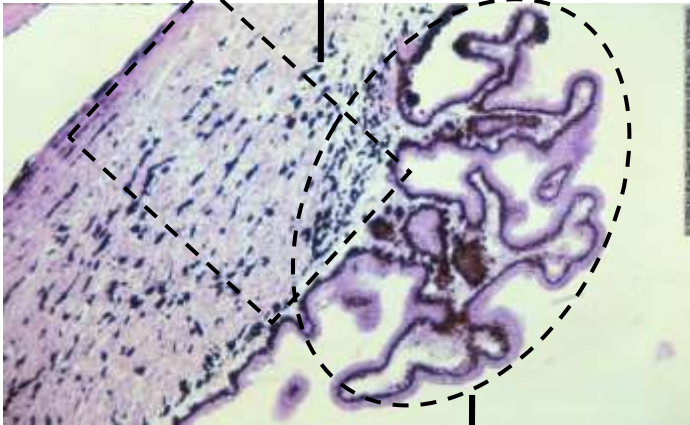
Retina

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*)



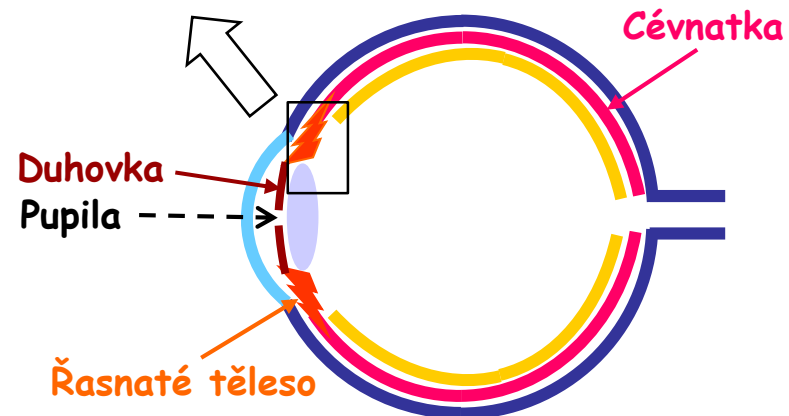
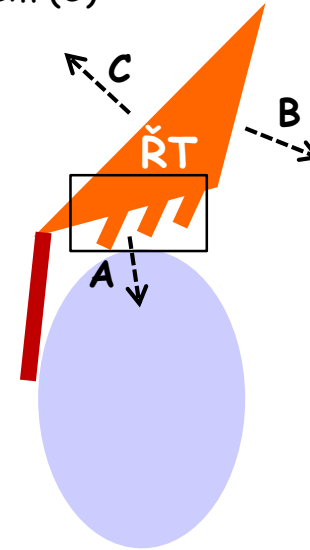
Výběžky ŘT (Processus ciliares)

- 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)

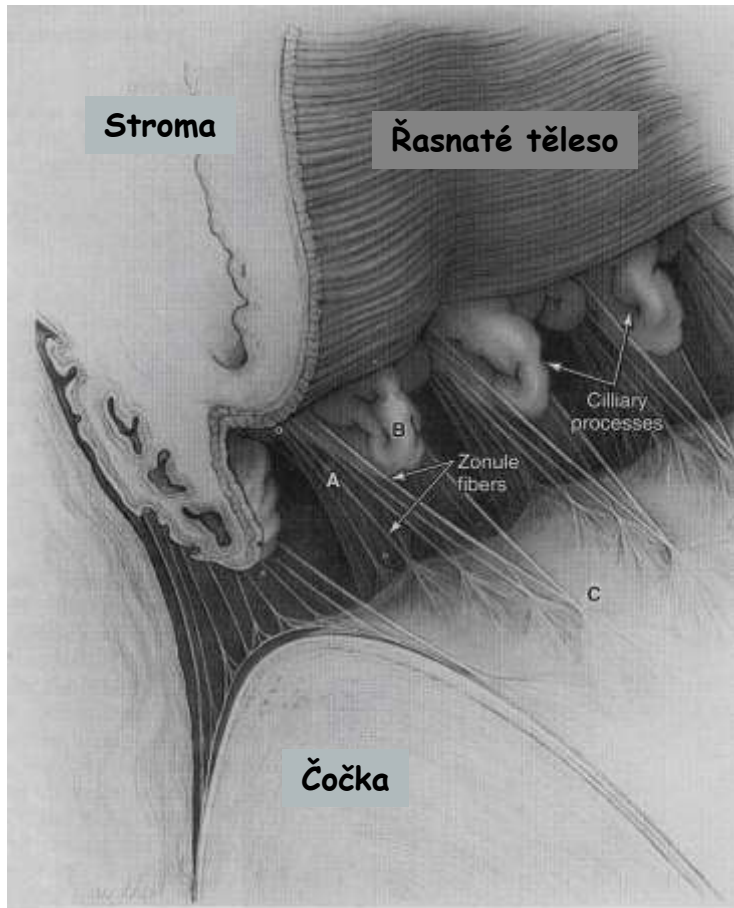
Trojúhelníkovité na řezu

Stýká se s:

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

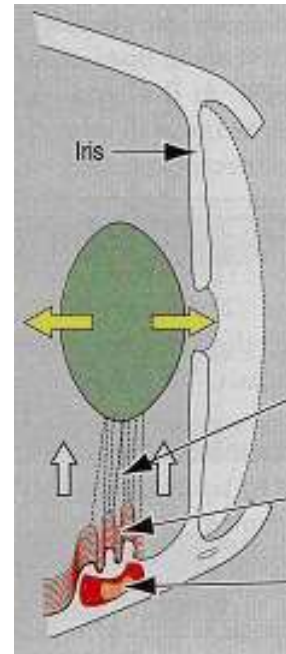


Řasnaté těleso



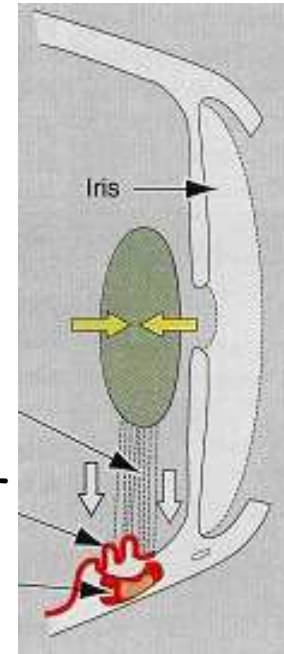
Akomodace čočky

Vidění na blízko



- sval kontrahován
- zonulae uvolněny

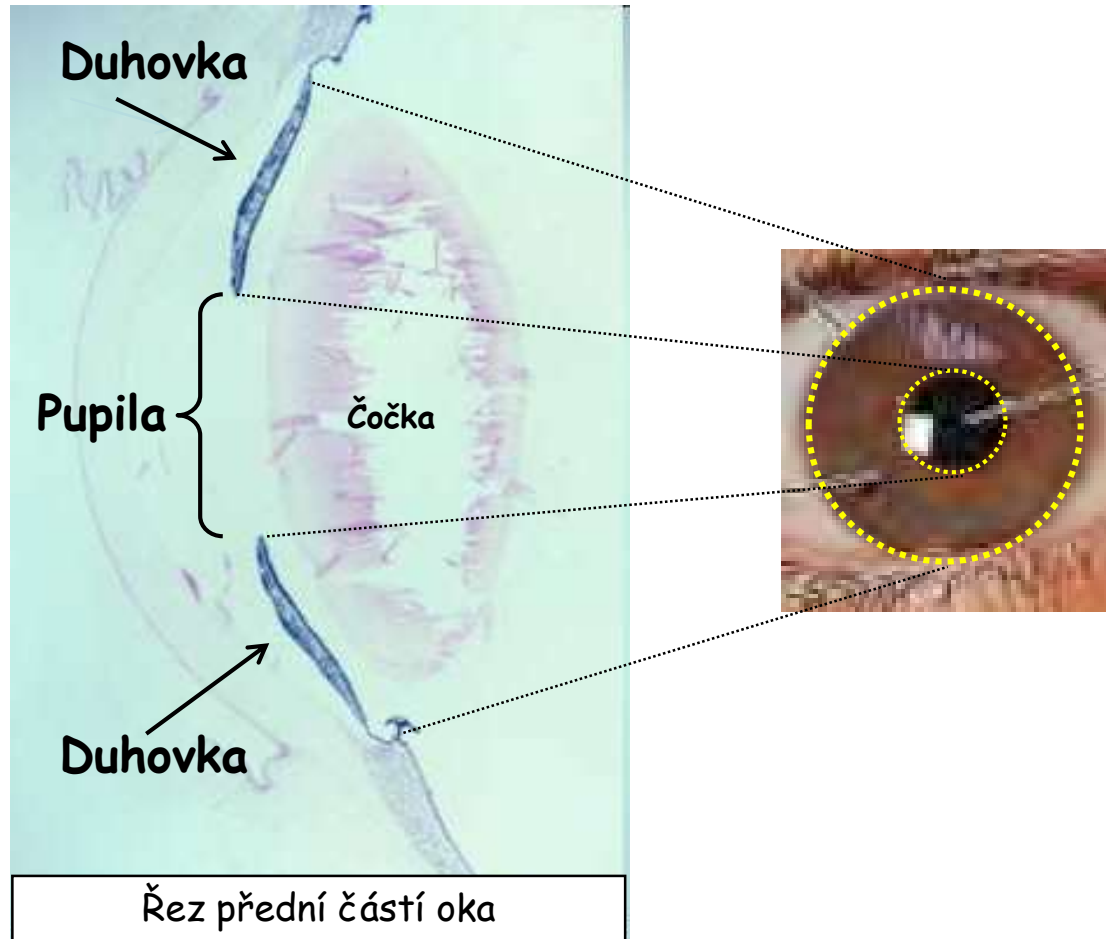
Vidění do dálky



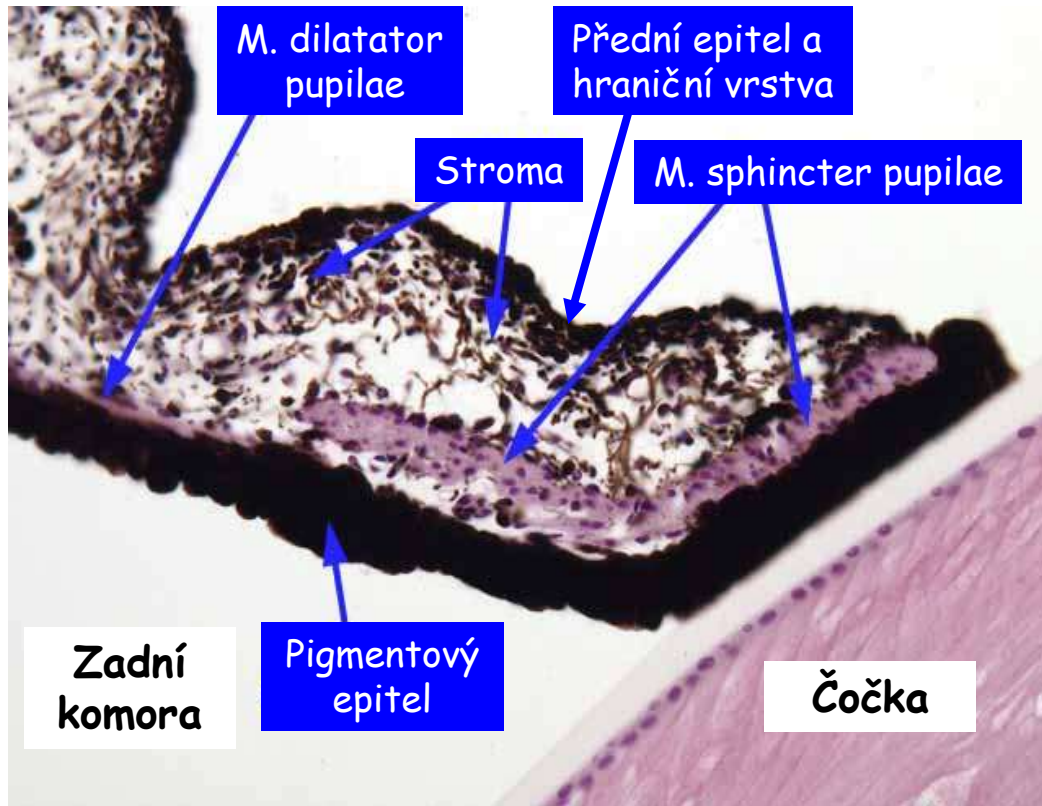
- sval relaxován
- zonulae napnuty

Duhovka (Iris) - 1

Přední pokračování cévnatky.
Částečně kryje čočku.



Duhovka (Iris) - 2

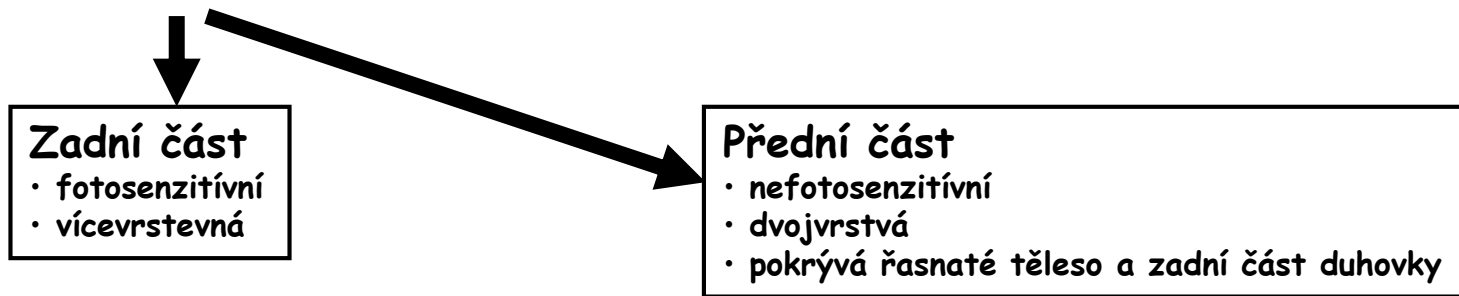


Duhovka = 4-vrstvá struktra
Vrstvy směrem z vnějšku:

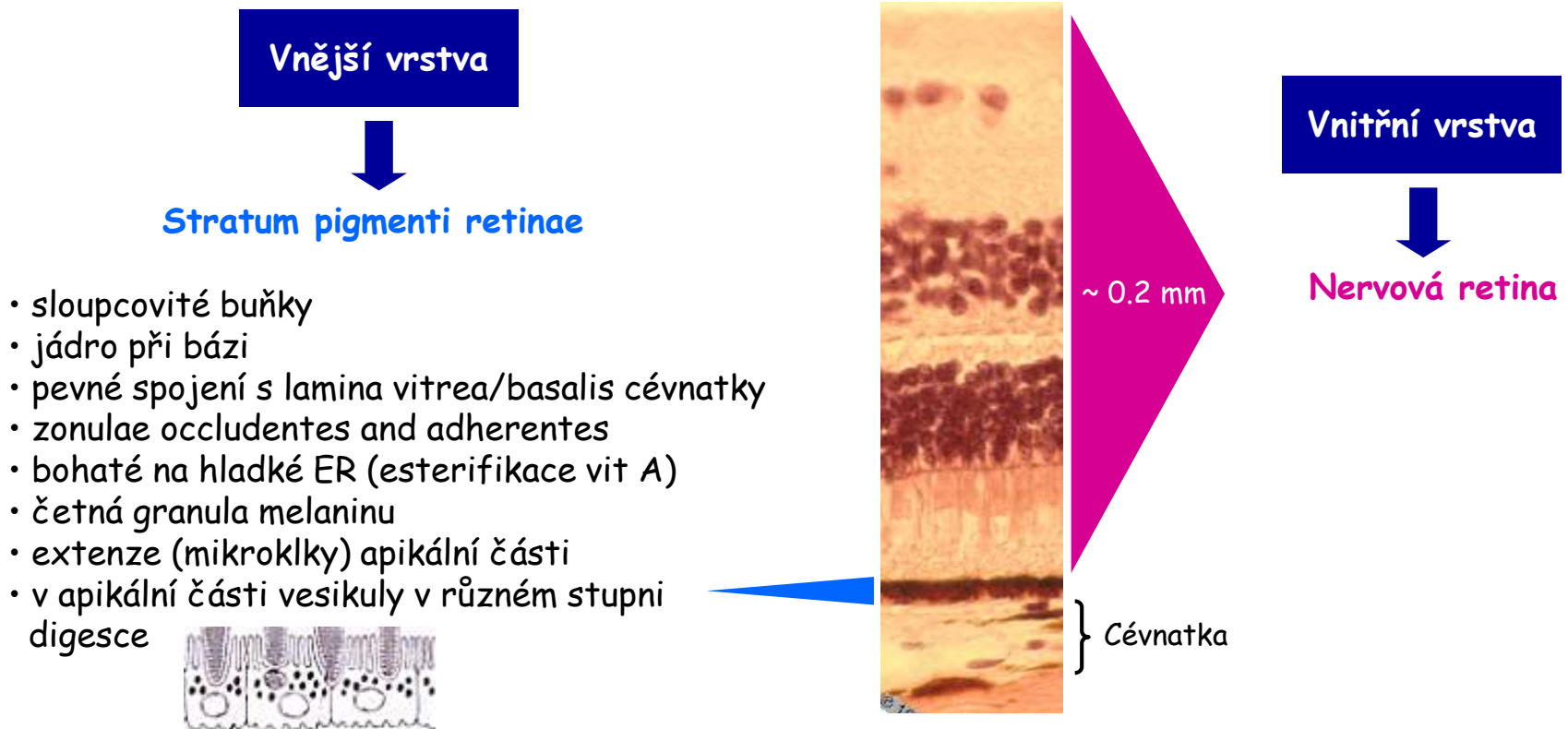
- 1. Přední epitel duhovky**
 - je pokračováním zadního epitelu rohovky
 - nesouvislá vrstva velmi plochých epitelialních buněk, fibroblastů a melanocytů
- 2. Přední hraniční vrstva**
 - tenká vrstva pojivové tkáně
 - bohatá na pigmentové buňky - melanocyty
 - **rozhoduje o barvě oka**
- 3. Stroma duhovky**
 - 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)

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

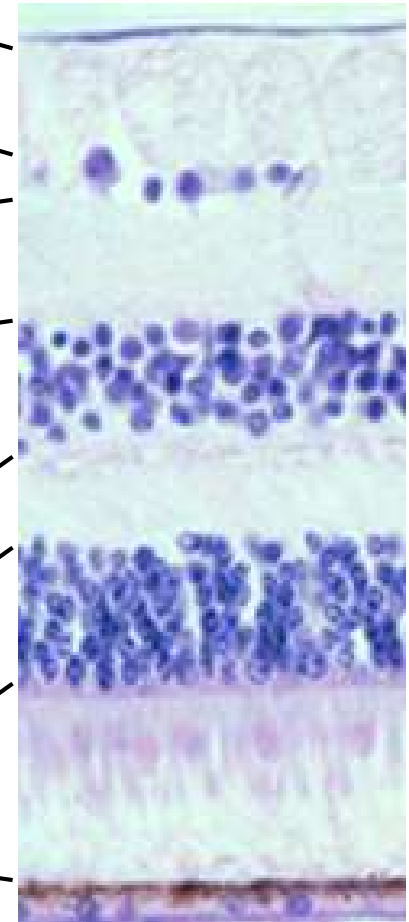
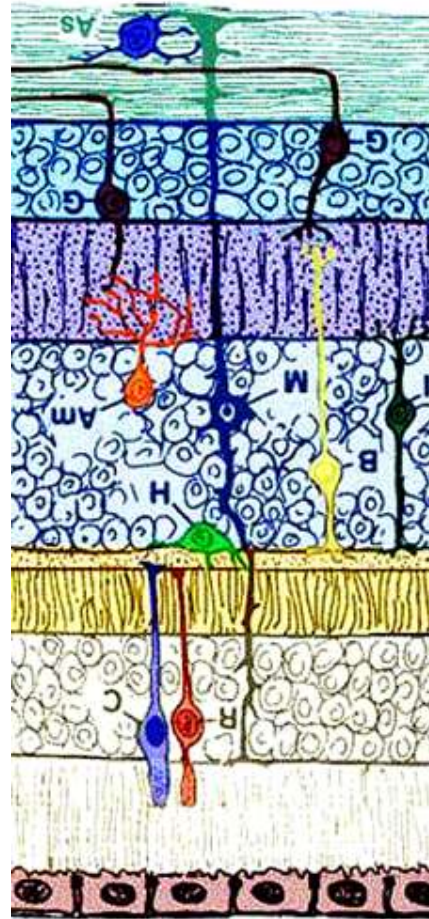
Zevní vrstva plexiformní

