

12. Vývoj smyslových orgánů

MAREK HAMPL

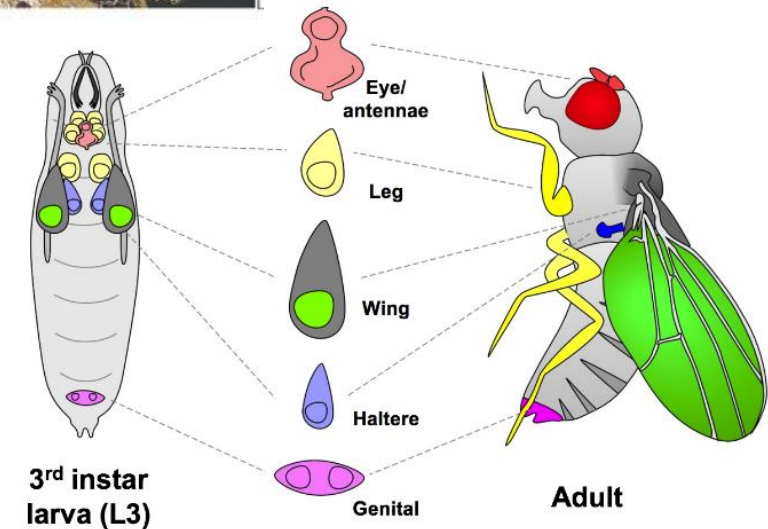
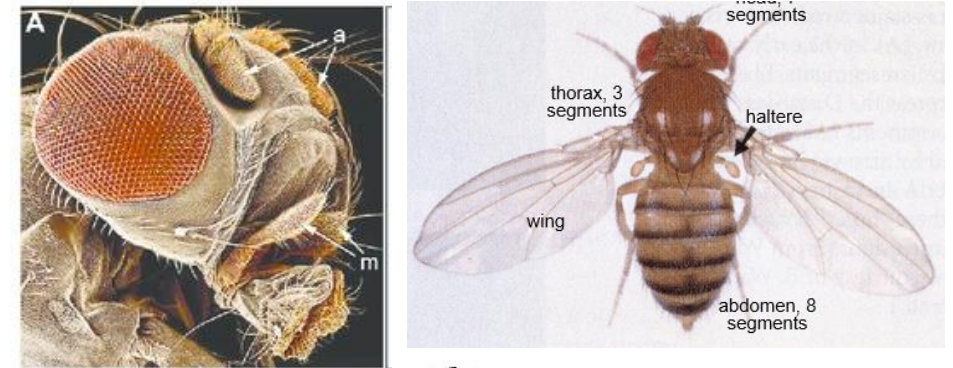
3. 5. 2023

Funkce smyslových orgánů

- vývoj specifický struktur pro vnímání okolního prostředí
- vnímání chutí a vůní
- vnímání zvuků
- vnímání optických jevů
- vnímání proudění vody a elektrického pole
- struktury pro vnímání polohy těla - vyvažování

Vývoj smyslové soustavy drosophily

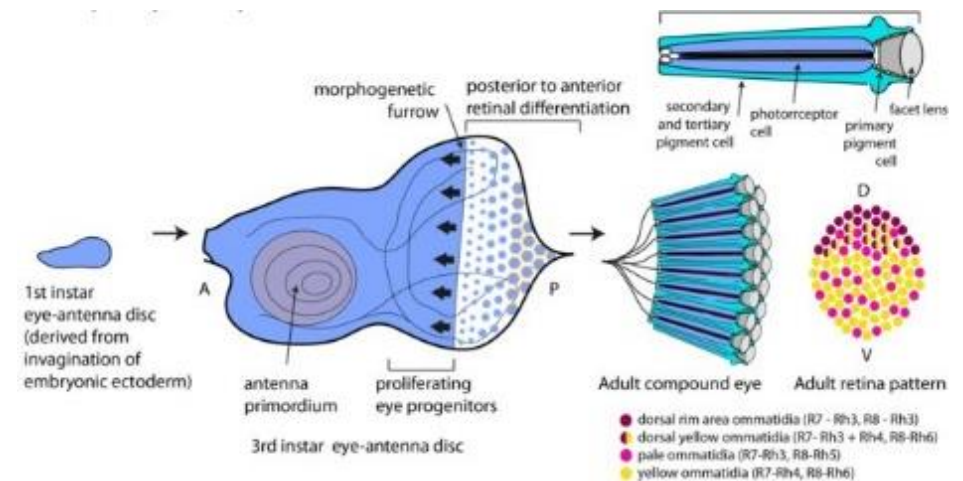
- oči – vidění
- antény** – různé funkce u různých druhů (čich, chuť, rychlost a směr větru, teplota, vlhkost vzduchu, sluch)
- haltery** – mechanosenzorický orgán, vyrovnávací funkce za letu
- stejně jako končetiny (nohy a křídla), oči, antény a haltery se vyvíjejí z **povrchového epitelu (ektoderm)**
- specifické oblasti povrchového epitelu tzv. **imaginární disky**:
 - oční-anténní** imaginární disk (společný základ pro anténu a oko)
 - halterový** imaginární disk – 3. hrudní segment