Zevní vrstva jádrová

Membrana limitans externa

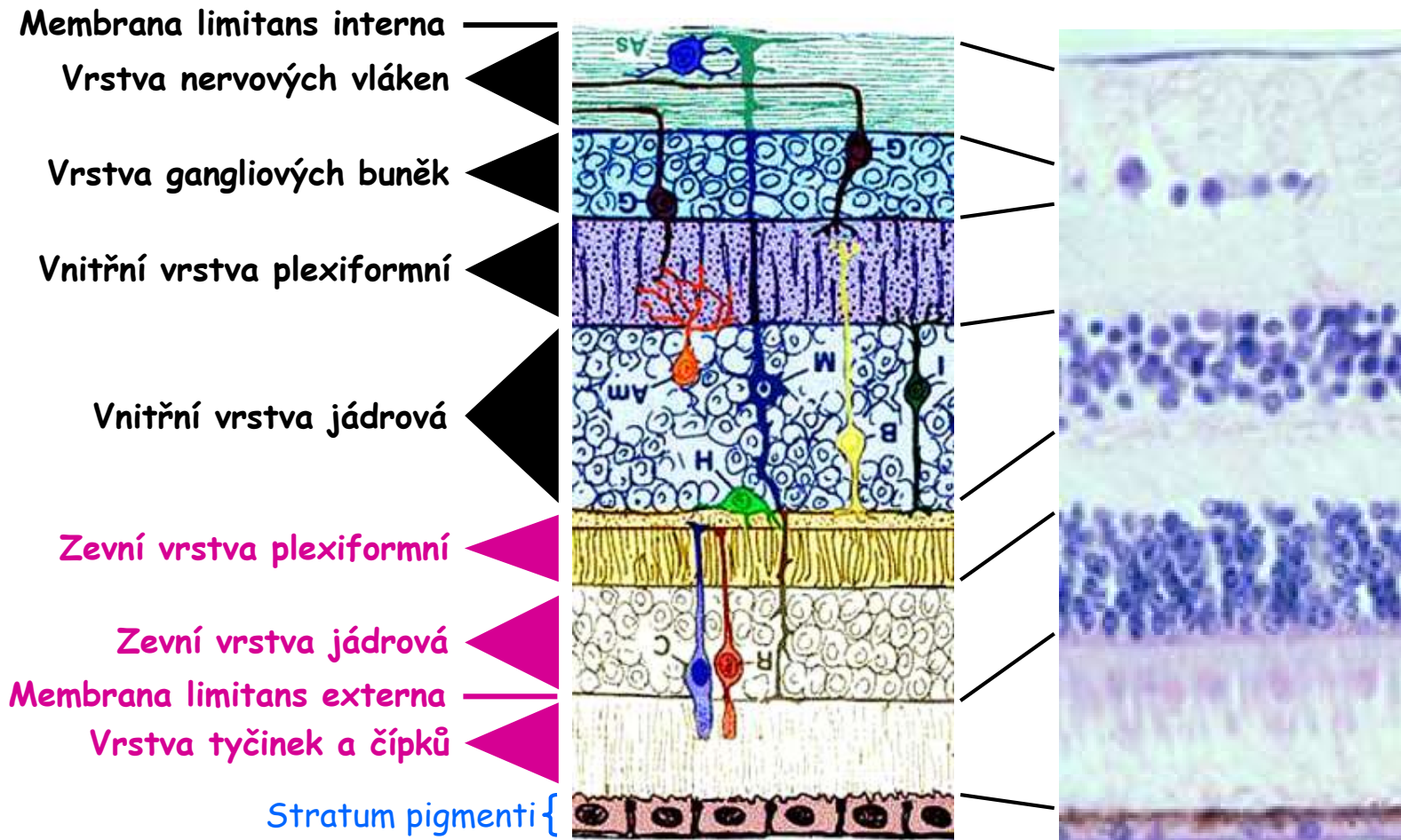
Vrstva tyčinek a čípků

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

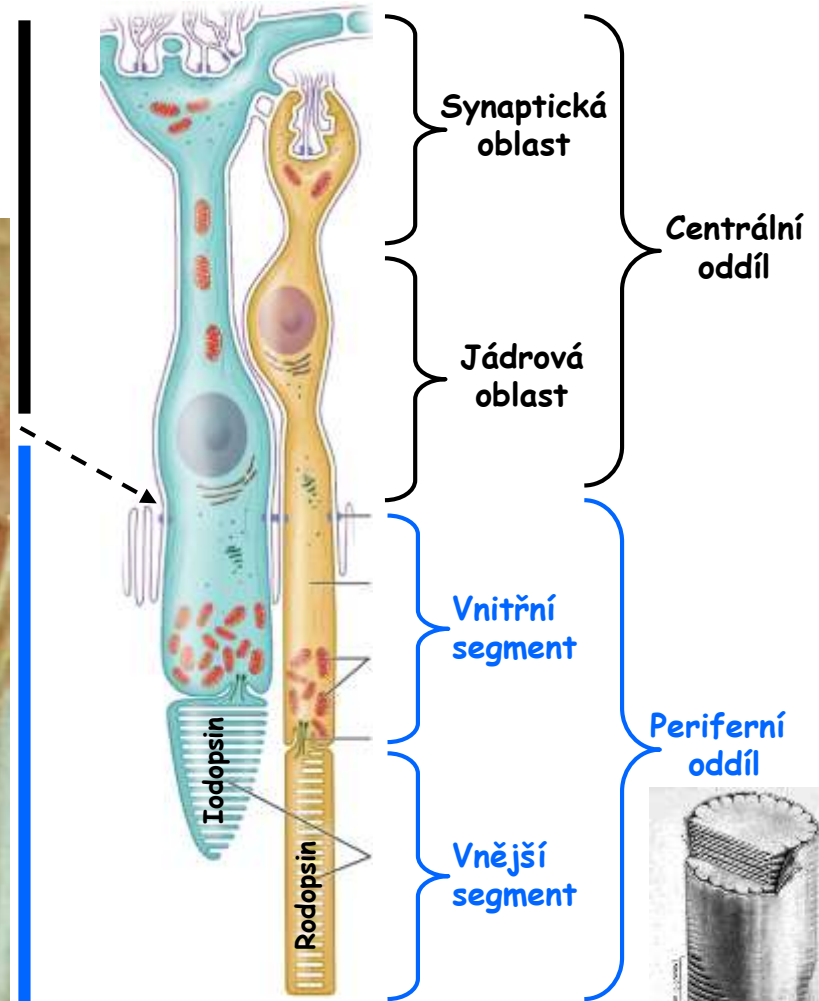
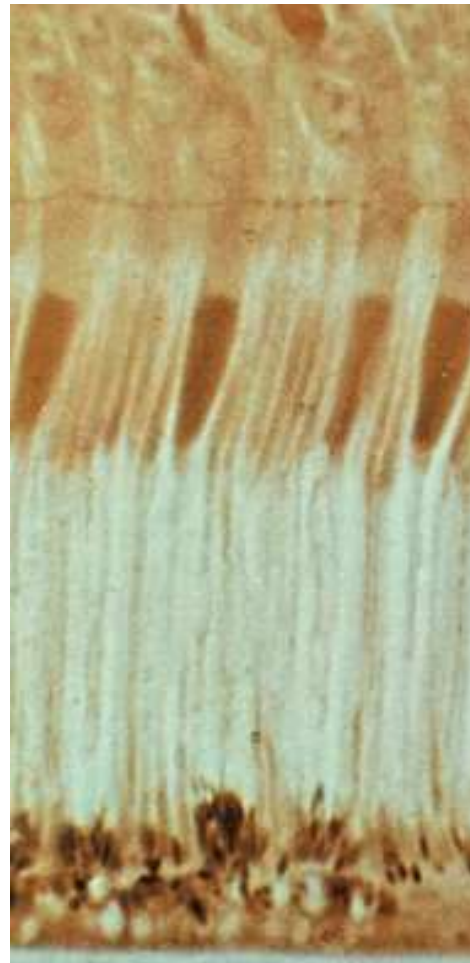
Membrana limitans externa

(série spojovacích komplexů mezi fotoreceptory a gliovými buňkami Mullerovými)

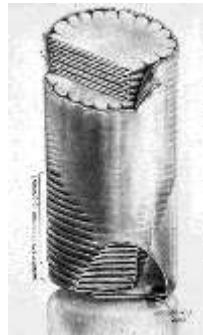
Vrstva tyčinek a čípků



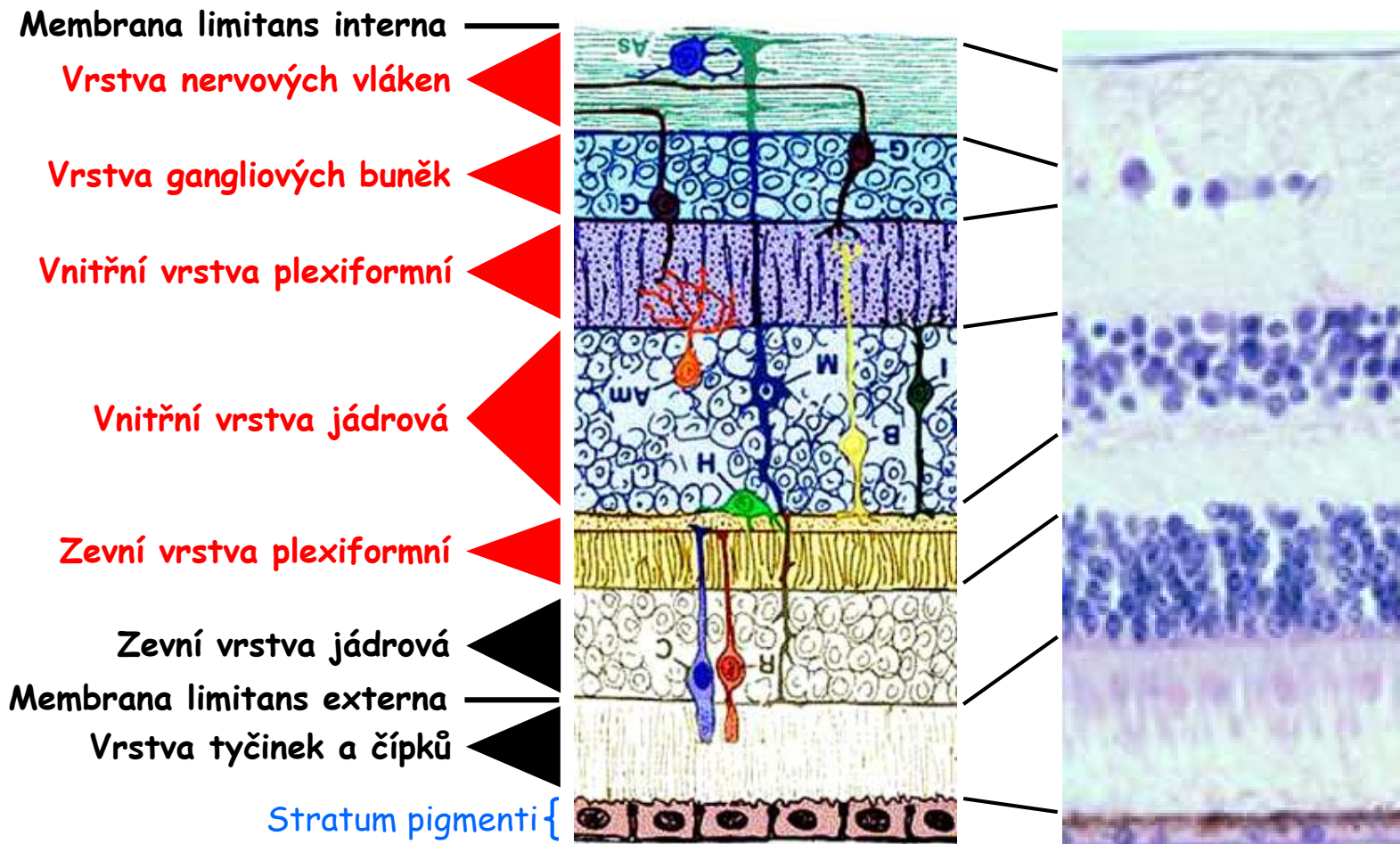
SEM



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

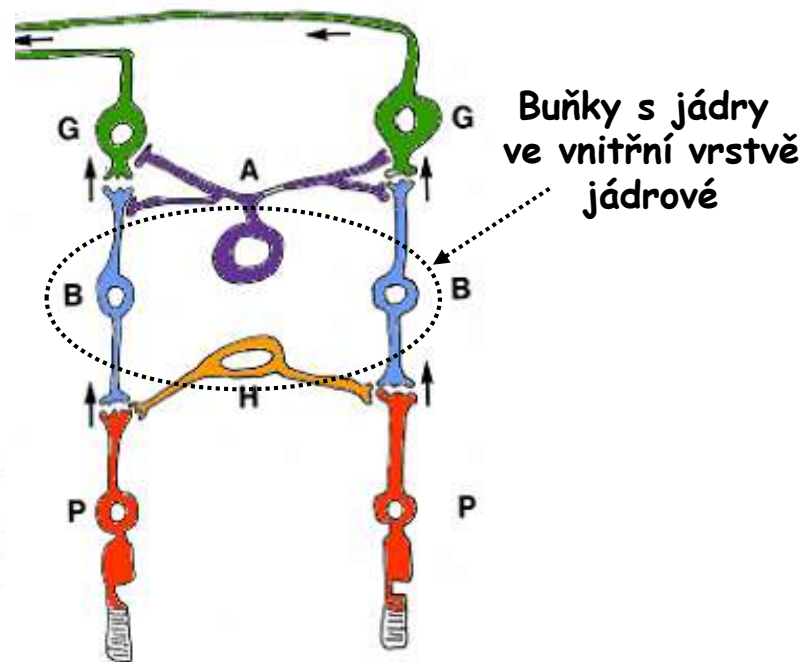
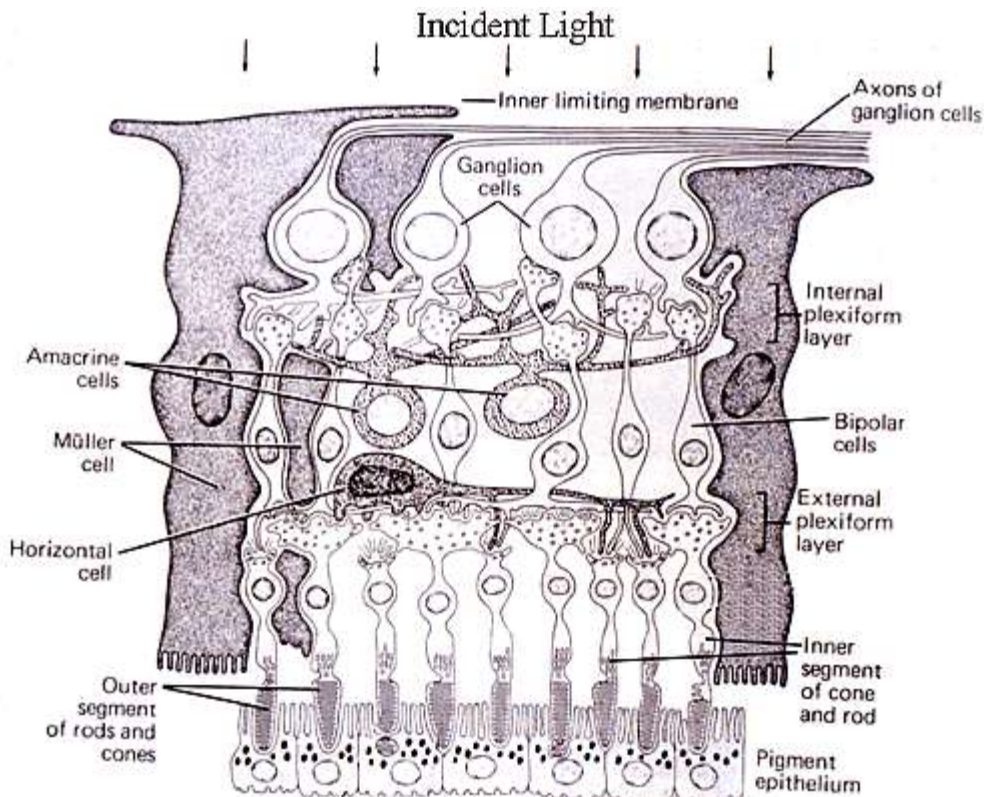
Asociační + integrační neurony

**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

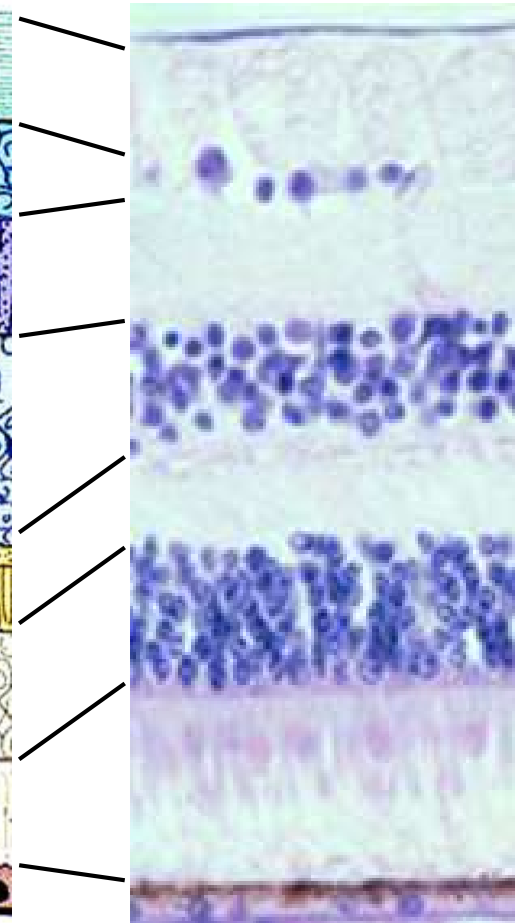
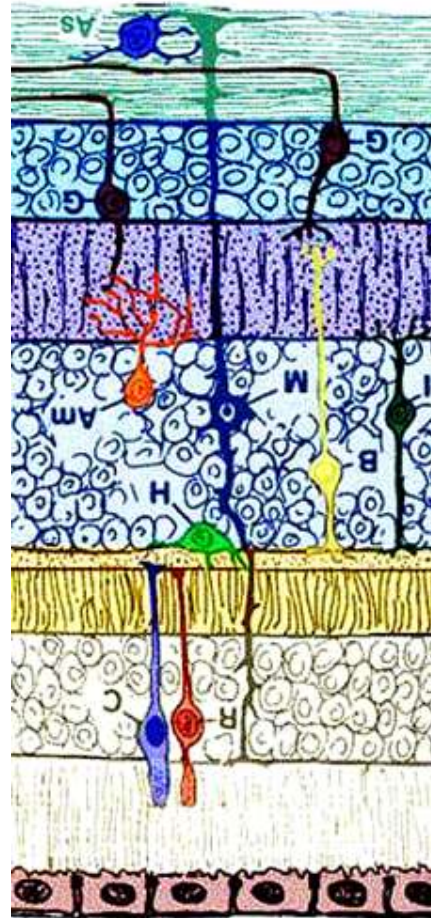
Zevní vrstva plexiformní

Zevní vrstva jádrová

Membrana limitans externa

Vrstva tyčinek a čípků

Stratum pigmenti {

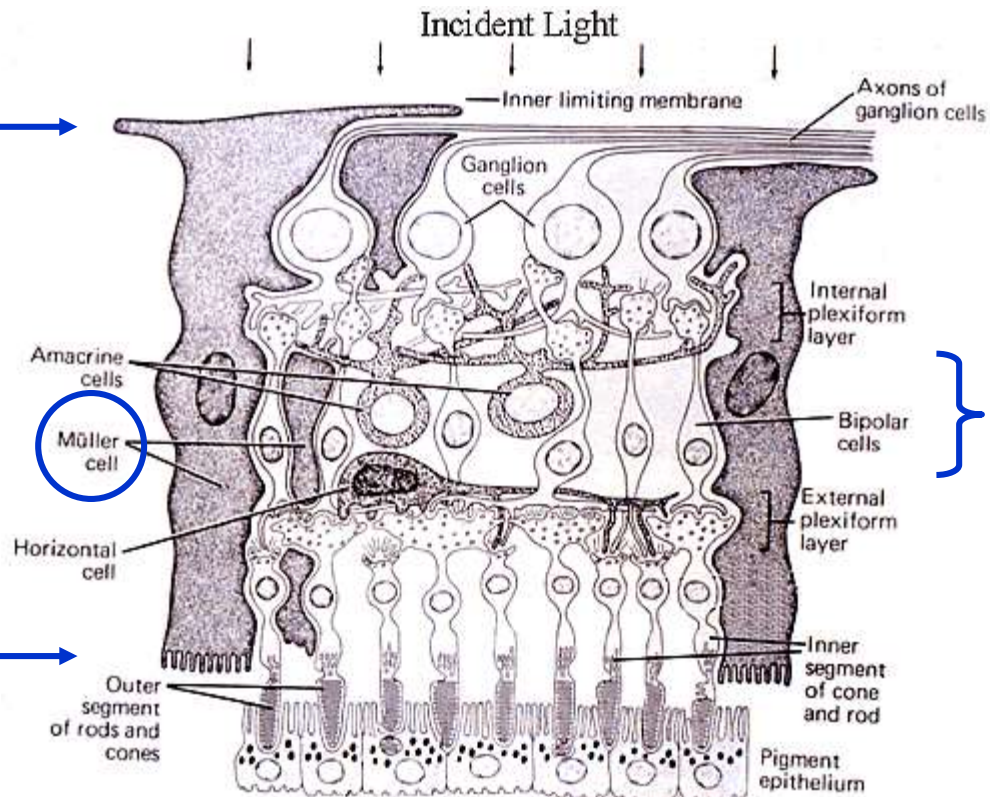


Podpůrné buňky sítnice 2

Mullerovy buňky

= modifikované glie CNS

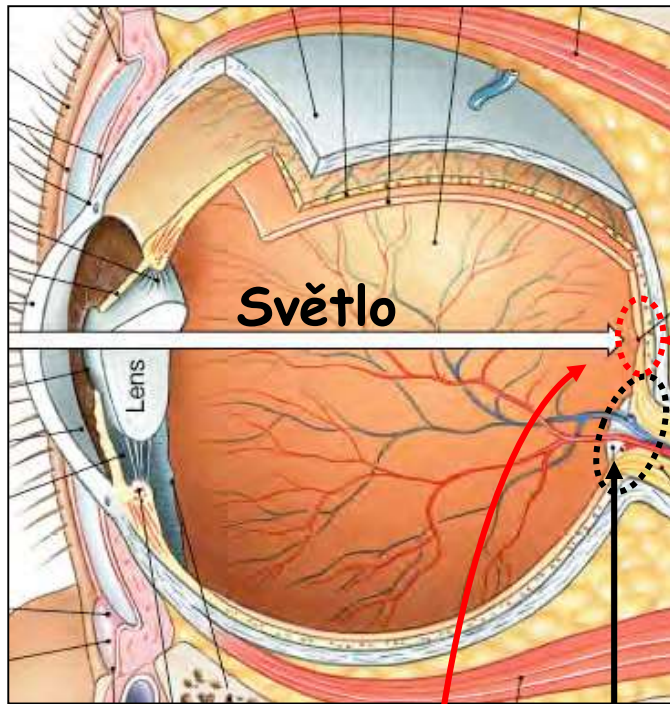
Membrana
limitans
interna



Vnitřní vrstva
jádrová

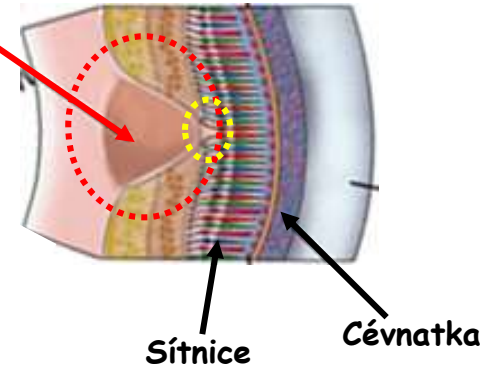
Membrana
limitans
externa

„Vidí sítnice všude stejně“



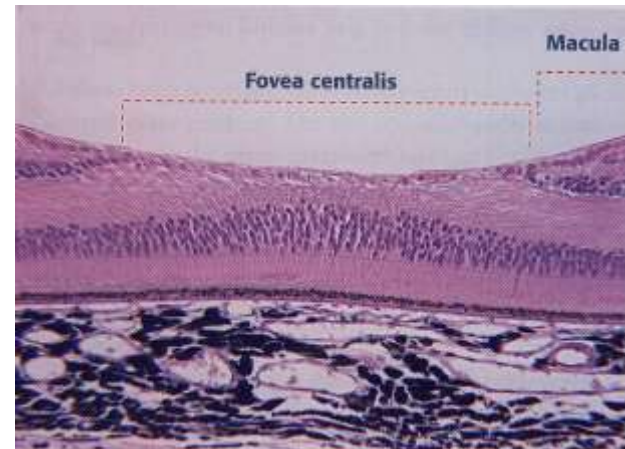
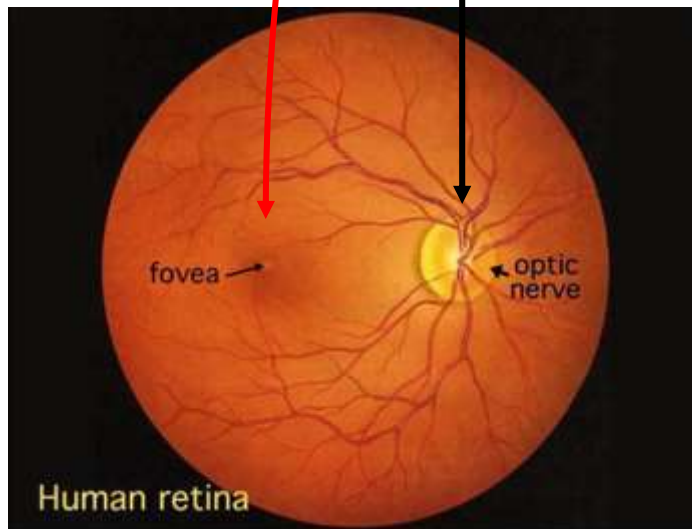
Centrální x Periferní vidění

Žlutá skvrna
(macula lutea)

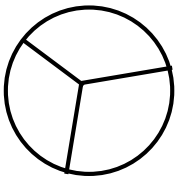
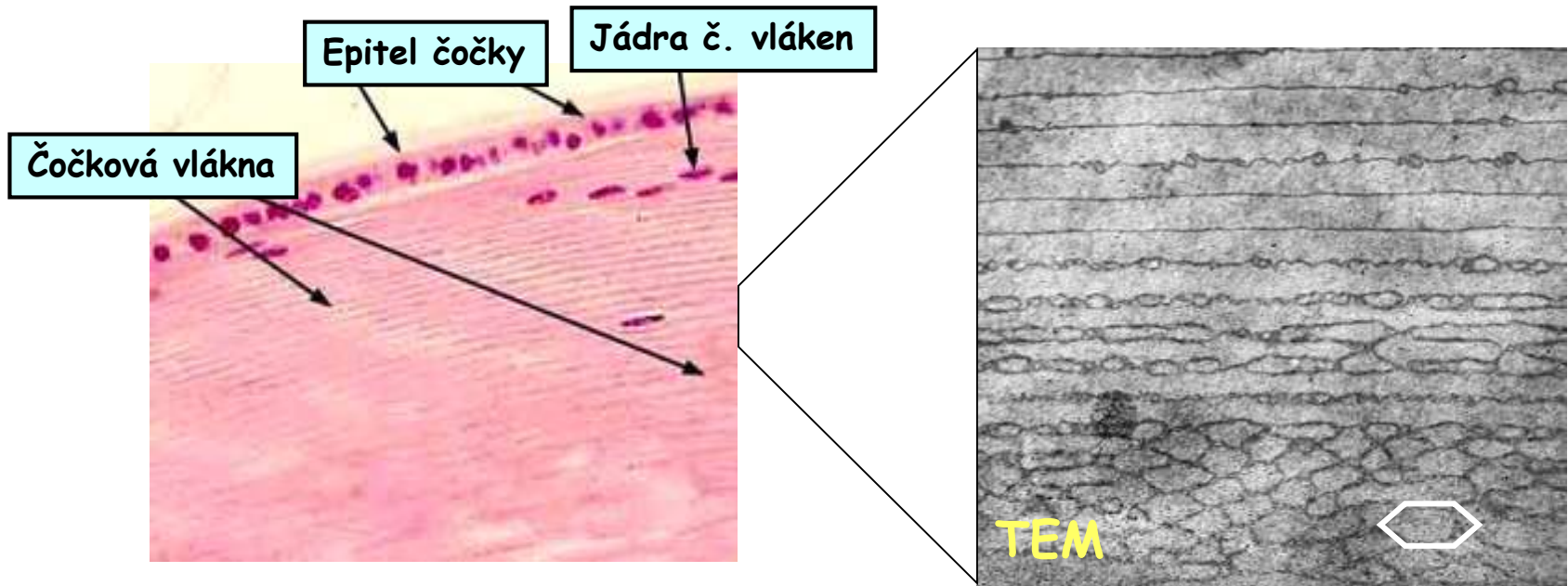


Disk zrakového
nervu

Fovea centralis žluté skvrny
= nejostřejší vidění



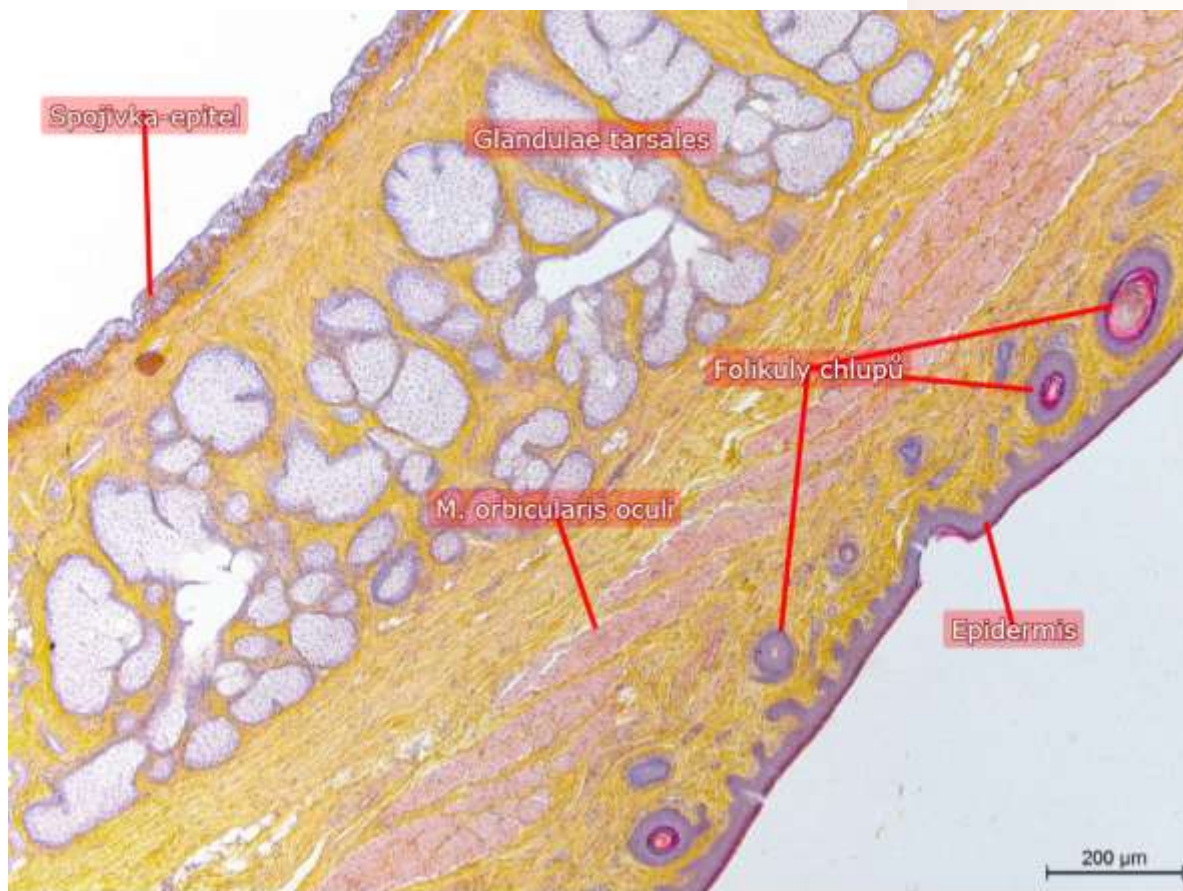
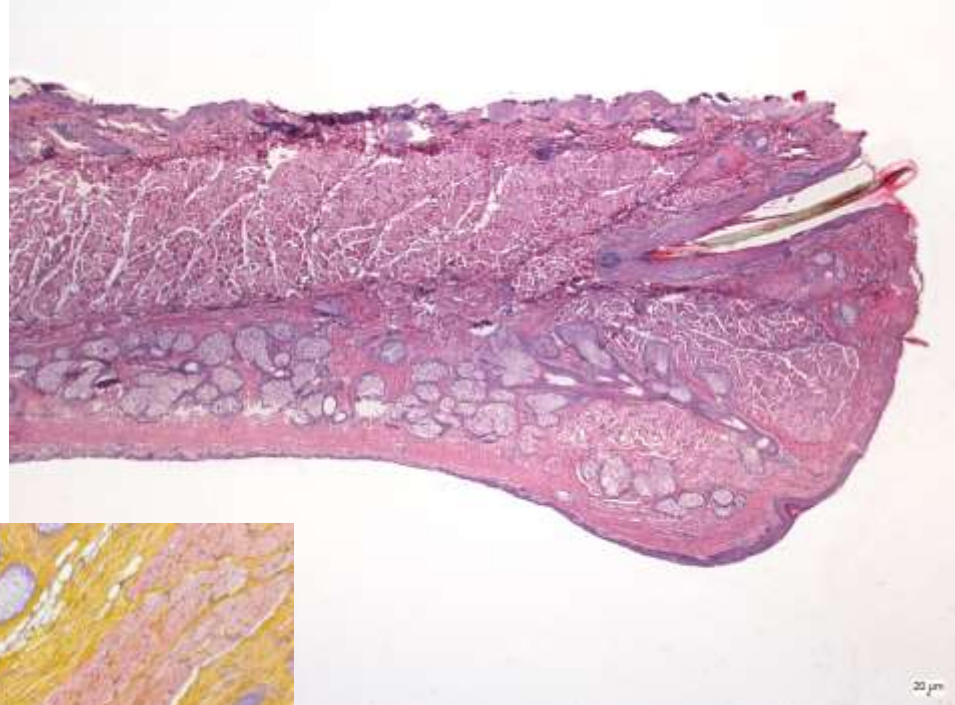
Čočka



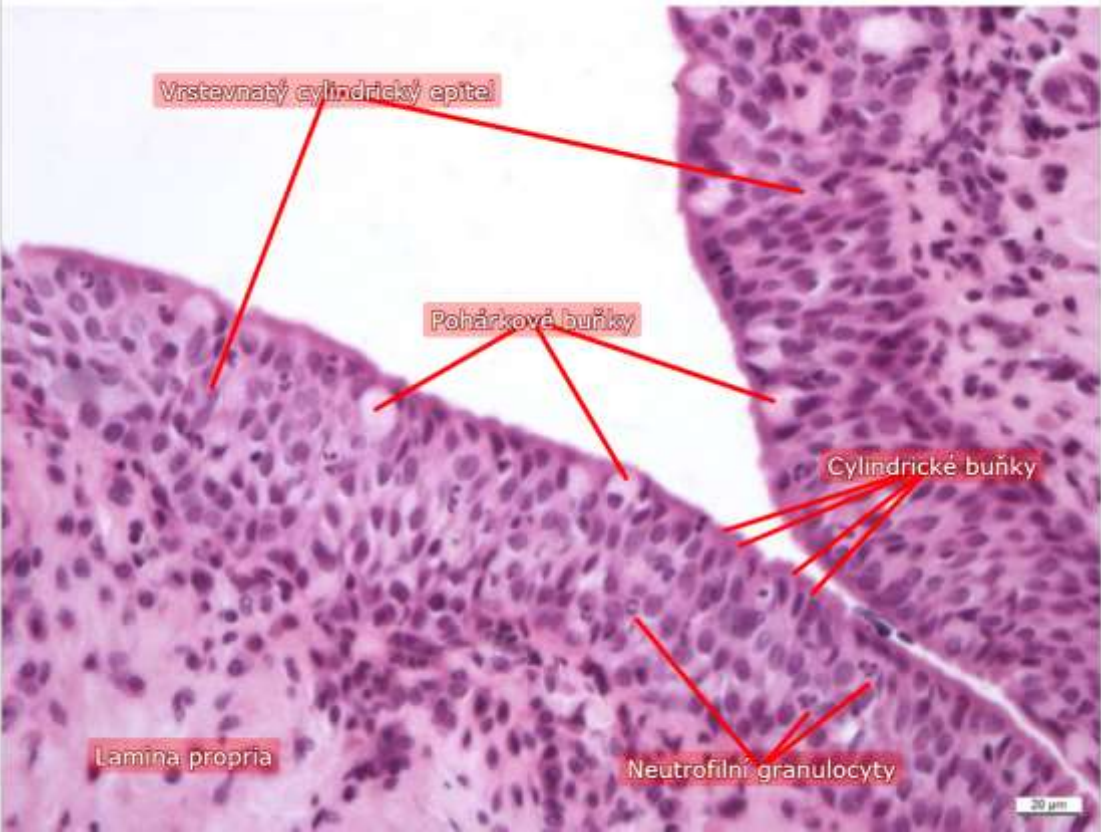
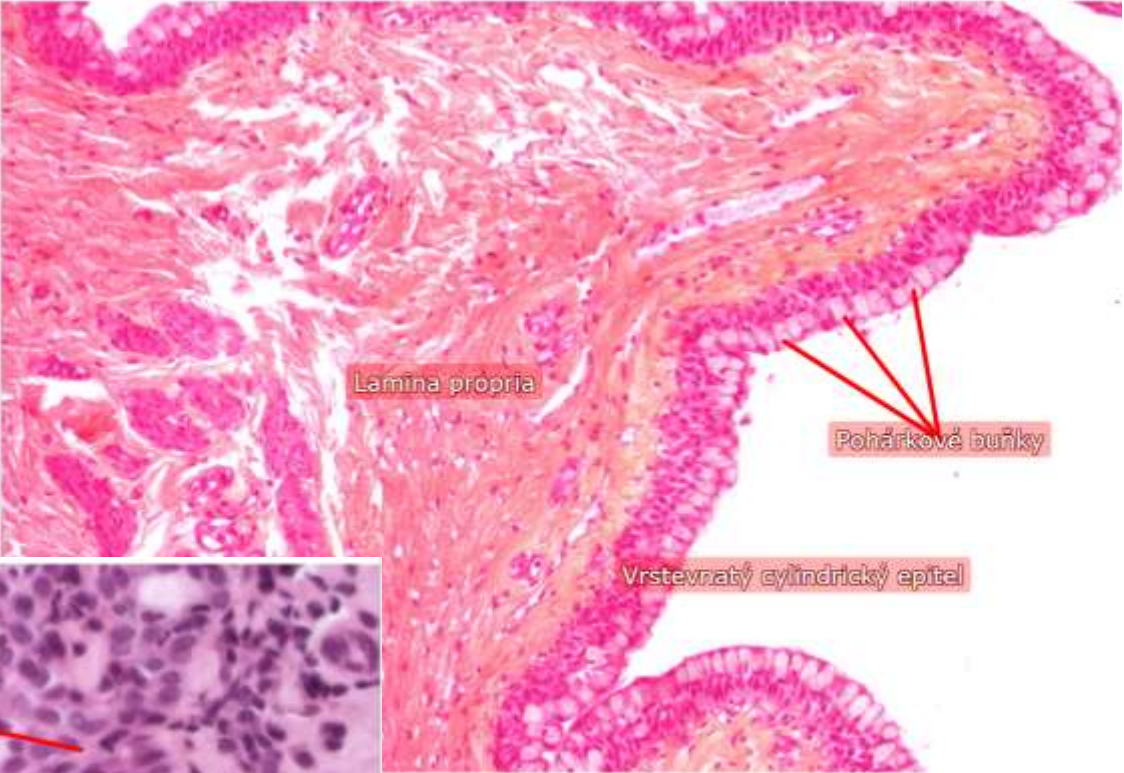
Epitel (kubický + nízký cylindrický) pouze na přední straně čočky.

Na rovníku čočky jsou úpony fibrae suspensorie lentis.