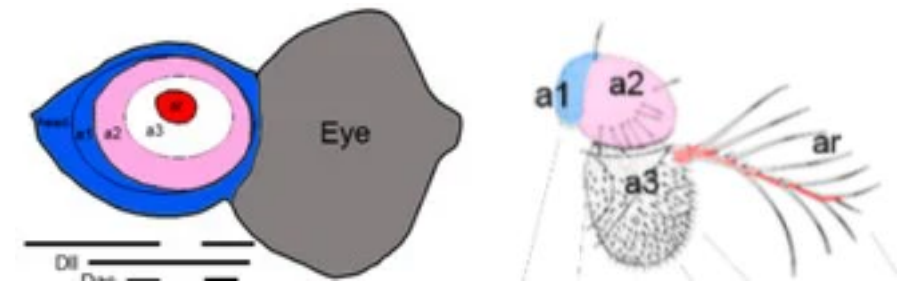
Mathews, van Holde, Ahern

Vývoj antén a očí drosophily

- vývoj antén anteriorně, očí posteriorně
- oko posteriorně – základ oka začíná **diferencovat do omatidií** (omatidium tvořeno fotoreceptorovými neurony, pigmentovými buňkami a kuželovými buňkami)
- oko anteriorně - proliferující oční progenitory
- přechod mezi diferencovanými a proliferujícími progenitory tzv. **morfogenetická rýha**
- **anténa** – vývoj stejný, jako u končetin, jedna vrstva epitelových buněk:
 - úsek antény určen **lokalizací v disku**
 - **střed** – distální část antény
 - **okraje** – proximální část antény