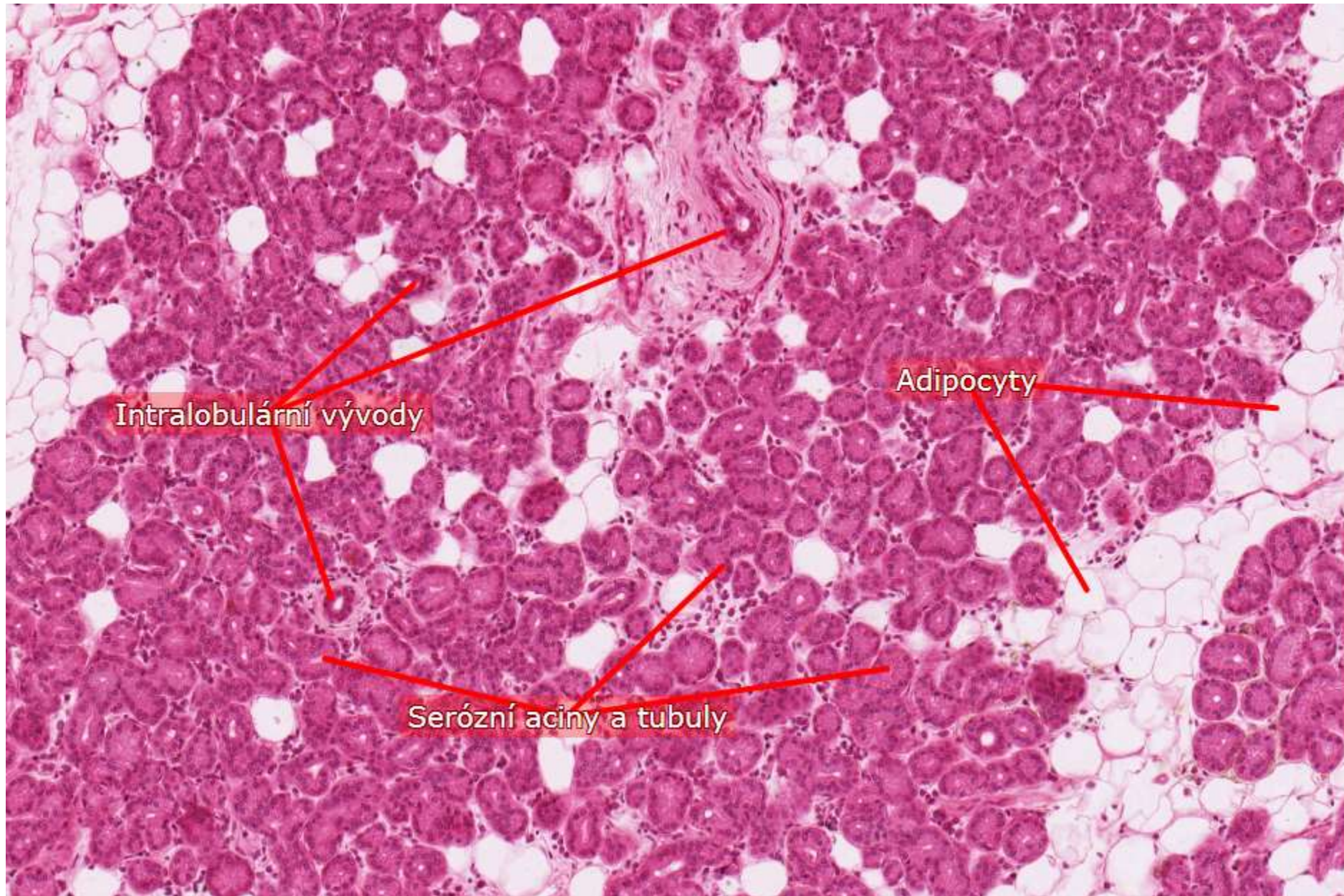
Víčko



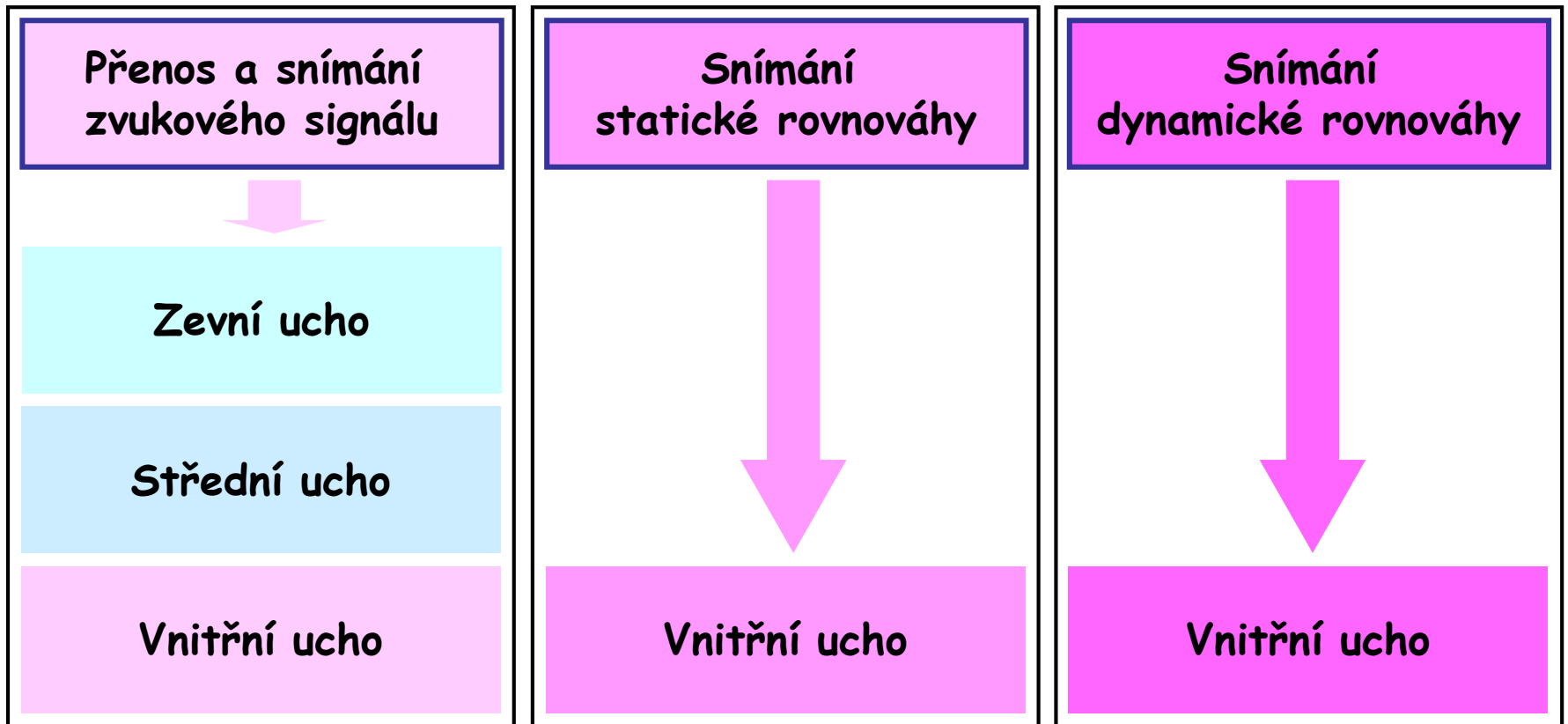
Spojivka



Slzná žláza

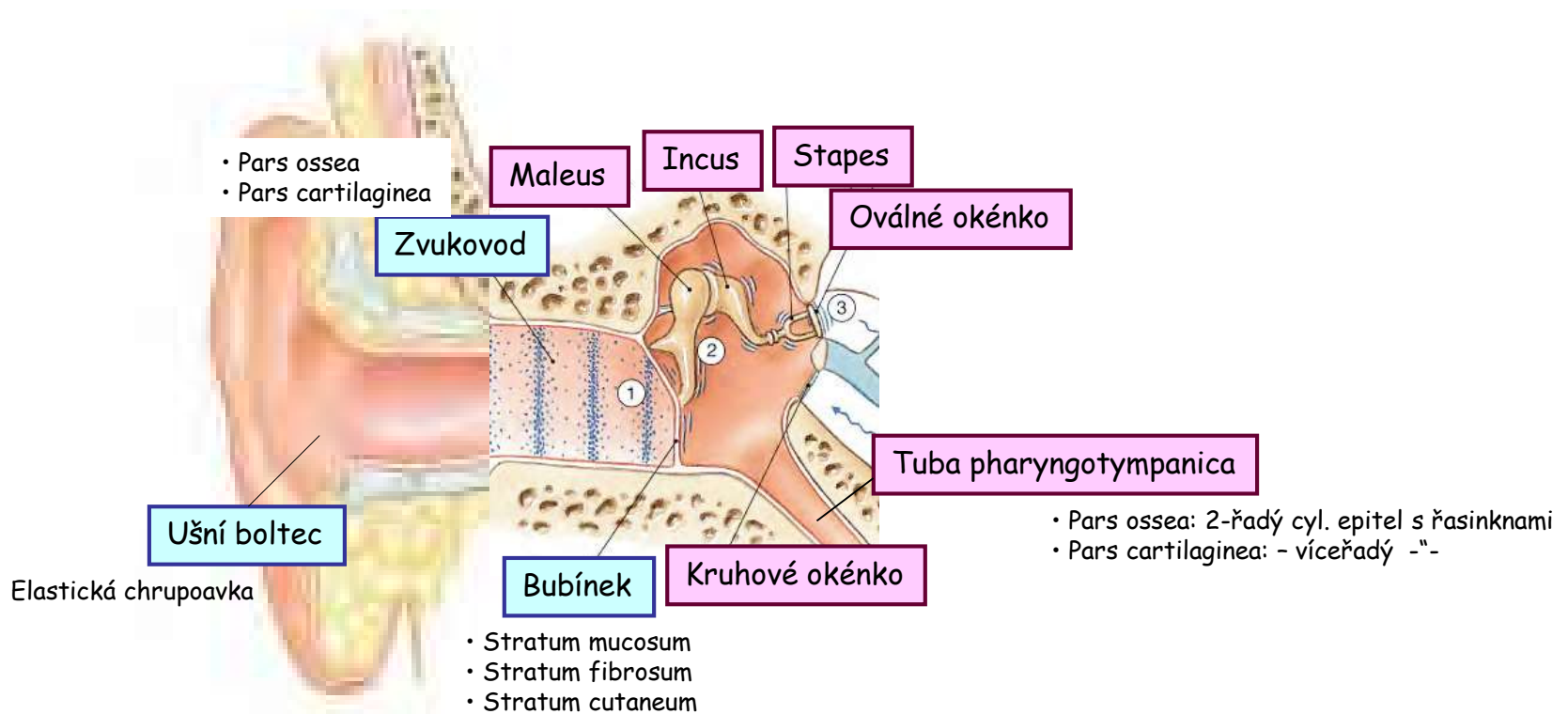


Orgán sluchu a rovnováhy = Vestibulokochleární aparát

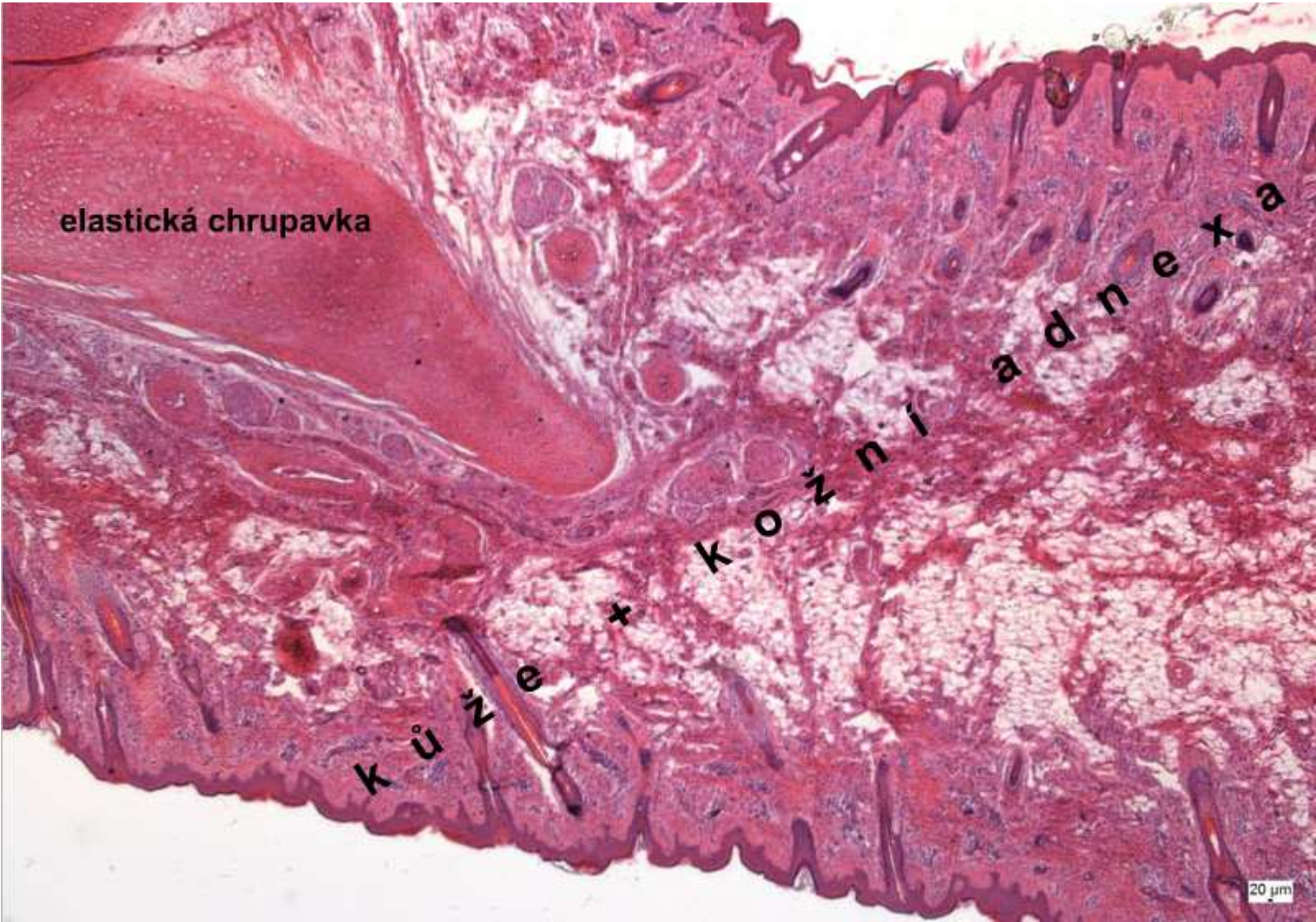


Zevní + střední ucho - Orgán sluchu

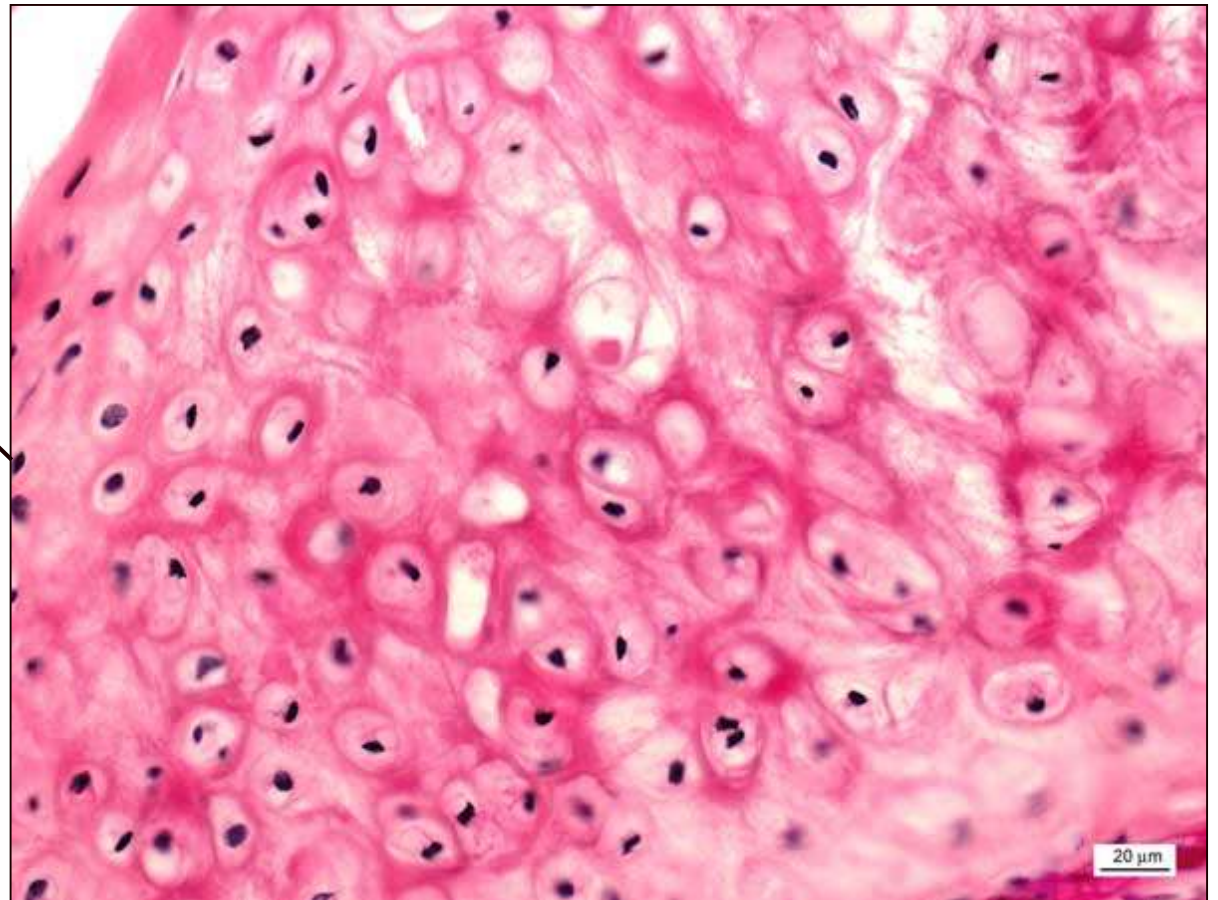
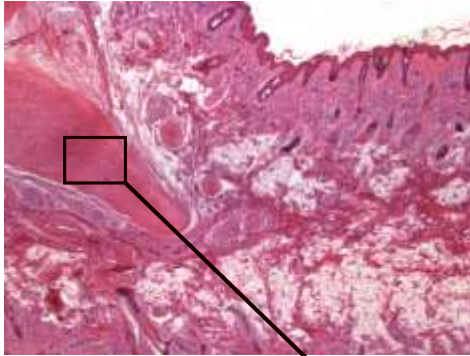
Střední ucho - spolu s vnitřním uchem uloženo v dutinách pyramidy kosti skalní - kostěný labyrint.



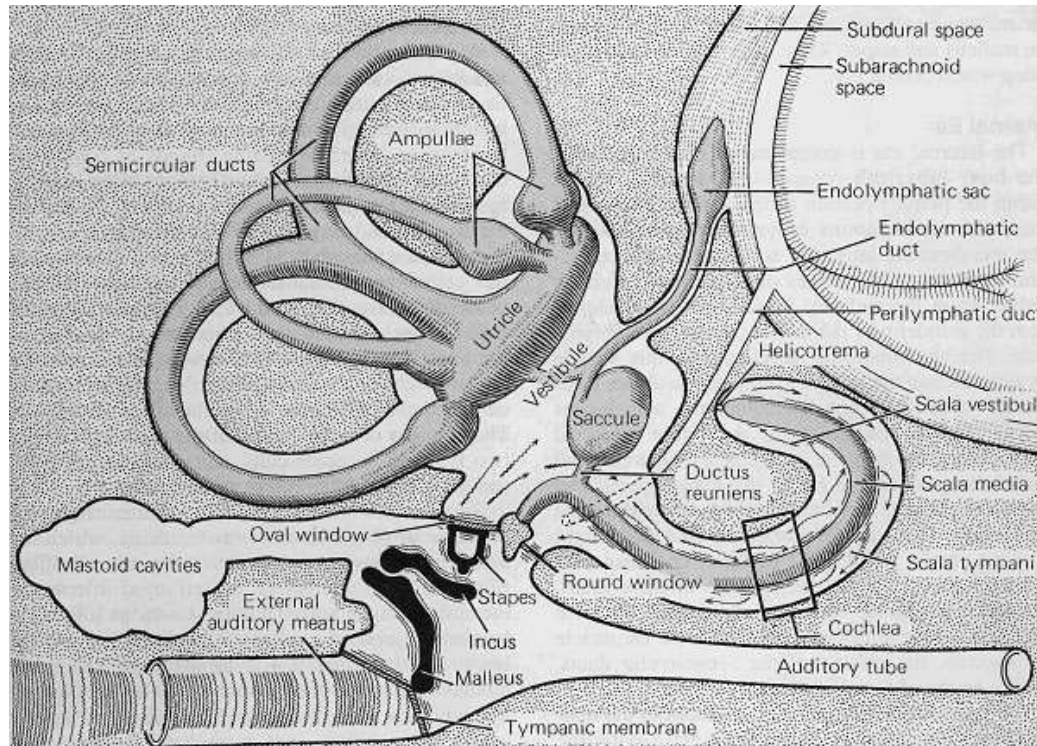
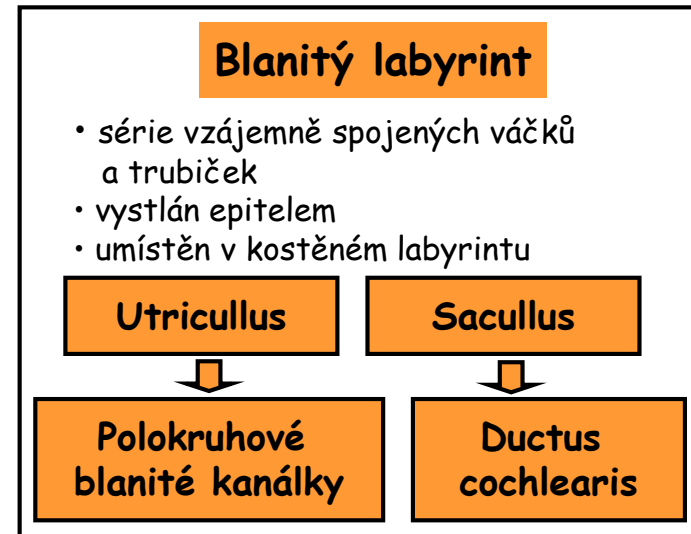
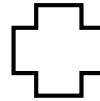
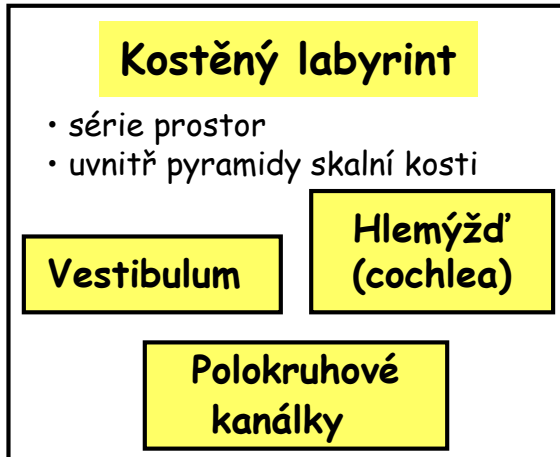
Auricula