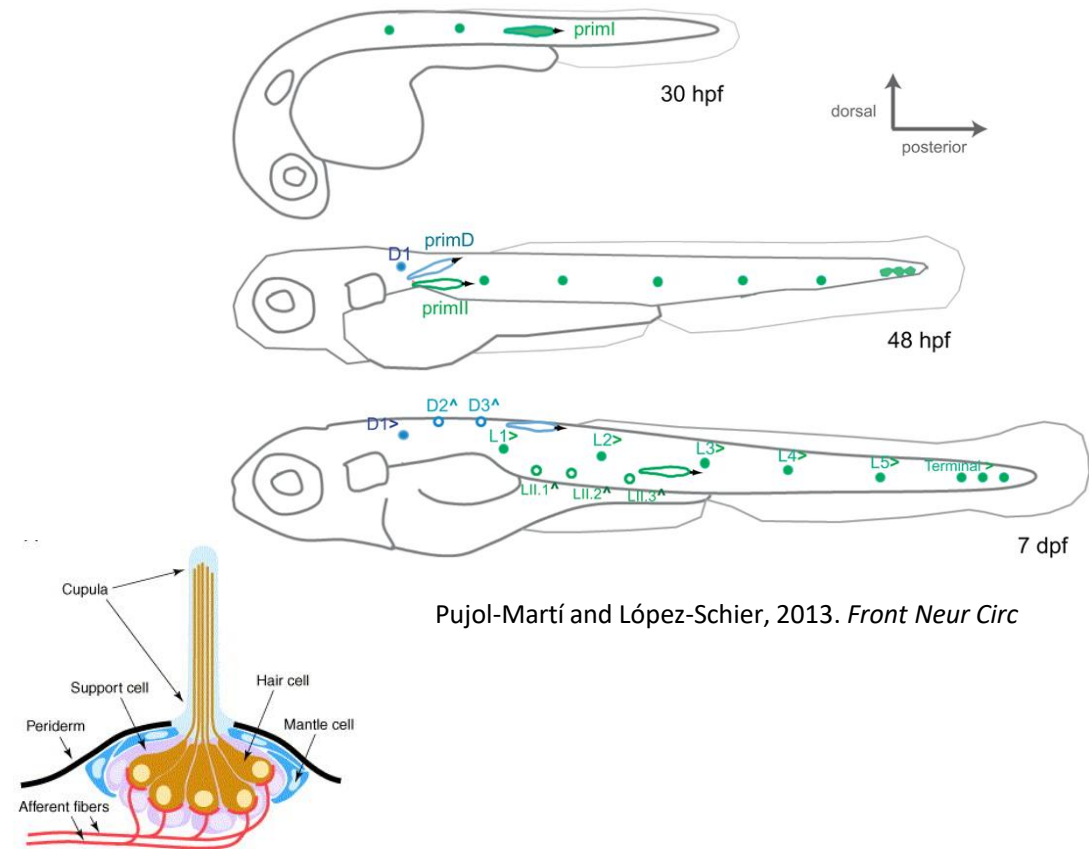
Gaspar et al. 2019. Hum Genet



Ruiz-Losada et al. 2018. J Dev Biol

Vývoj postranní čáry

- senzorický systém ryb a obojživelníků, 2 části:
 - **mechanosenzorická** - vnímání proudění vody (sledování kořisti a predátorů, partnerské námluvy)
 - **elektrosenzorická** – vnímání elektrického pole, tzv. ampula (u některých druhů není, např. zebřička nebo xenopus)
- **Mechanosenzorická:**
 - tvorba párových **cefalických** (ektoderm) **plakod** – první vytvořena v kraniální oblasti – neuroblastové prekurzory aferentních nervů a **první primordiální buňky**
 - **Primordiální buňky** (primI) **migrují kaudálně** – **anteriorně** rozdělení na dvě populace:
 - **primII** – sekundární migrující primordiální buňky
 - **primD** – dorzální migrující primordiální buňky
 - **dohromady: sekundární posteriorní postranní čára**
 - **neuromast** – jádro tvořeno senzorickými **vláskovými** buňkami (ektoderm), vlásky obalené gelovitou **kupulou**, bazálně napojení **aferentních** vláken na receptorové buňky vmezeřené podpůrné **gliové** buňky (neurální lišta)



Pujol-Martí and López-Schier, 2013. *Front Neur Circ*

Ghysen and Dambly-Chaudiere, 2004. *Curr Op Neurobiol*

Vývoj neuronů postranní čáry

○ Cefalická plakoda:

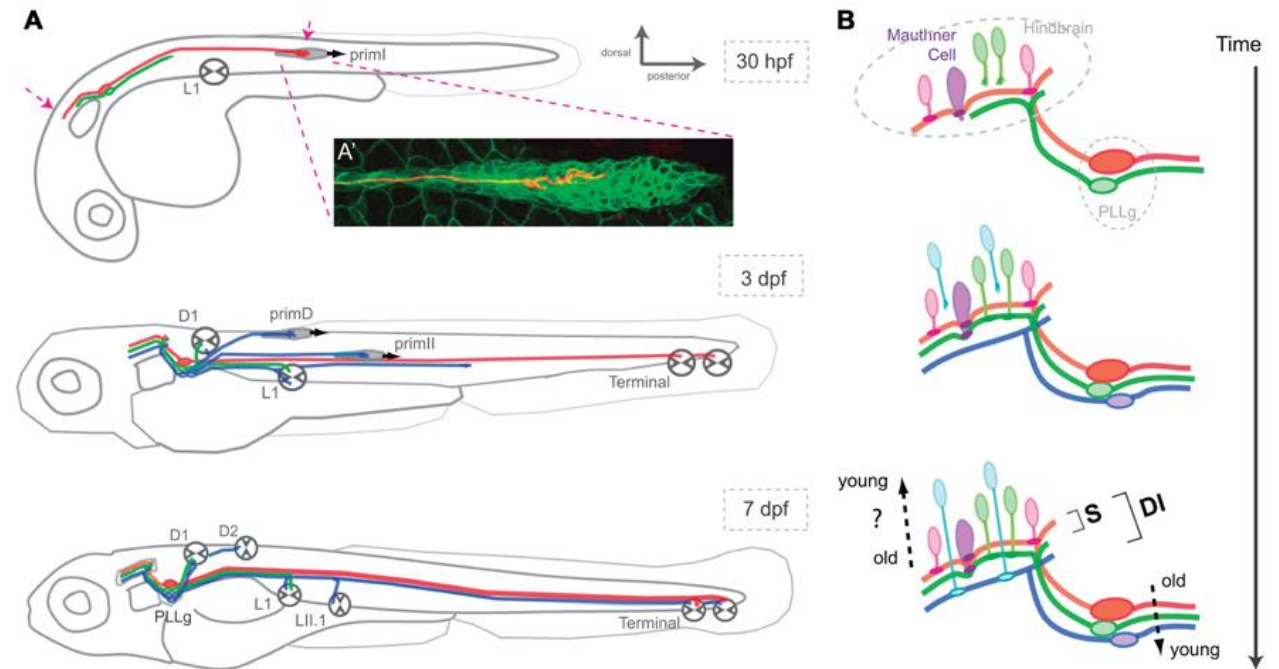
- primordiální buňky
- **neuroblastové prekurzory aferentních neuronů**

○ Neuroblasty:

- **Centrální axon** – vede do zadního mozku
- **Periferní axon** – „pronásleduje“ populaci migrujících **primordiálních buněk** budoucí **neuromasty**
- **těla neuronů** – **posterioerní laterální ganglia**

○ Druhá vlna:

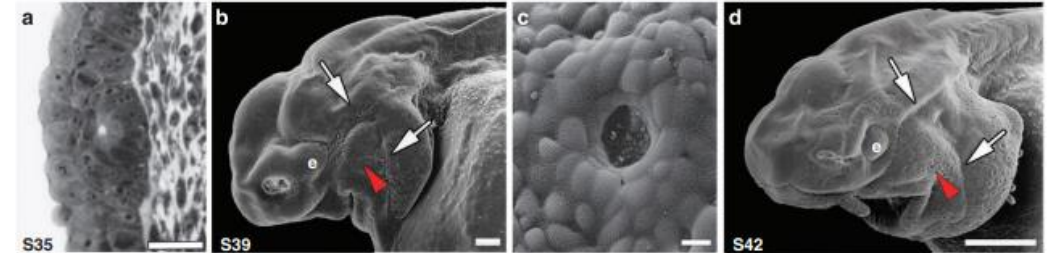
- stejný trend jako u první – **centrální (do CNS)** a **periferní axon (do neuromastu)**
- těla neuronů v **gangliu**



Pujol-Martí and López-Schier, 2013. *Front Neur Circ*

Postranní čára

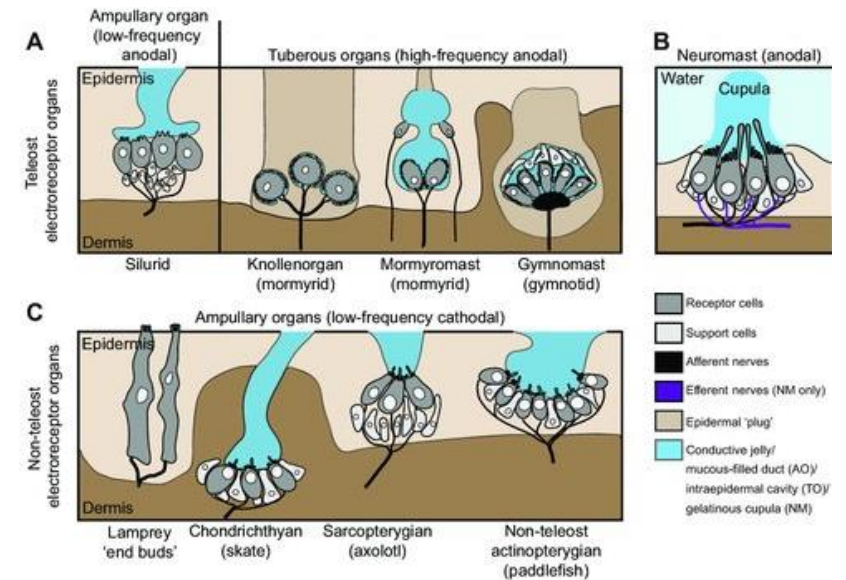
- **Elektrosenzorická:**
 - vznikání elektrického pole, tzv. **ampula** (není u zebřičky a drápatky)
- tvorba párových **cefalických** (ektoderm) **plakod** – první vytvořena v kraniální oblasti – neuroblastové **prekurzory** aferentních nervů a **první primordiální buňky** (migrace buněk vytváří postranní čáru)



Modrell et al., 2011. *Nat Comm*

- **Ampula** – **receptorové vláskové** buňky s výběžky do povrchového kanálku s vodivým **želé**, vmezežené **podpůrné** buňky (neurální lišta), napojení **aferentních** nervových vláken na receptorové buňky (ektoderm)

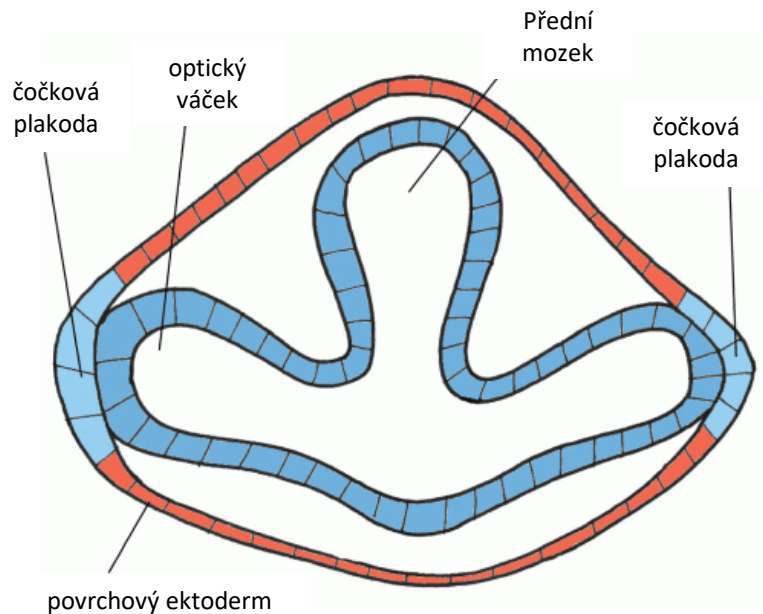
- **mezidruhová morfologická variabilita**