Auricula



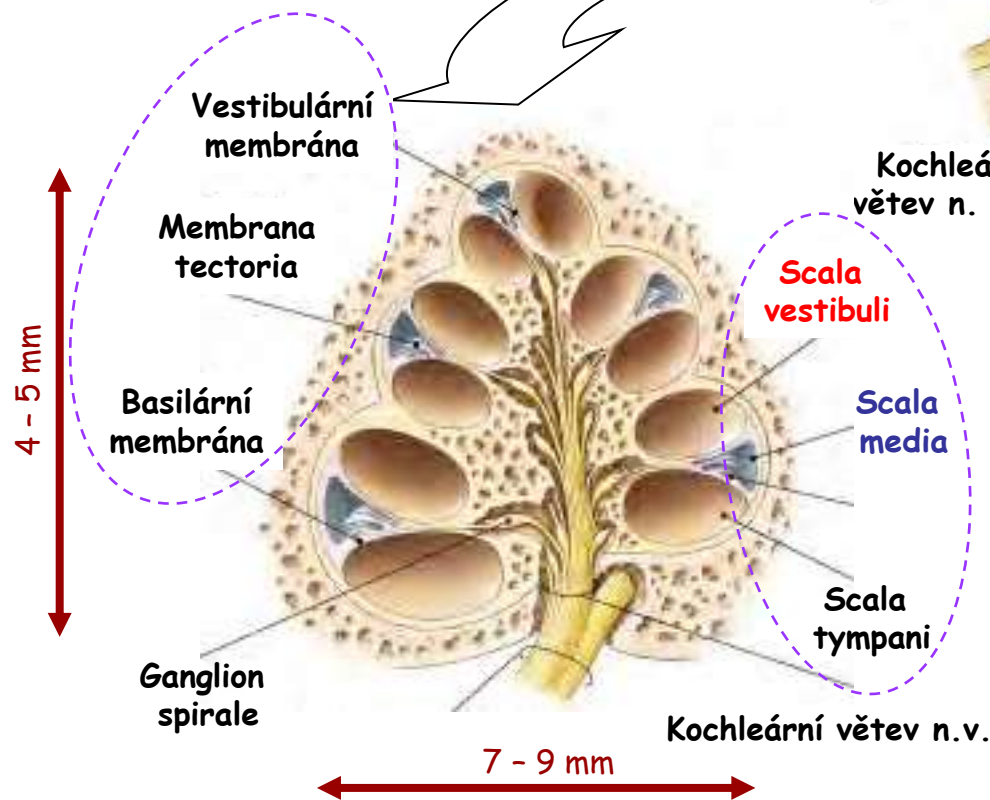
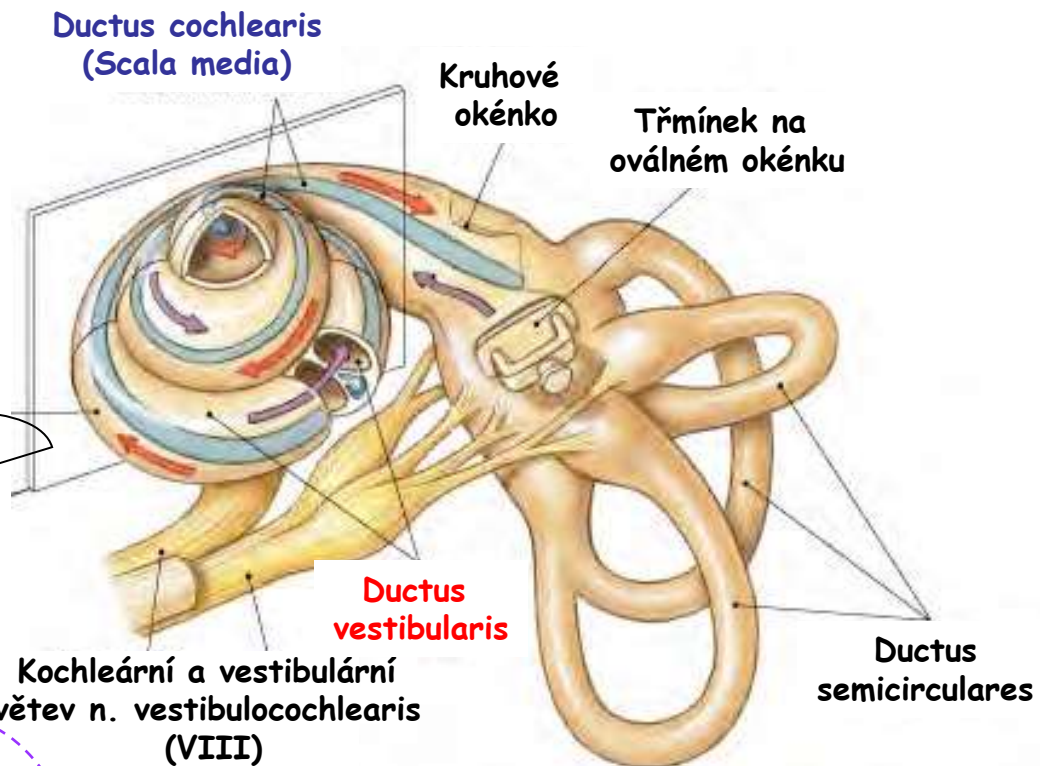
Vnitřní ucho



Vnitřní ucho - Orgán sluchu

Hlemýžď

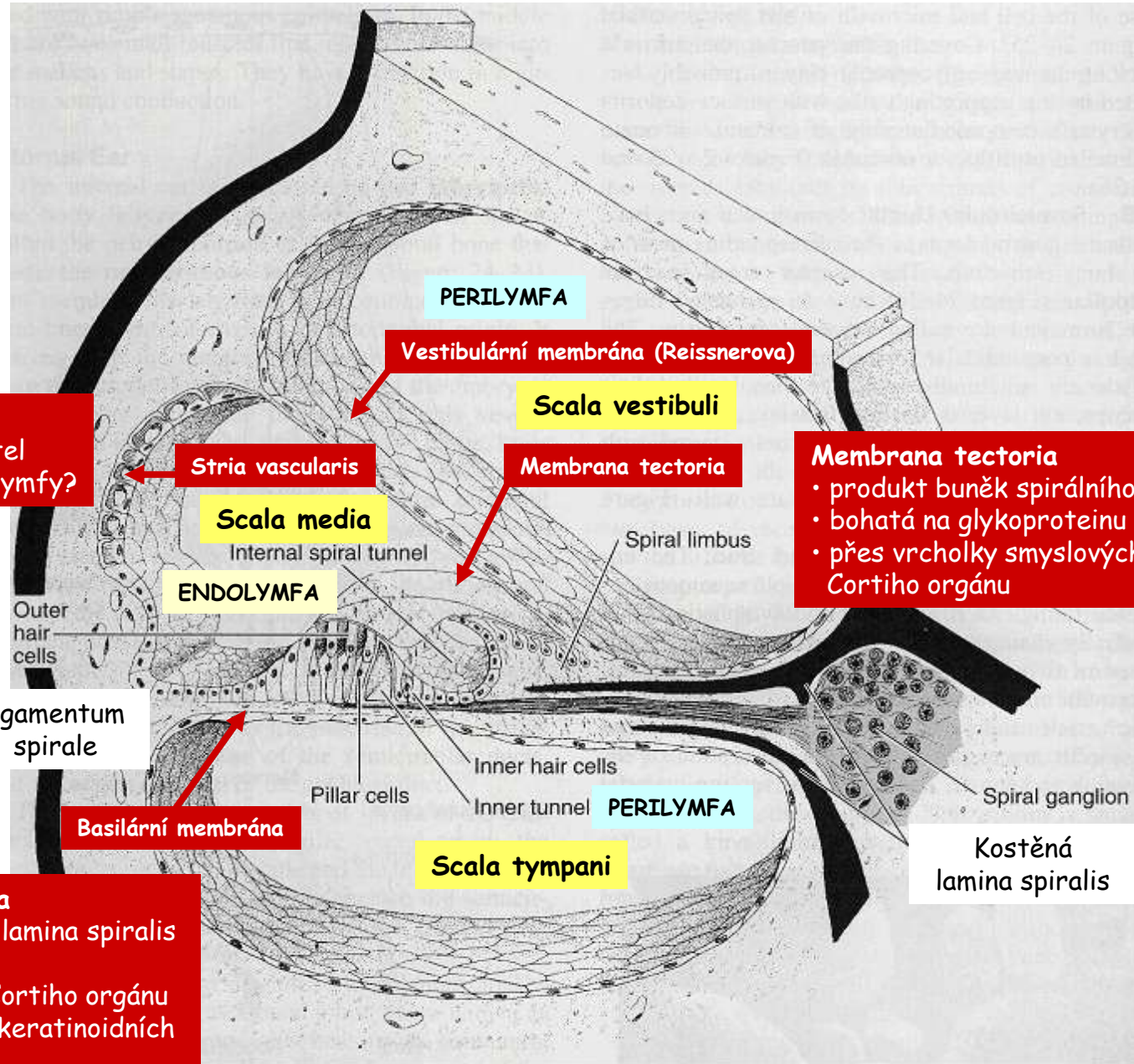
- 2,5 závitů okolo modiolu
- celkem 35 mm délky



Modiolus (vřeténko)

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

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

Outer hair cells

ENDOLYMFA

Internal spiral tunnel

Spiral limbus

Ligamentum spirale

Basilární membrána

Pillar cells

Inner hair cells

Inner tunnel

PERILYMFA

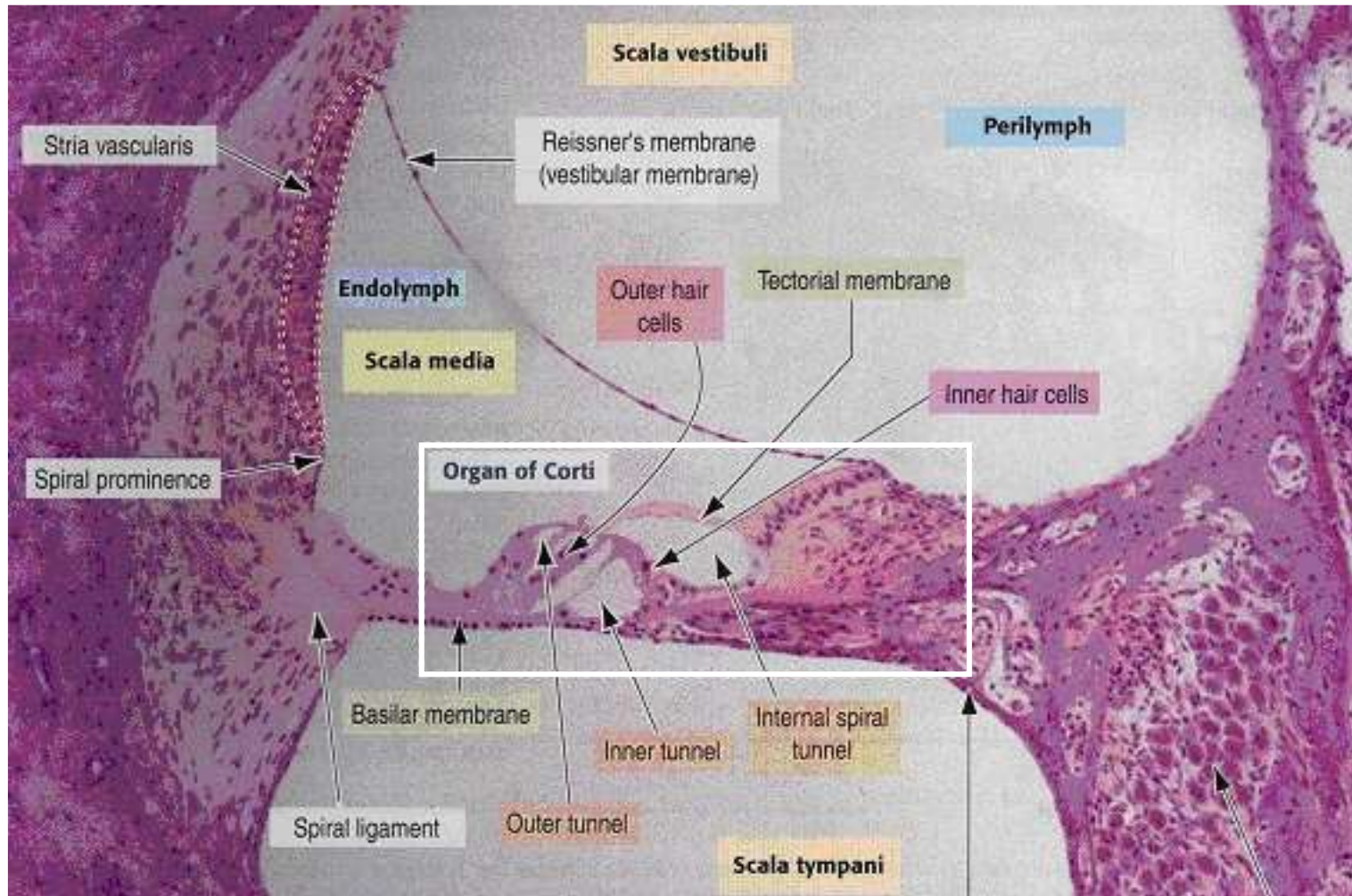
Spiral ganglion

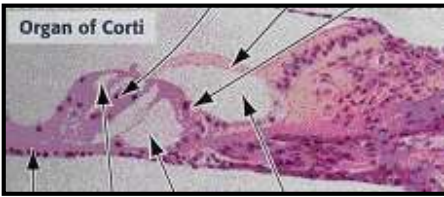
Kostěná lamina spiralis

Scala tympani

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

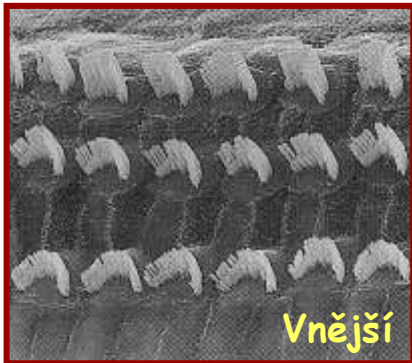
- sluchové vlásky - stereocilie
- kontakt s membrana tectoria
- baze opředeny dendrity bipolárních buněk ganglion spirale

Vnější vláskové buňky

- 3-5 řad, ~12 000, bez axonemy

Vnitřní vláskové buňky

- 1 řada, ~3 500, bez axon.



Vnější



Vnitřní

Podpůrné buňky

Hensenovy buňky

Zevní falangové buňky

- opora vláskových buněk, které
- prostupují prostory mezi falangami

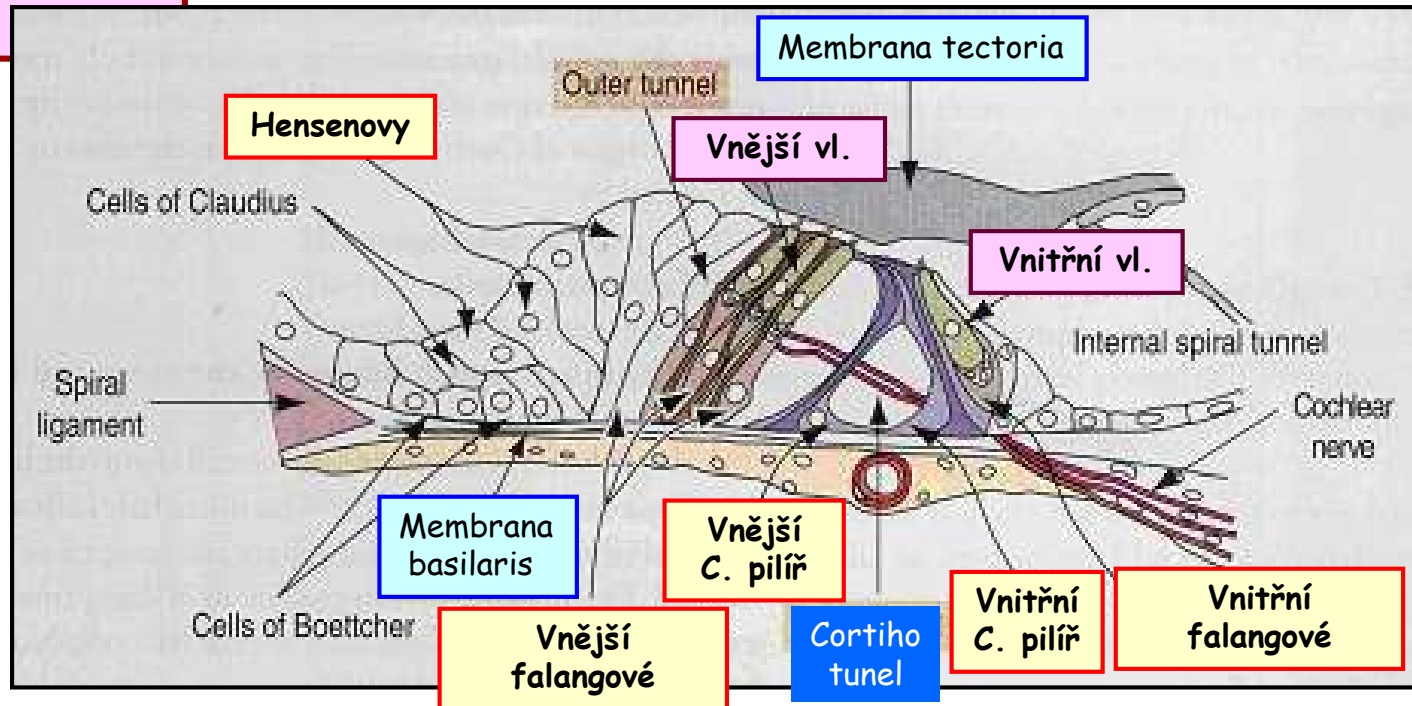
Zevní Cortiho pilíř

Vnitřní Cortiho pilíř

Vnitřní falangové buňky

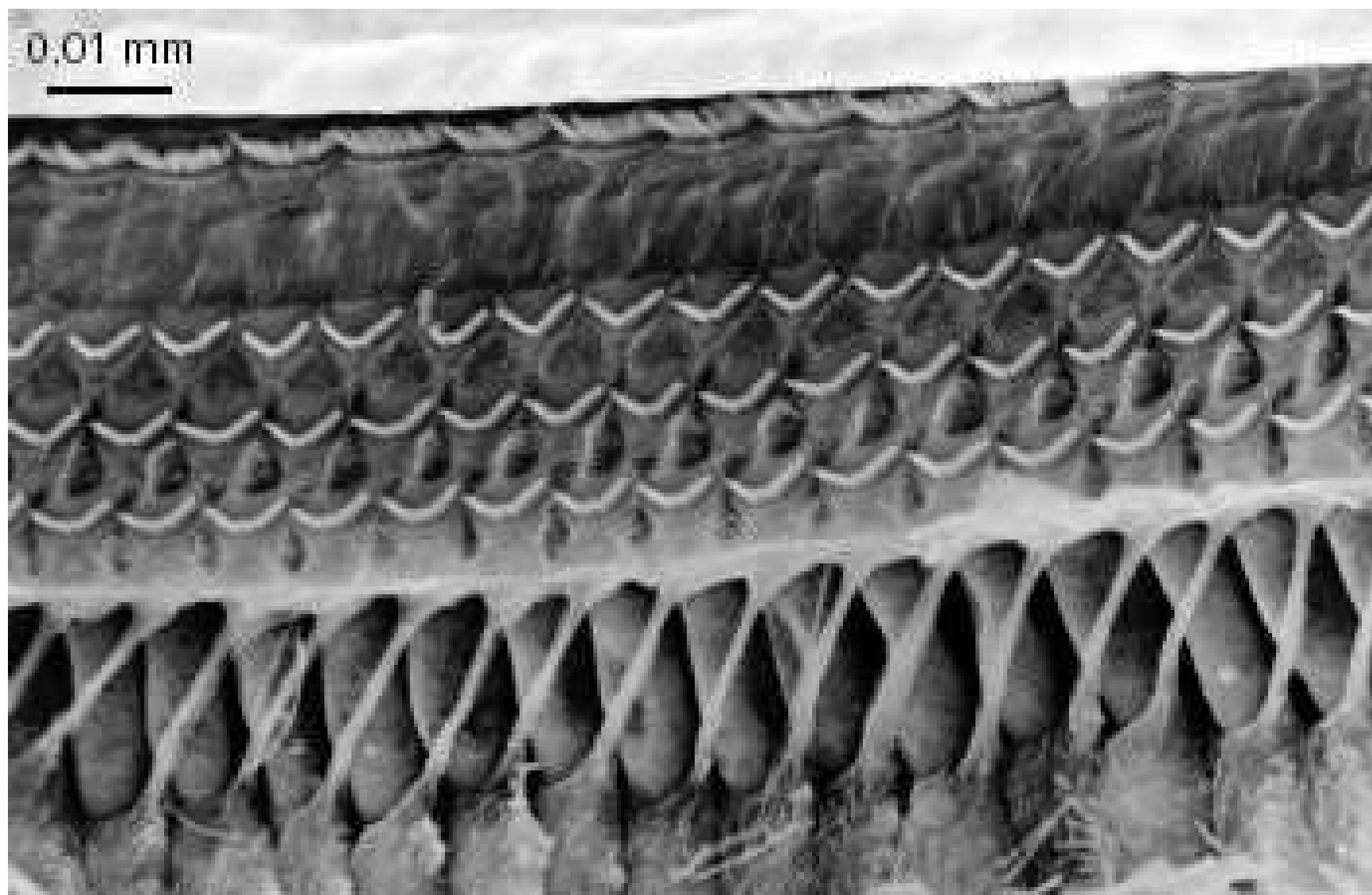
- stejně jako zevní FB

Hraniční buňky

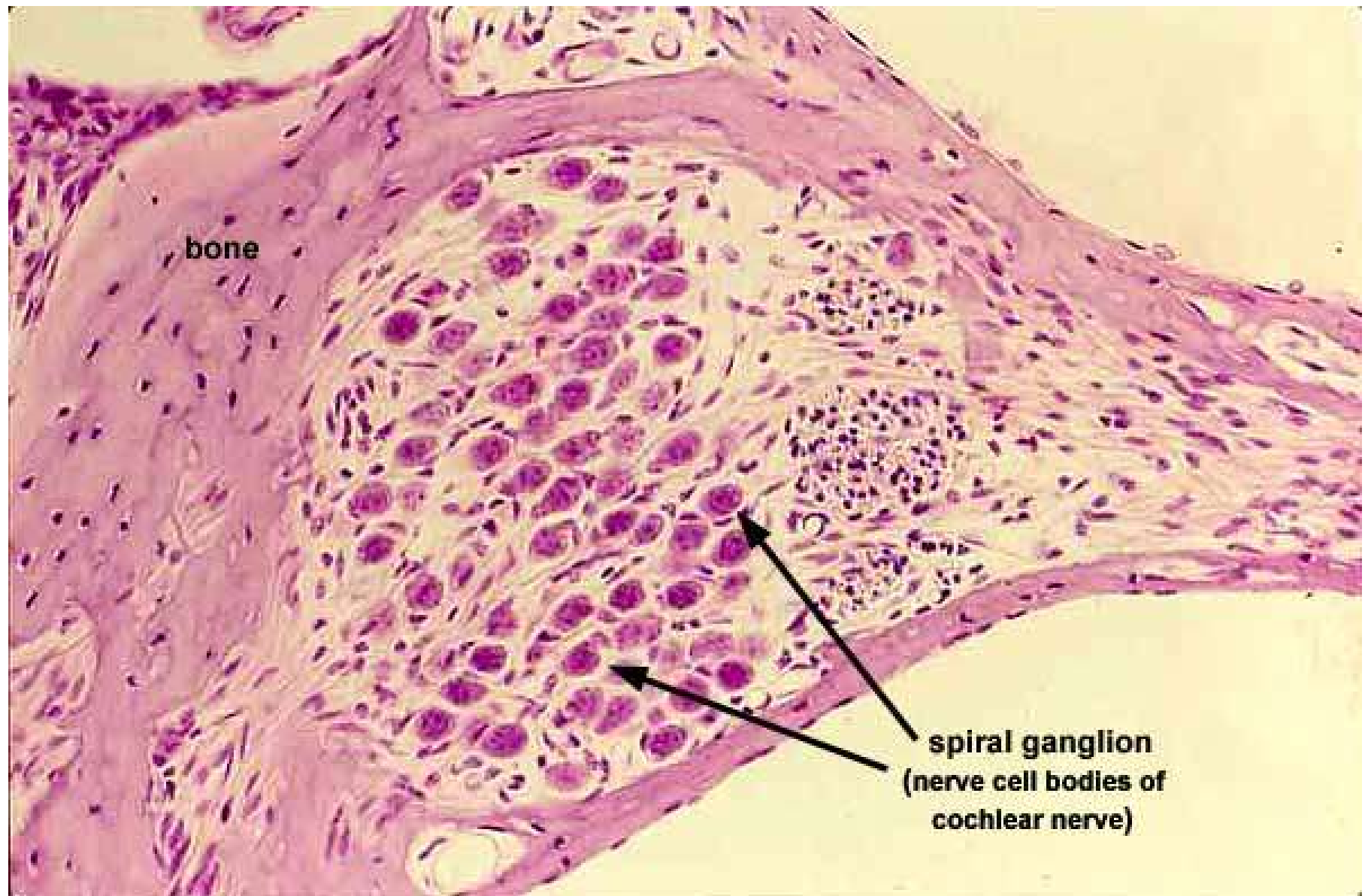




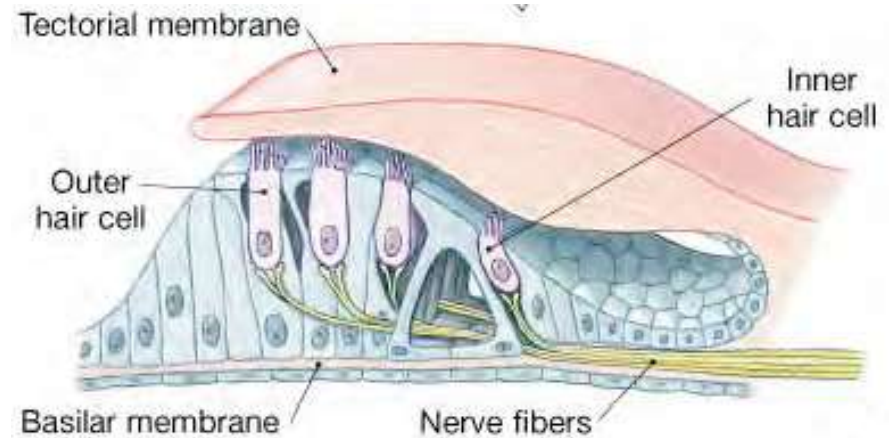
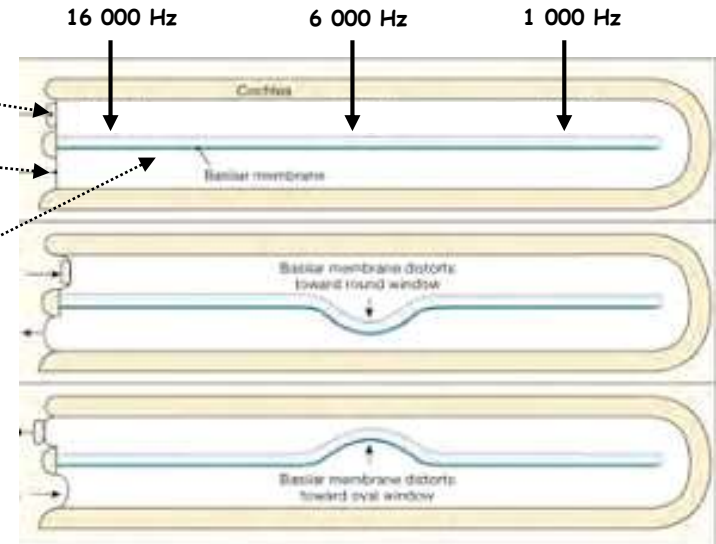
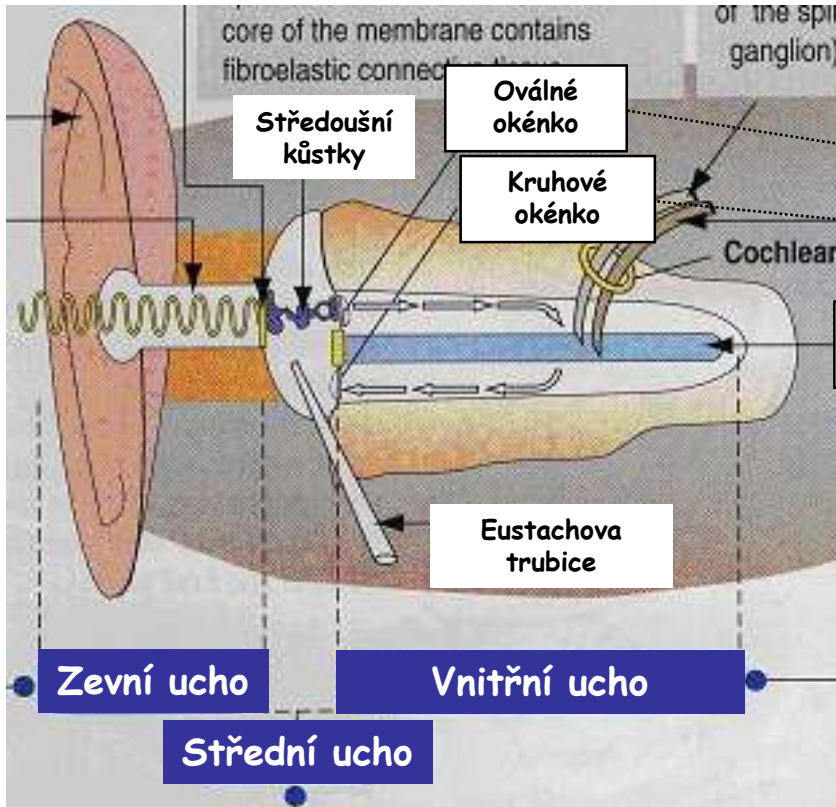
Vláskové a falangeální buňky



Ganglion spirale

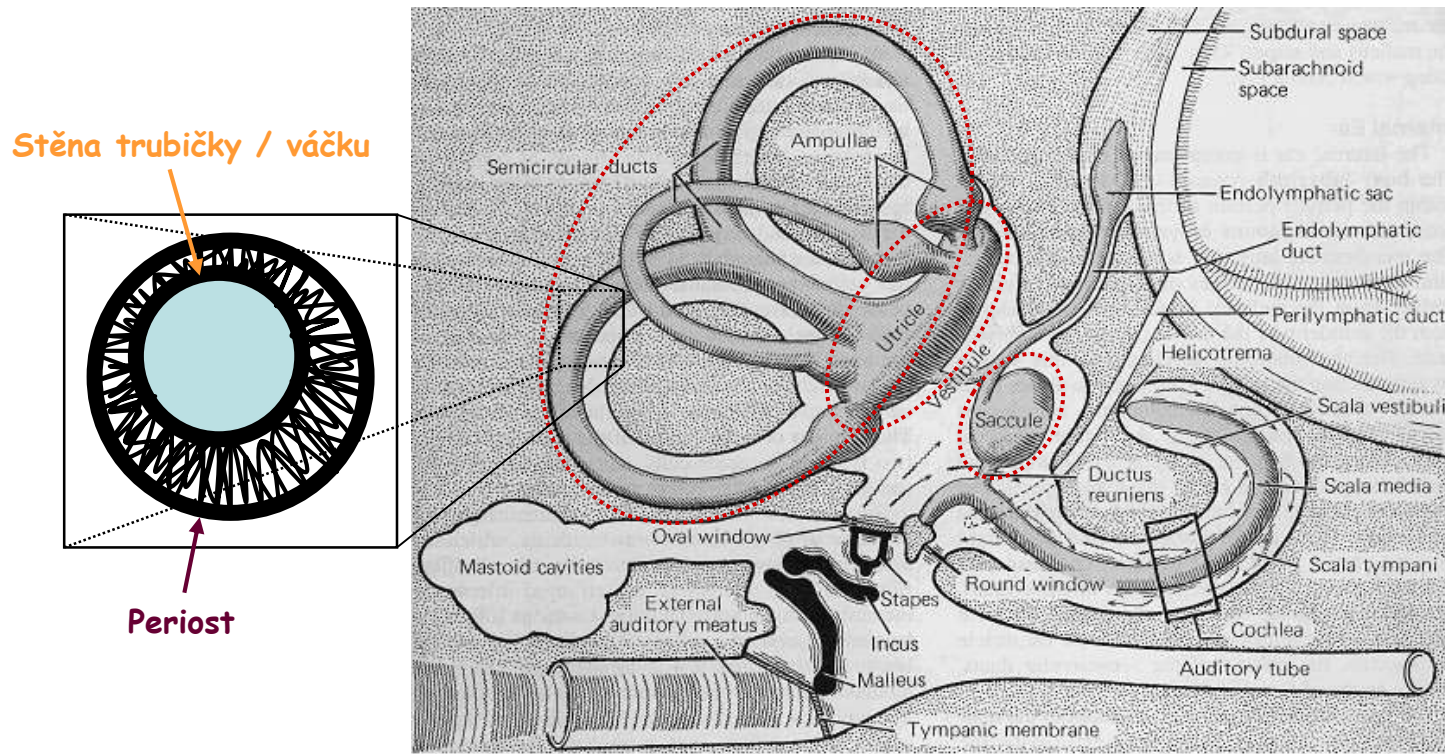


Orgán sluchu - Princip slyšení





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

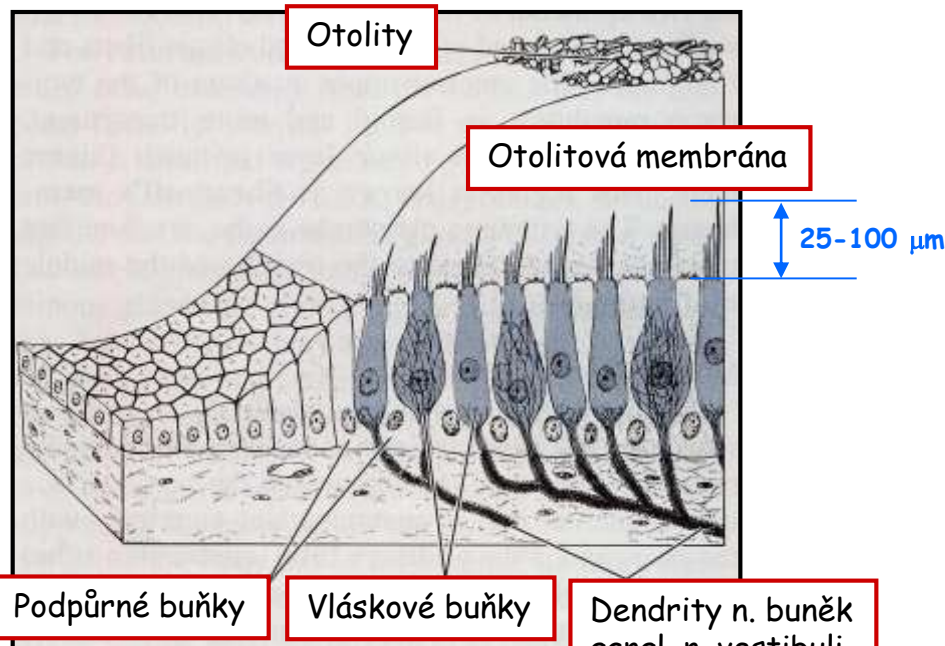
Snímání statické rovnováhy (maculae = statické skrvny)

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

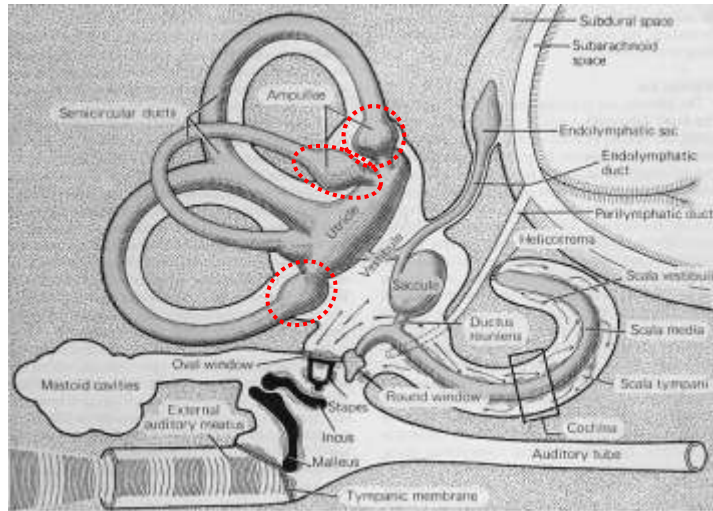
Eferentní inervace

Vlákna n. vestibularis
v pojivovém podkladu
maculy

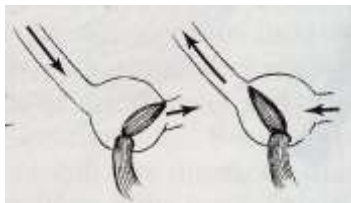
Detailed description: A light micrograph showing a cross-section of the macula. The image displays the hair cells and supporting cells. A bundle of fibers, identified as the vestibular nerve (n. vestibularis), is visible within the connective tissue (pojivový podklad) of the macula. The fibers are stained pink and appear as a dense, organized bundle.

Vnitřní ucho - Statokinetický / Vestibulární orgán - 3

Snímání dynamické rovnováhy (cristae ampulares)

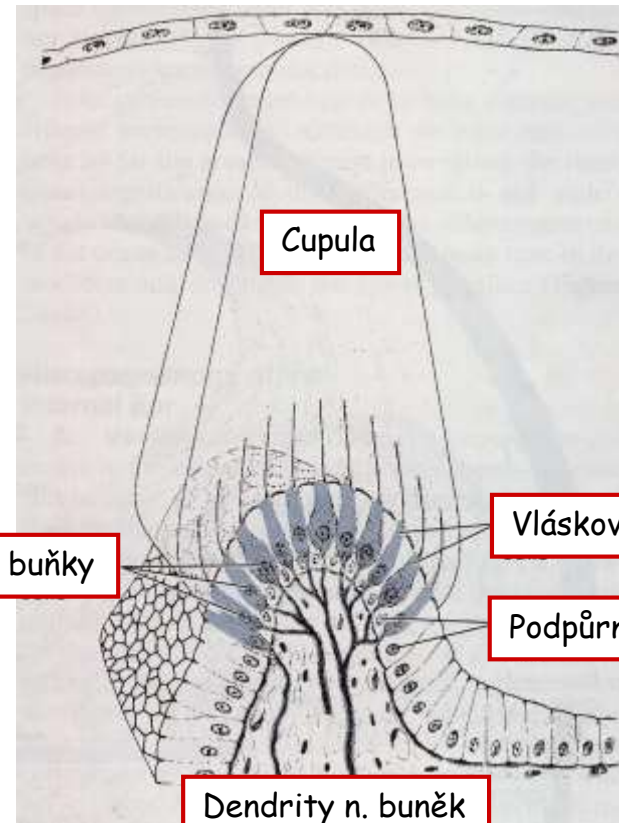


Reakce na setrvačné zrychlení
(pohyb endolymfy)

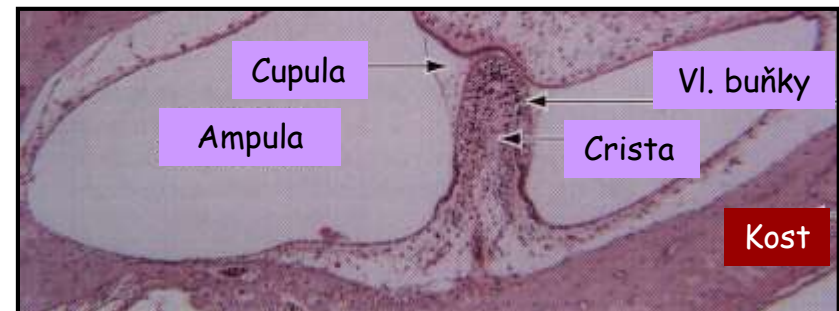


Umístění CA

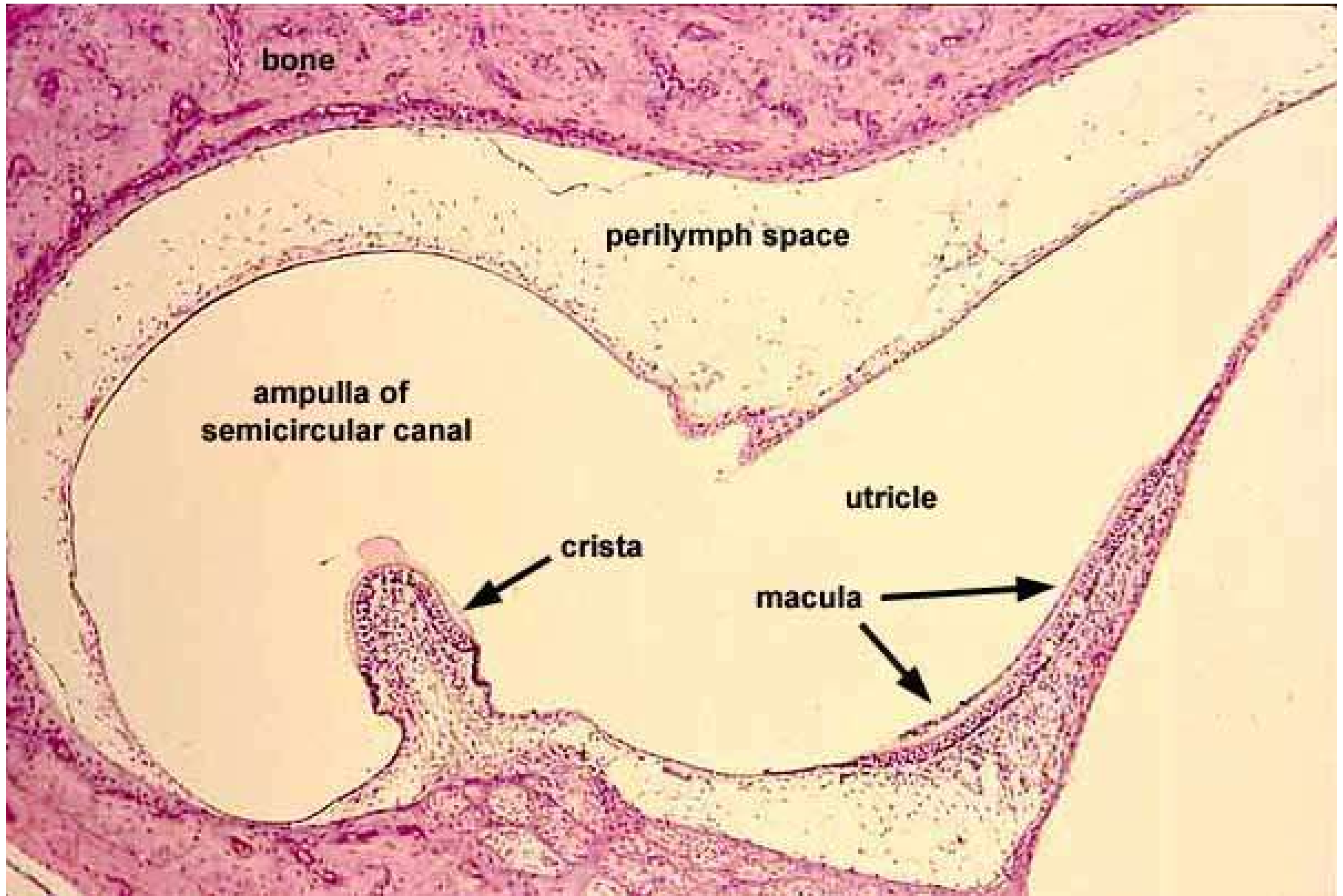
- v „ampulách“ ductus semicirculares
- hřebeny CA kolmo na osu DS