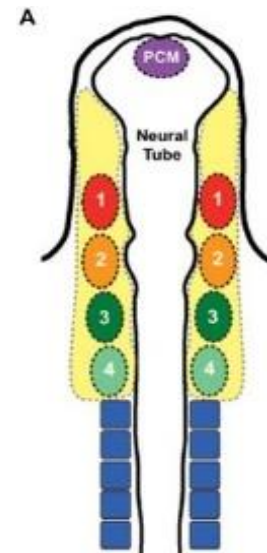
Baker et al., 2013. *J Exp Biol*

Embryonální původ částí oka obratlovců

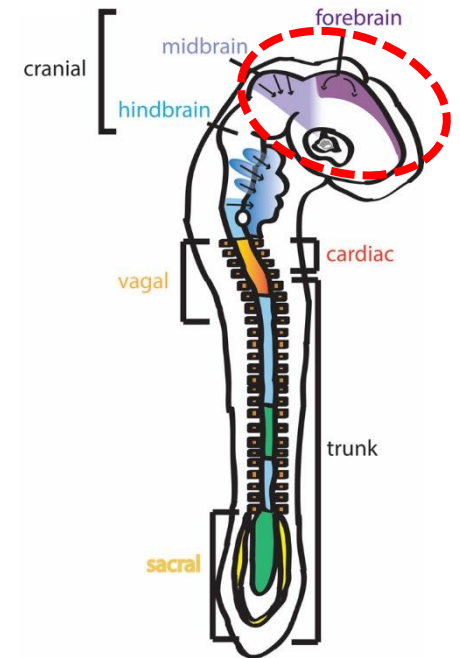
- **neurální epitel diencefala** – sítnice, duhovka včetně hladkých svalů, zrakový nerv, část sklivce
- **povrchový ektoderm** – čočka, rohovka, spojivka, víčka, slzný kanál
- **prechordální mezoderm** (preotický mezoderm) - zevní okoohybné svaly
- **neurální lišta** (**proencefalon** a **mezencefalon**) – část epitelu a stromatu rohovky, stroma duhovky, stroma a svaly řasnatého tělesa, bělima