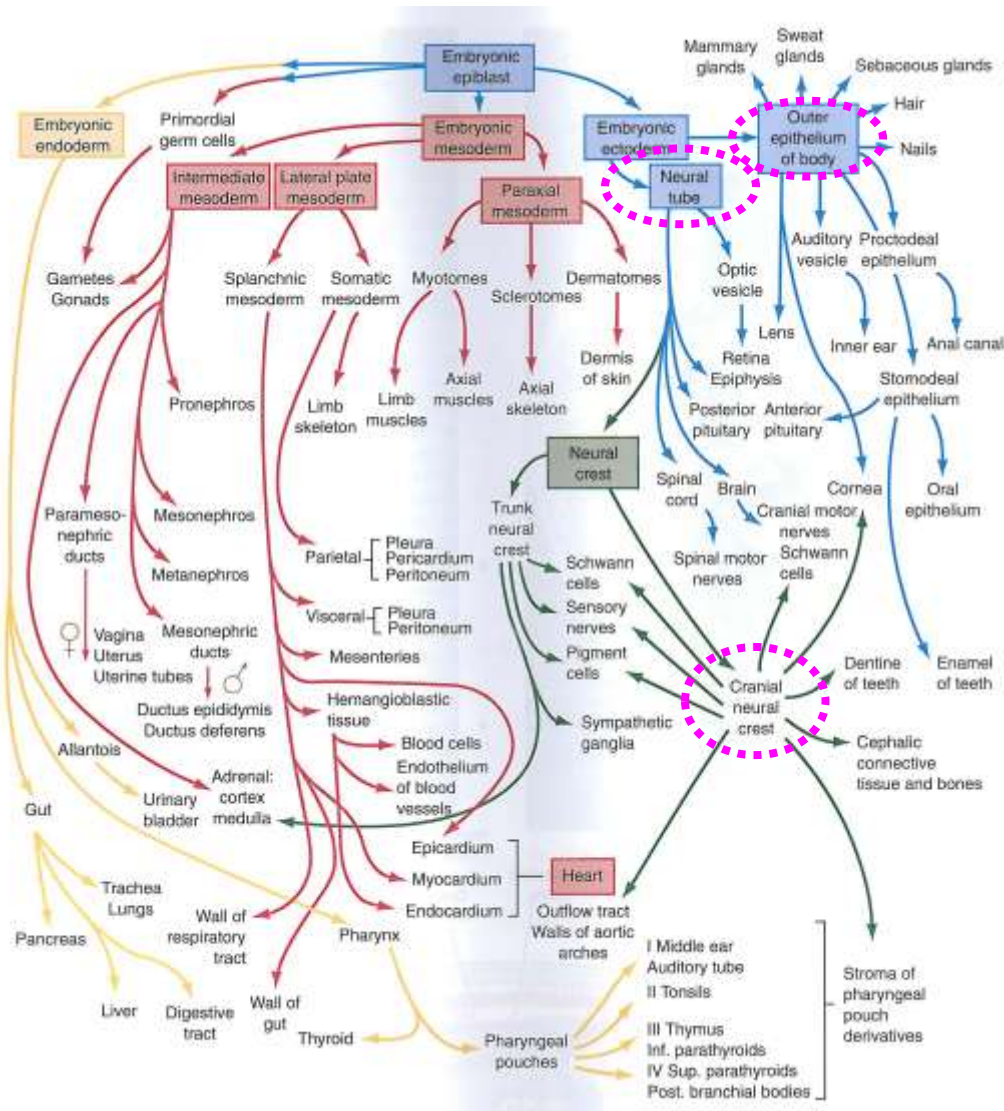
Dendrity n. buněk
gangl. n. vestibuli



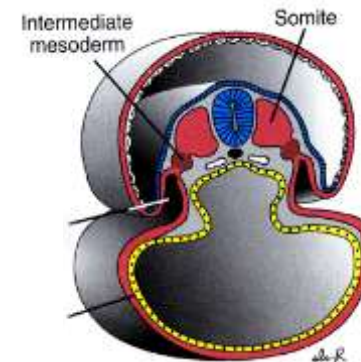
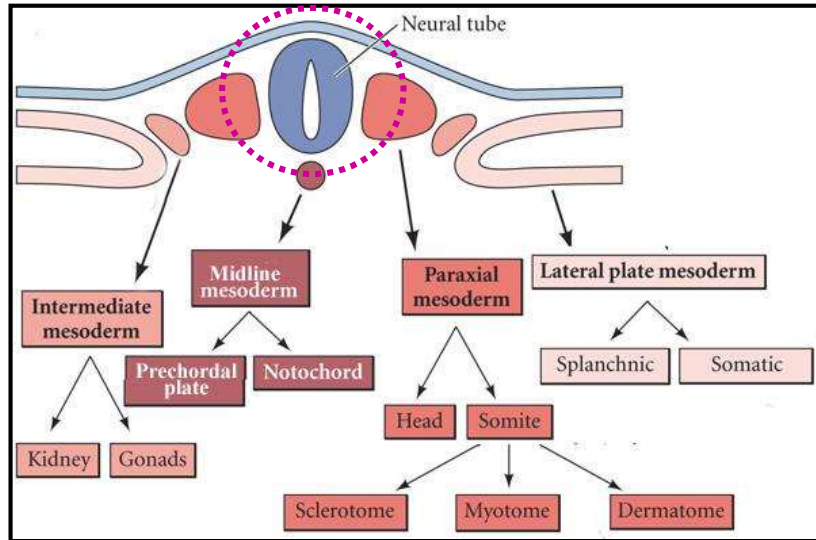
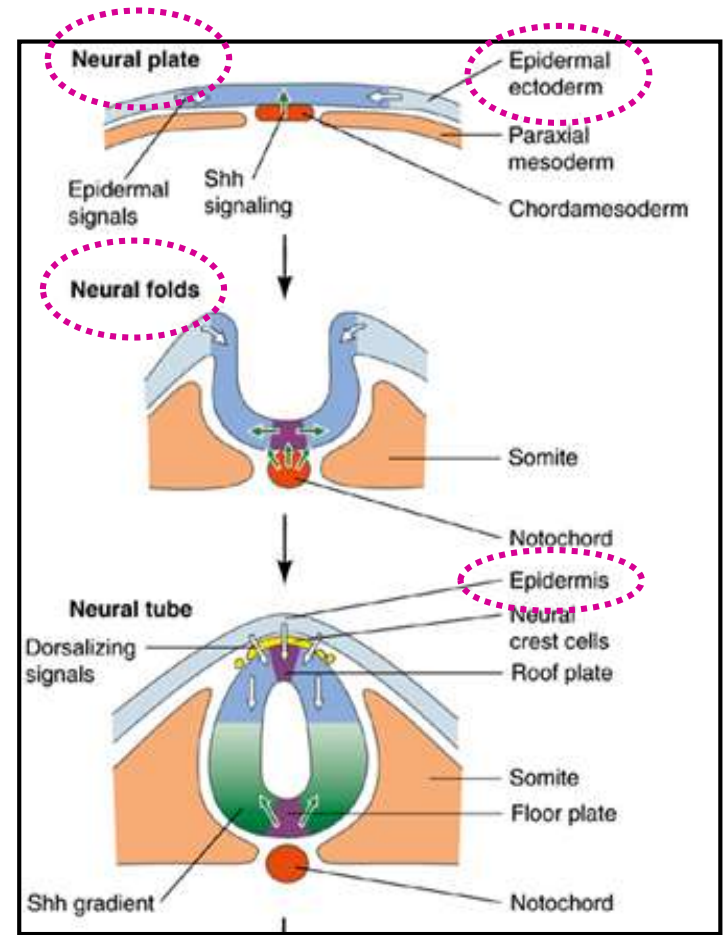
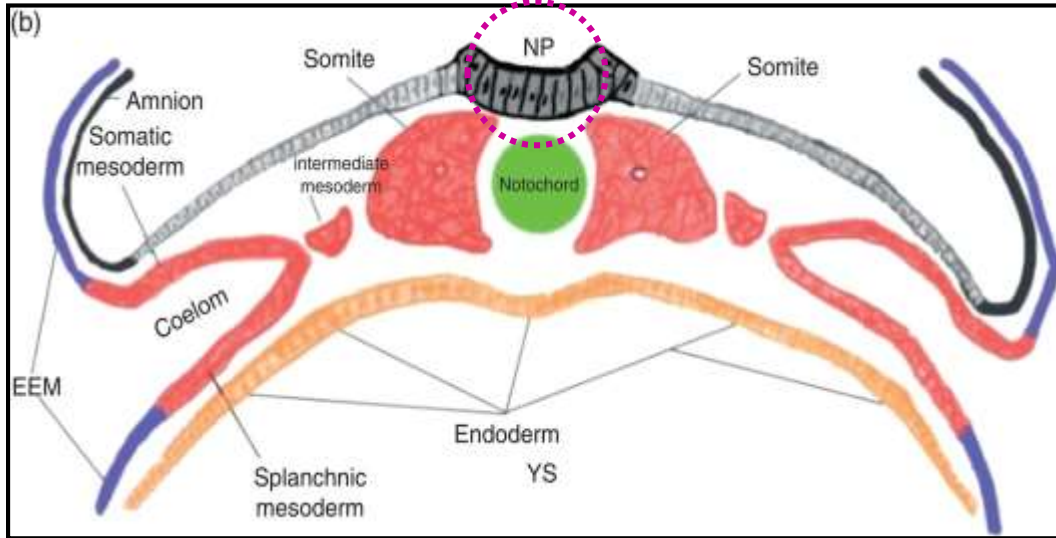
Blanitý labyrint



Vývoj smyslových orgánů - Celkový obrázek

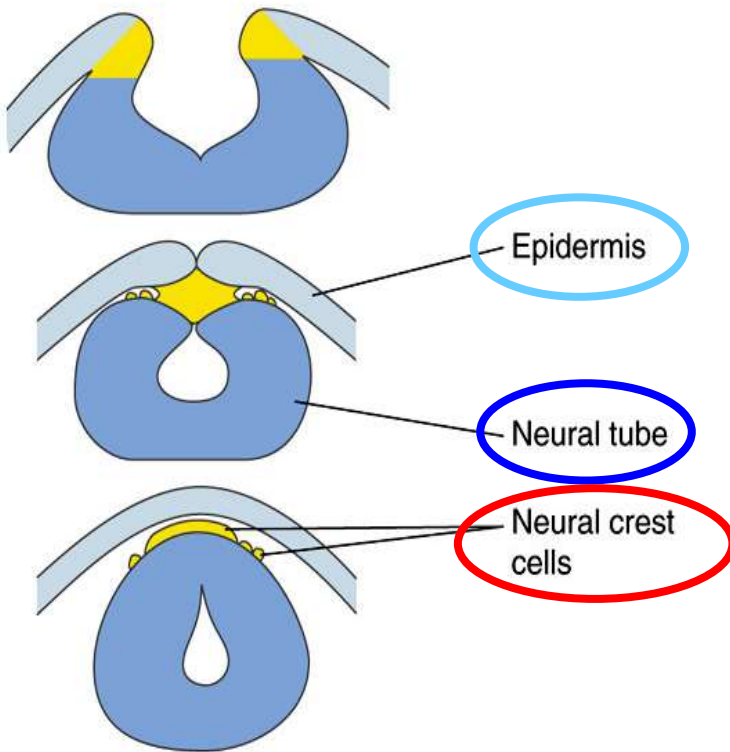


Smyslové orgány - Nervová trubice

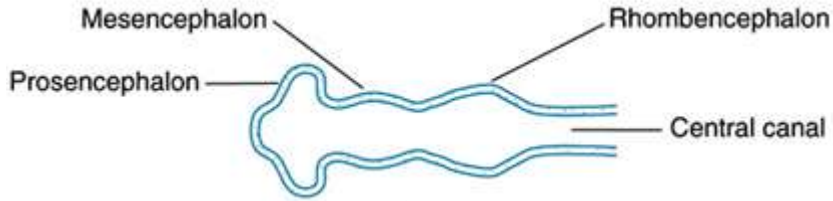


Smyslové orgány - Neurální lišta

Vzniká z obou
dorzální epidermis a nervové ploténky



Smyslové orgány - Kraniální část nervové trubice + Plakody

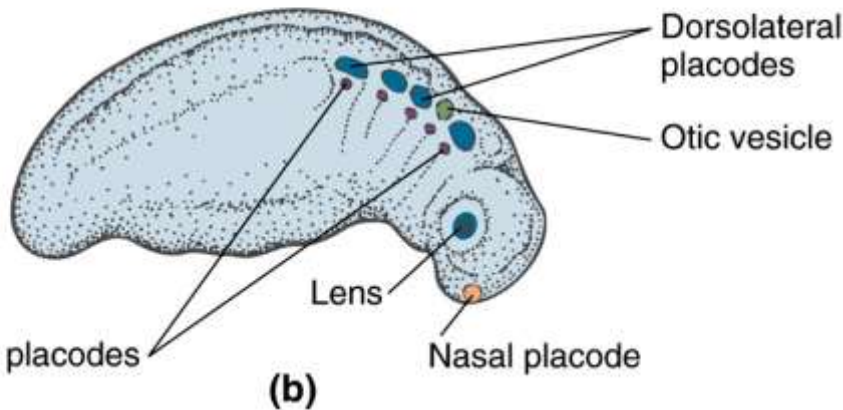


Mozek po 4 týdnech vývoje

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



Placode
(a)



(b)

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)

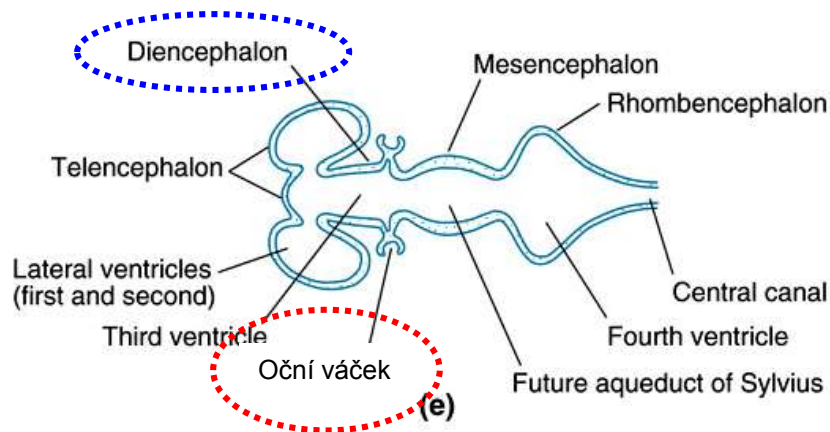
fish



Smyslové orgány - Vývoj oka 1

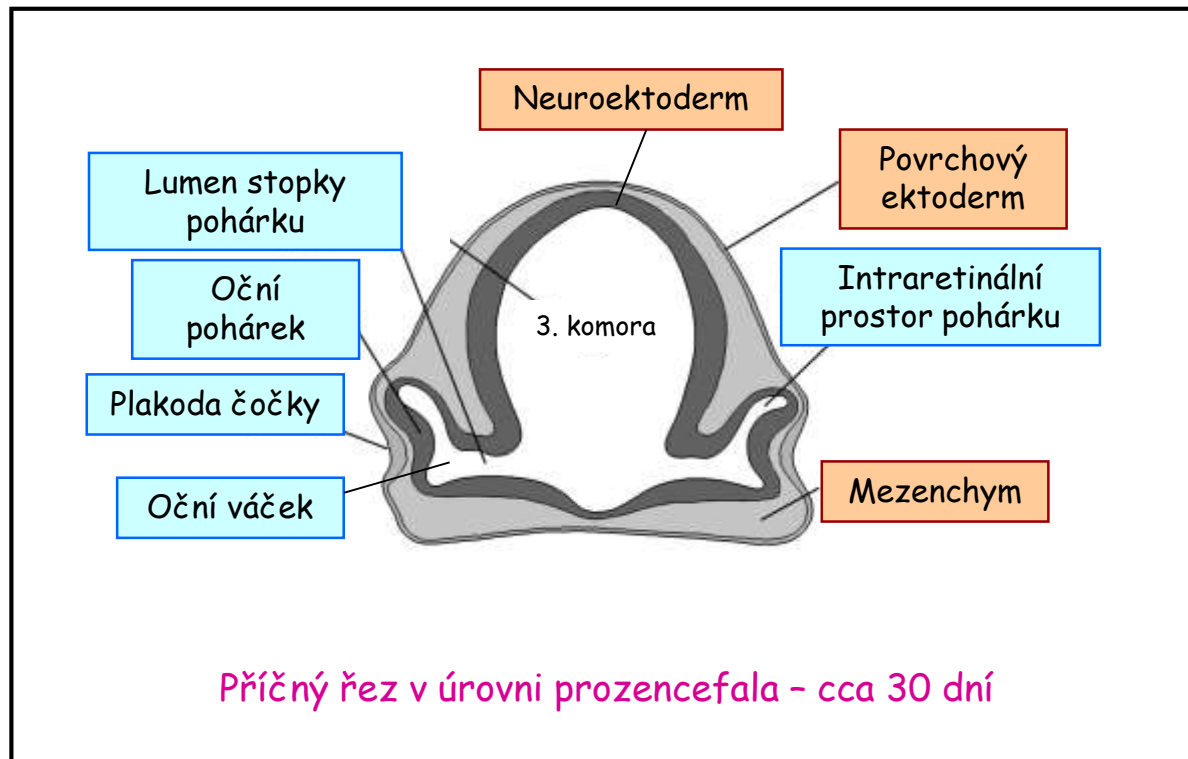
22 týden - první známky vývoje oka

- vklesliny po stranách předního mozku
- oční výčlipky předního mozkového váčku



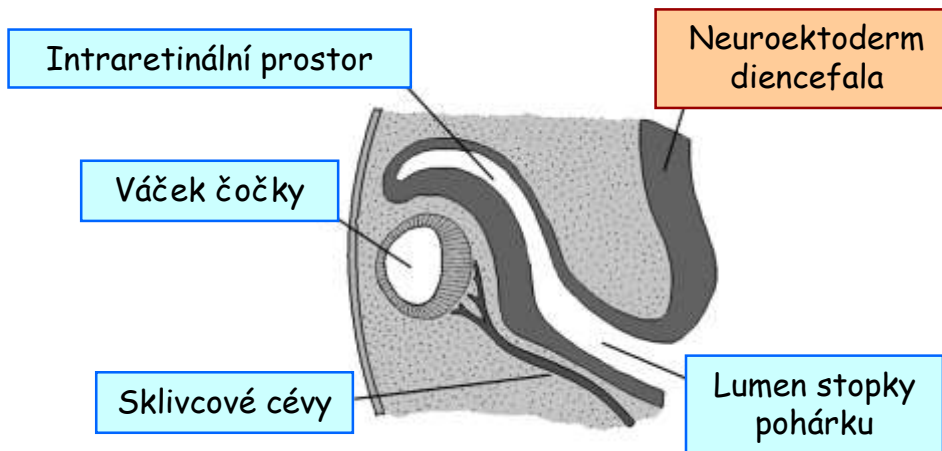
Mozek po 4 týdnech vývoje

Smyslové orgány - Vývoj oka 2

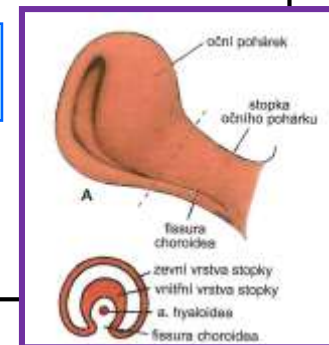


Smyslové orgány - Vývoj oka 3

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



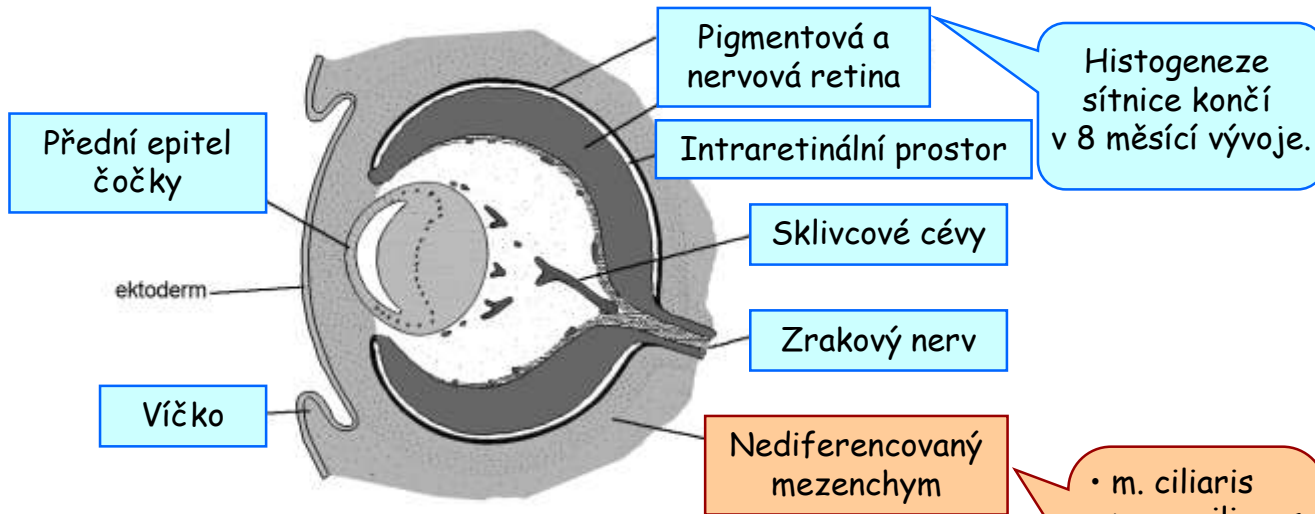
Příčný řez v úrovni diencefala - cca 6 týdnů