Veterian Key



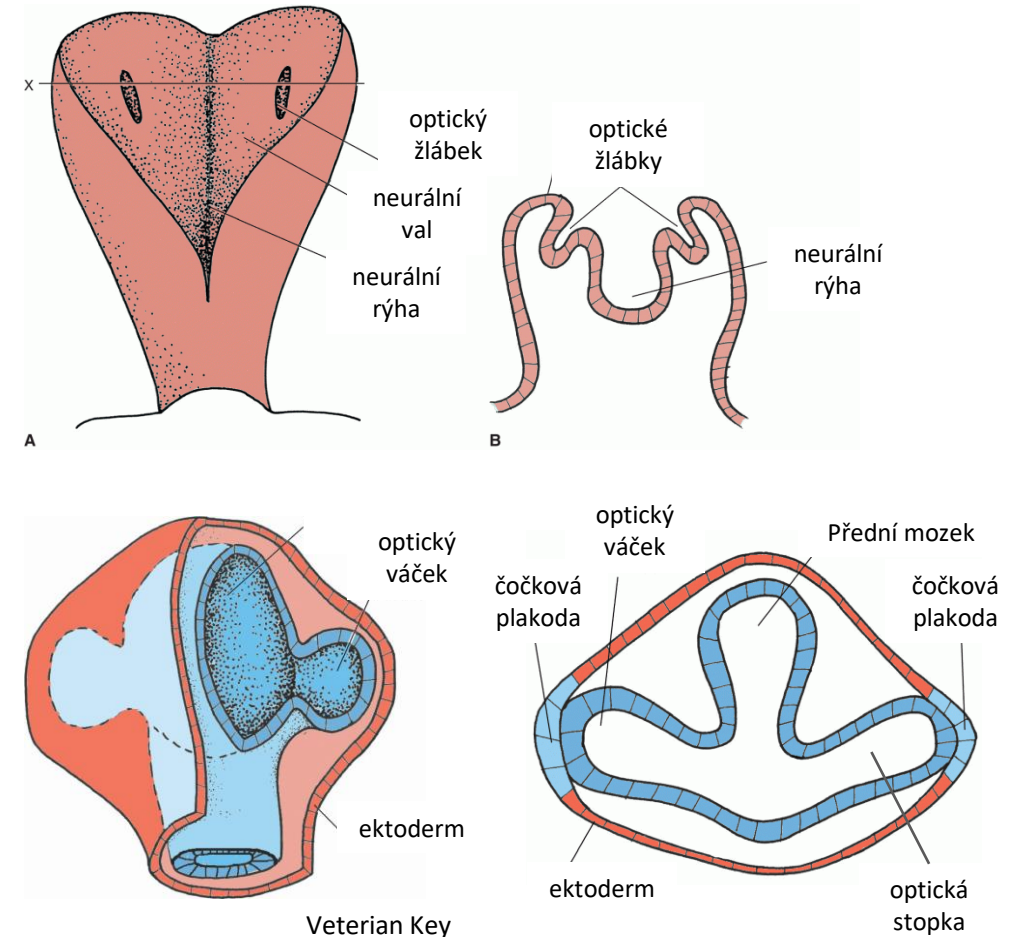
Randolph and Pavlath, 2015



Williams and Bohnsack, 2015.
Birth Defects Res C Embryo Today

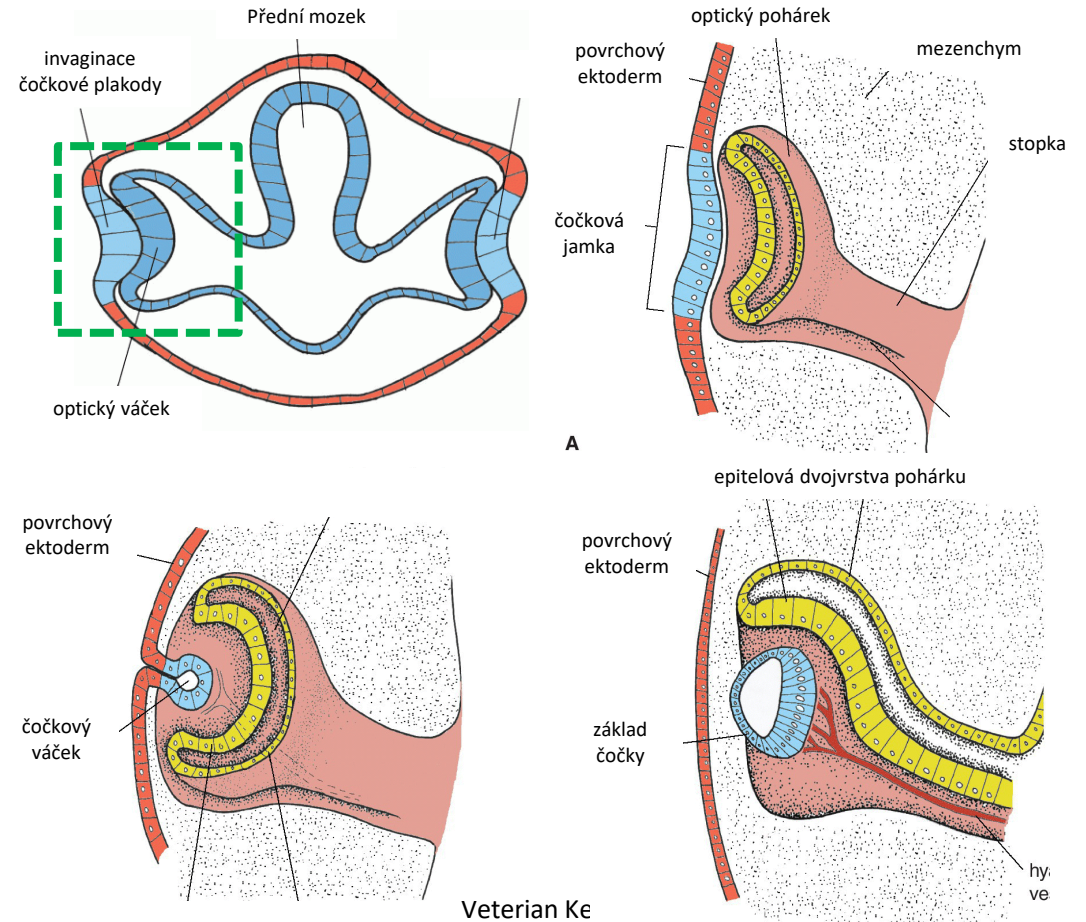
Vznik a vývoj očního žlábků a váčku

- o vznik **optických žlábků** na obou stranách **předního mozku** (neurální valy)
- o **uzavření** neurální trubice – ze žlábků se stávají výčnělky – **optické váčky**
- o oční váčky prorůstají z předního mozku mezenchymem směrem k povrchovému epitelu
- o prorůstáním dochází k prodlužování spojení předního mozku s optickým váčkem – **optická stopka** (základ zrakového nervu)
- o **interakce** optického váčku s **povrchovým ektodermem** – indukce vzniku **epitelového ztlustění (čočkové plakody)** v ektodermu (prekurzor čočky)