Smyslové orgány - Vývoj oka 4

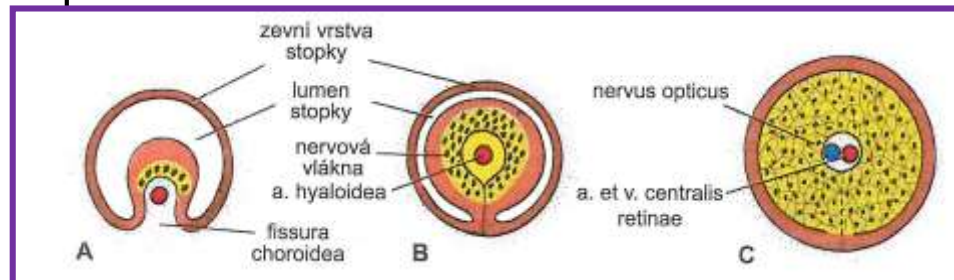
Fissura choroidea se uzavírá - vzniká zrakový nerv.

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



Příčný řez vyvíjejícím se okem - cca 7 týdnů

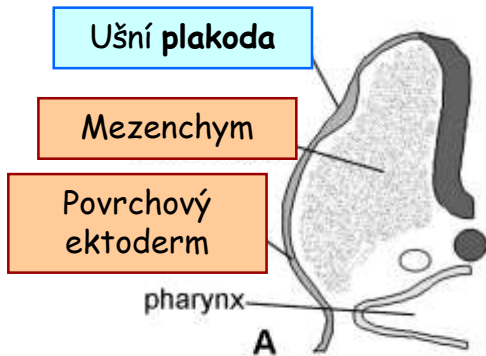
- m. ciliaris
- proc. ciliares
- stroma iridis
- cévnatka
- bělima
- sklivec



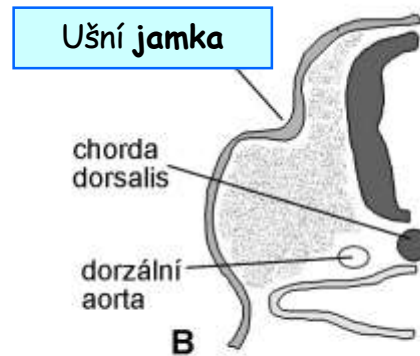
fish



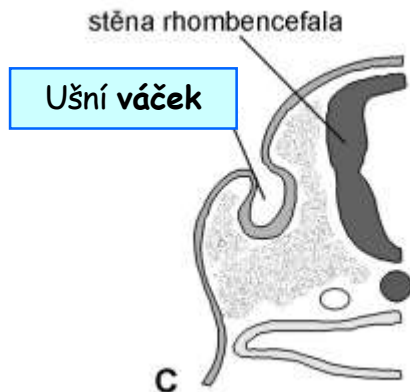
Smyslové orgány - Vývoj ucha 1



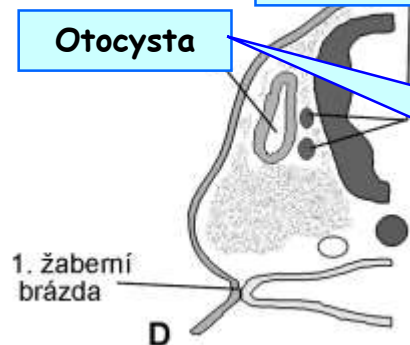
22 dnů



24 dnů



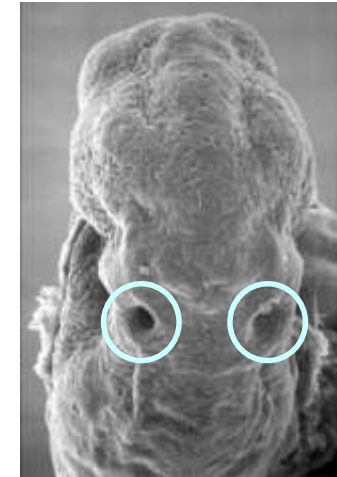
26 dnů



30 dnů

Ganglion vestibulocochleare (neurální lišta)

Otocysta
• sakulární oddíl
• utrikulární oddíl



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

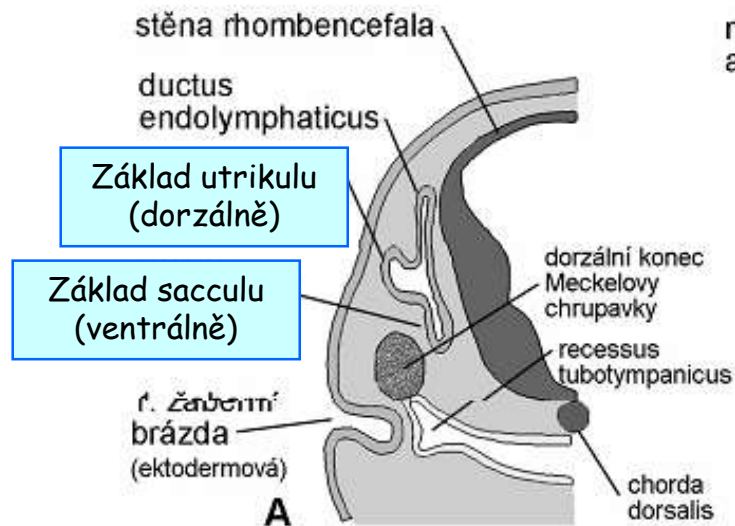
10 týden

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

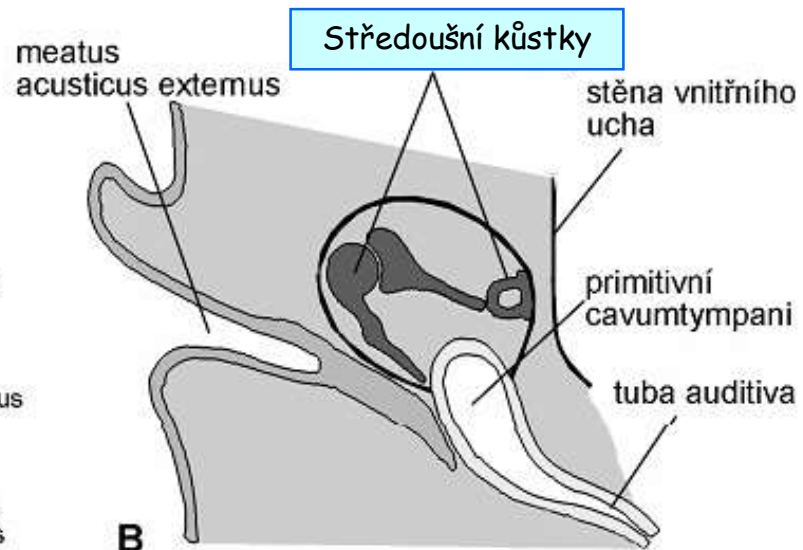
10 týden-3. trimestr

- vývoj Cortiho orgánu

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



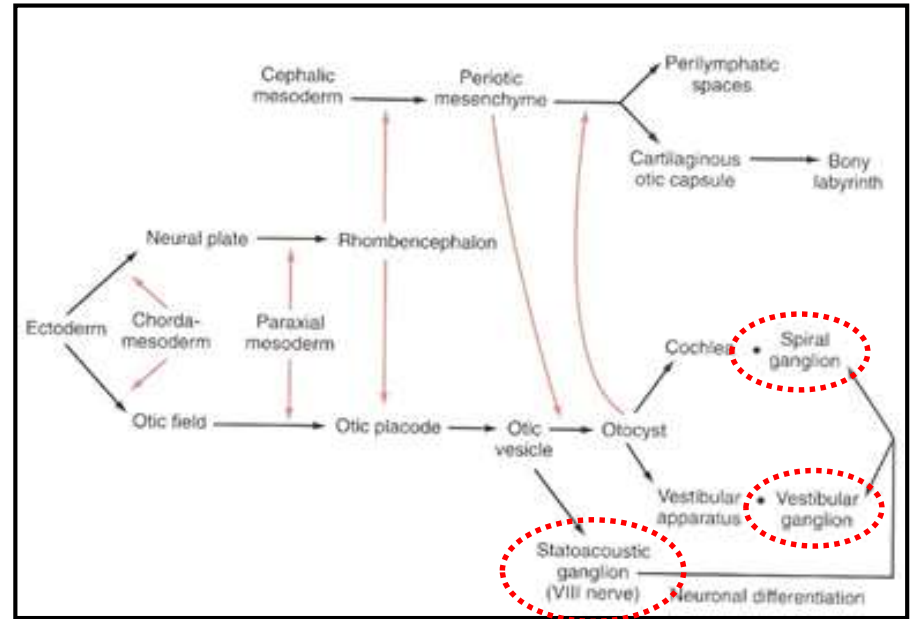
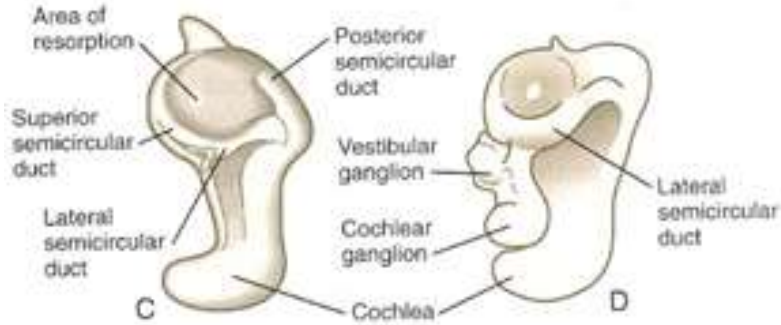
7 týden



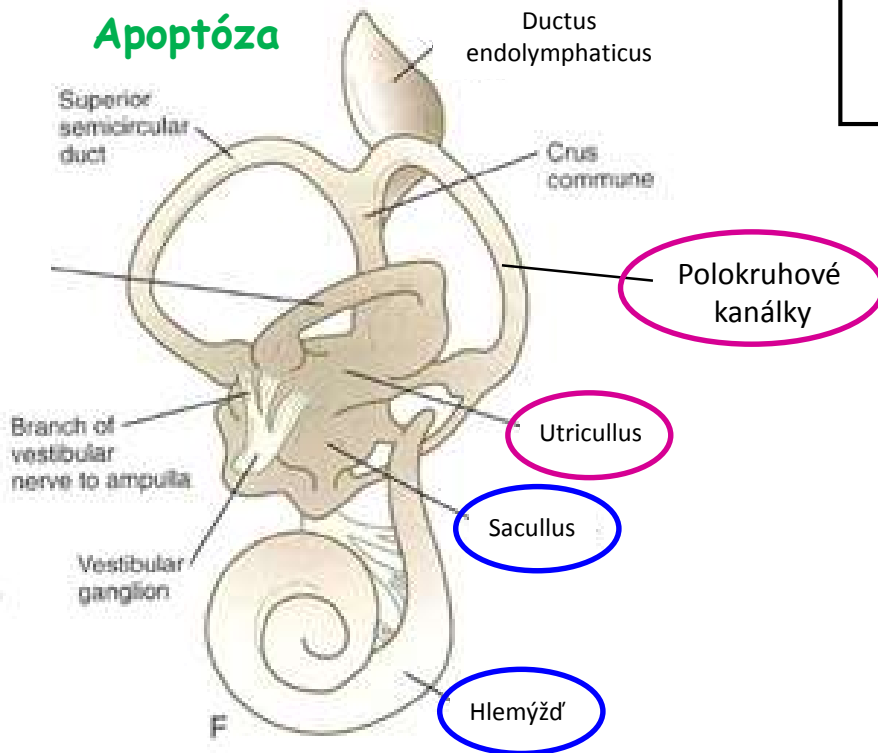
konec 3. měsíce

Vývoj ucha - Vnitřní ucho 2

Elongace



Apoptóza

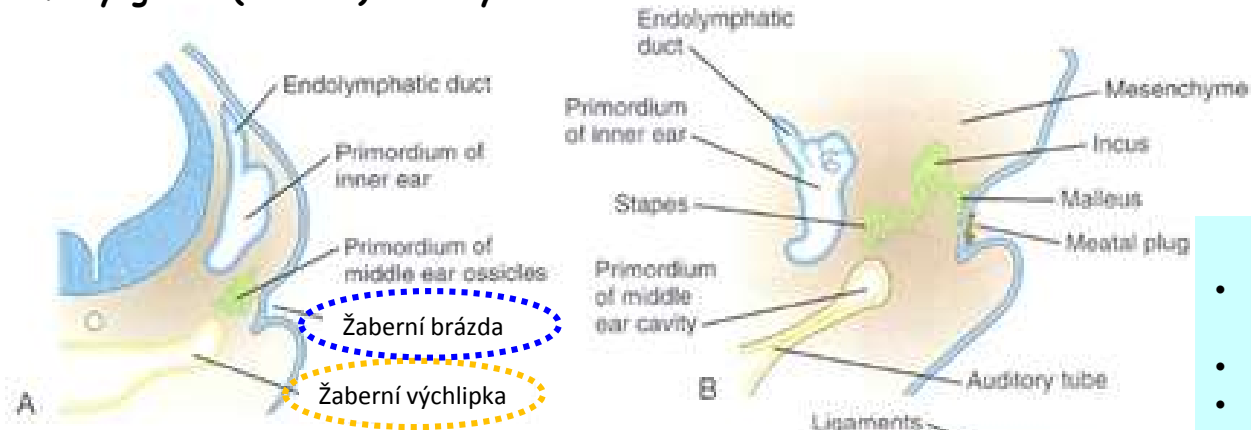


POSTERIOR VIEW



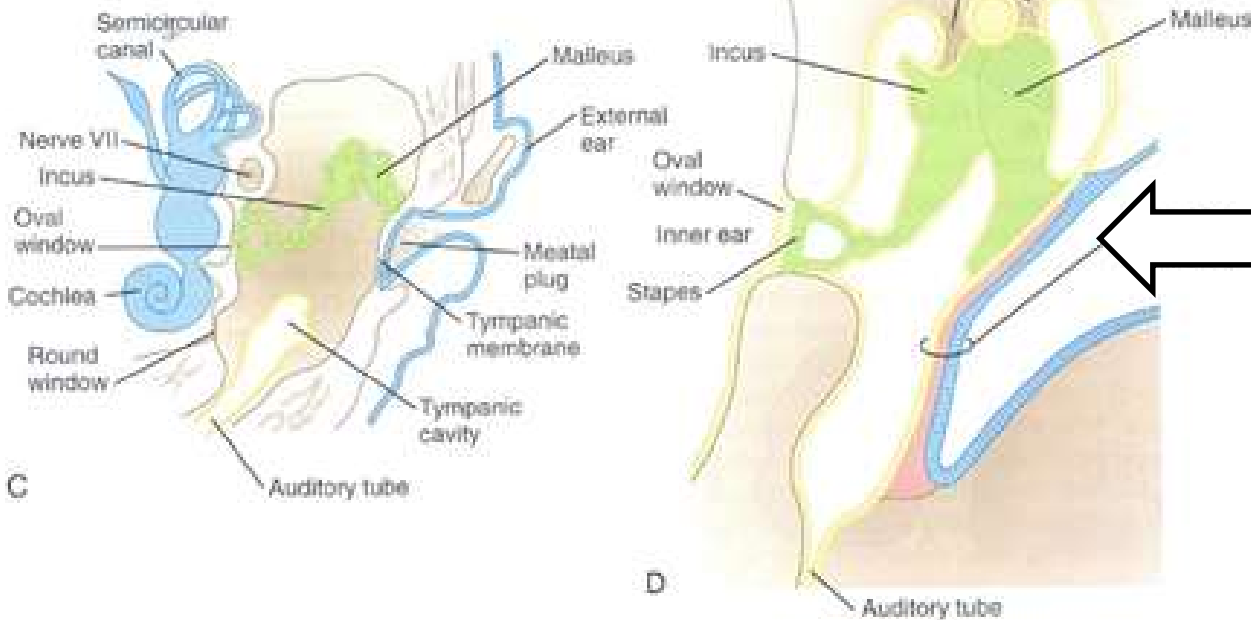
Vývoj ucha - Vnitřní ucho 3

Faryngeální (žaberní) oblouky 1 + 2



Středoušní kůstky

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



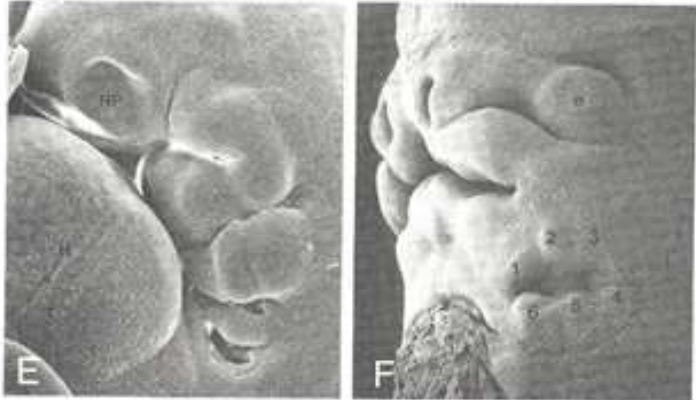
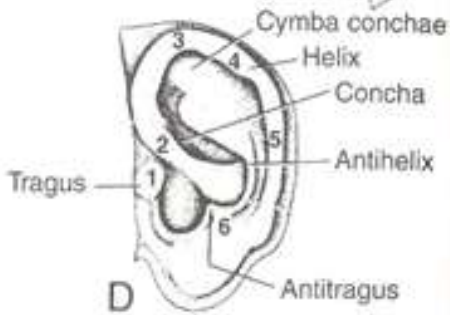
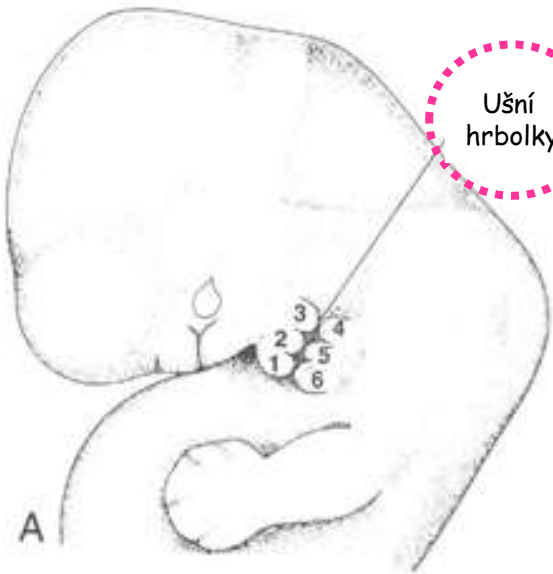
Ušní bubínek

Entoderm
Mezoderm
Ektoderm

Vývoj ucha - Vnější ucho

Mezenchym

Ušní hrbolky



Zevní zvukovod - ektoderm

Děkuji za pozornost

Dotazy a komentáře
ahampl@med.muni.cz
pvanhara@med.muni.cz