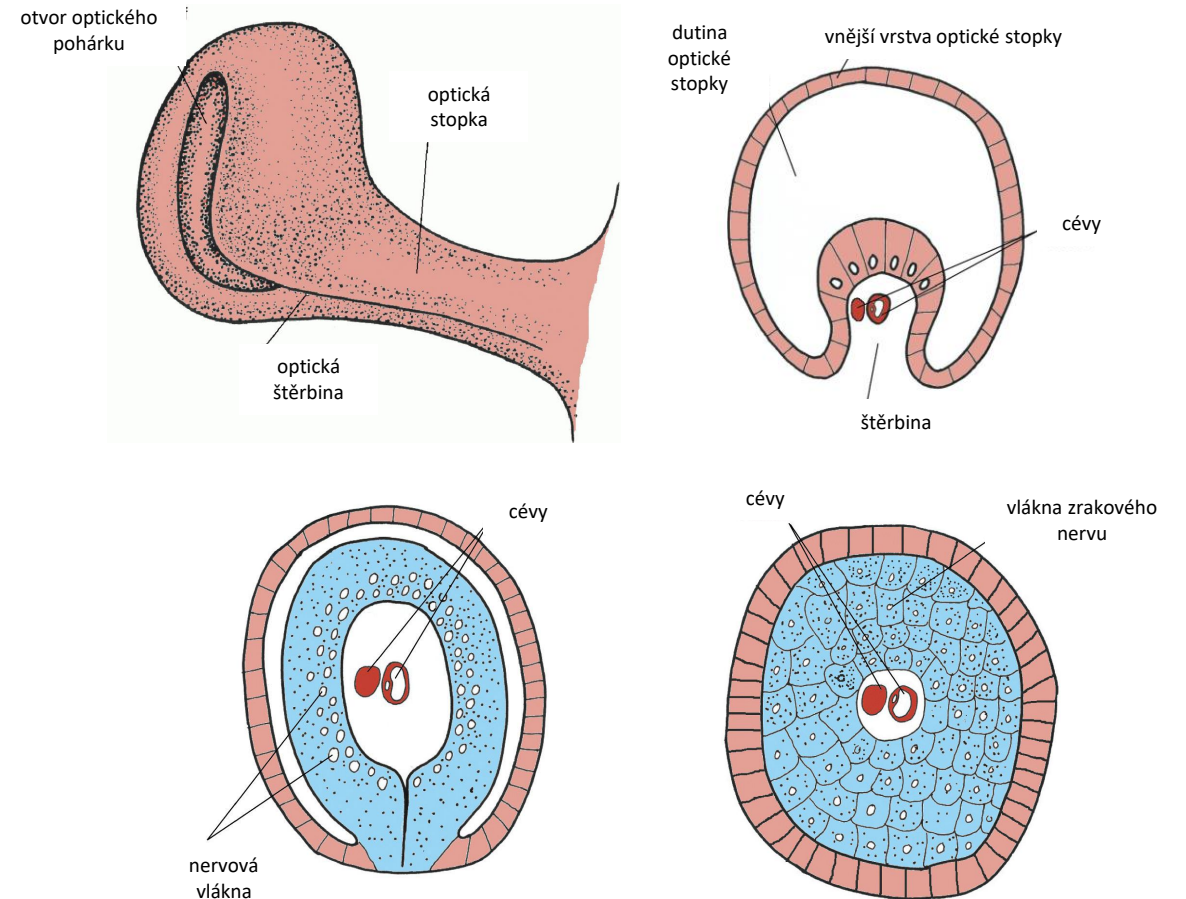
Vývoj očního základu

- o indukce **invaginace epitelu čočkové plakody** – vznik **čočkové jamky**
- o z čočkové jamky vzniká **kruhovitý útvar** – probíhá další invaginace – oddělení útvaru od povrchového ektodermu – vznik **čočkového váčku**
- o současně **invaginace epitelu optického váčku** – vznik **dvojvrstvého epitelového útvaru** – **optický pohárek**
- o epitelová **dvojvrstva optického pohárku** – základ pro vývoj **sítnice**



Vývoj cévního zásobení oka

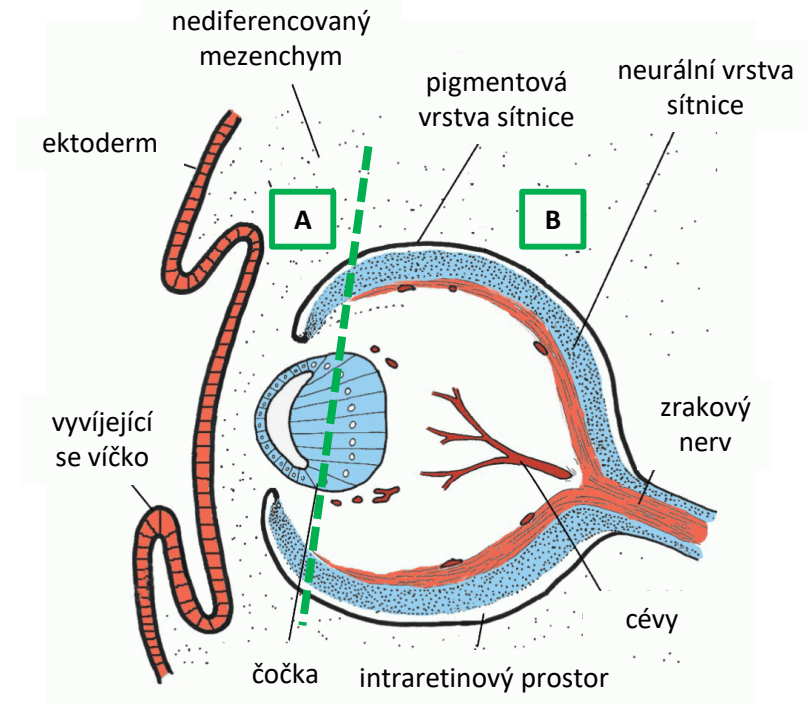
- vznik **prohlubně** v optické stopce a optickém váčku z **ventrální strany** – **optická/choroidní štěrbina** (fisura)
- **inkorporace** vznikajících **cév** do optické štěrbiny
- **fúze okrajů** optické štěrbiny – vznik **optického kanálu** uvnitř optické stopky



Veterian Key

Vývoj sítnice

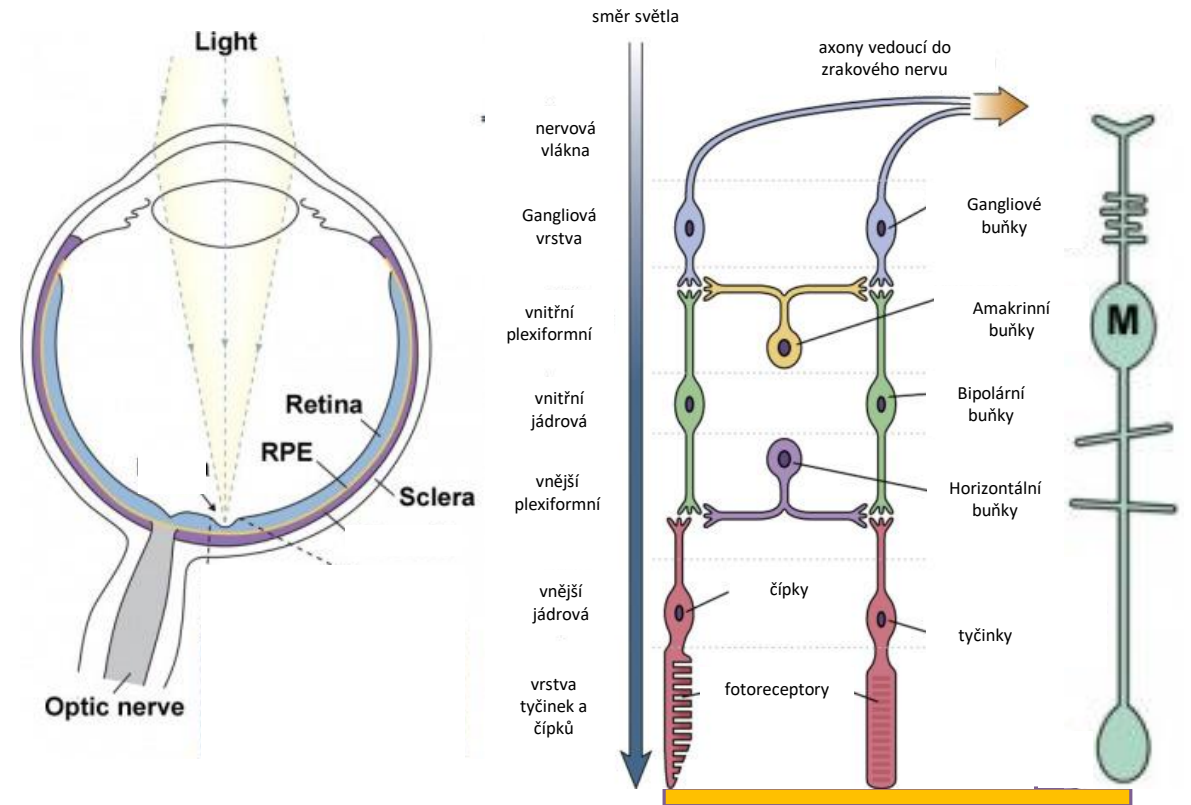
- základ – **epitelová dvojrstva** (vnější tenčí, vnitřní silnější) **optického pohárku**
- menší **anteriorní (A)** část – duhovka a řasnaté těleso
- větší **posteriovní (B)** část - sítnice
- posteriovní část:
 - vnitřní epitelová vrstva – **neurální** vrstva sítnice (fotosenzorická)
 - vnější epitelová vrstva – **pigmentová** vrstva sítnice
 - odděleny **intraretinovým** prostorem



Veterian Key

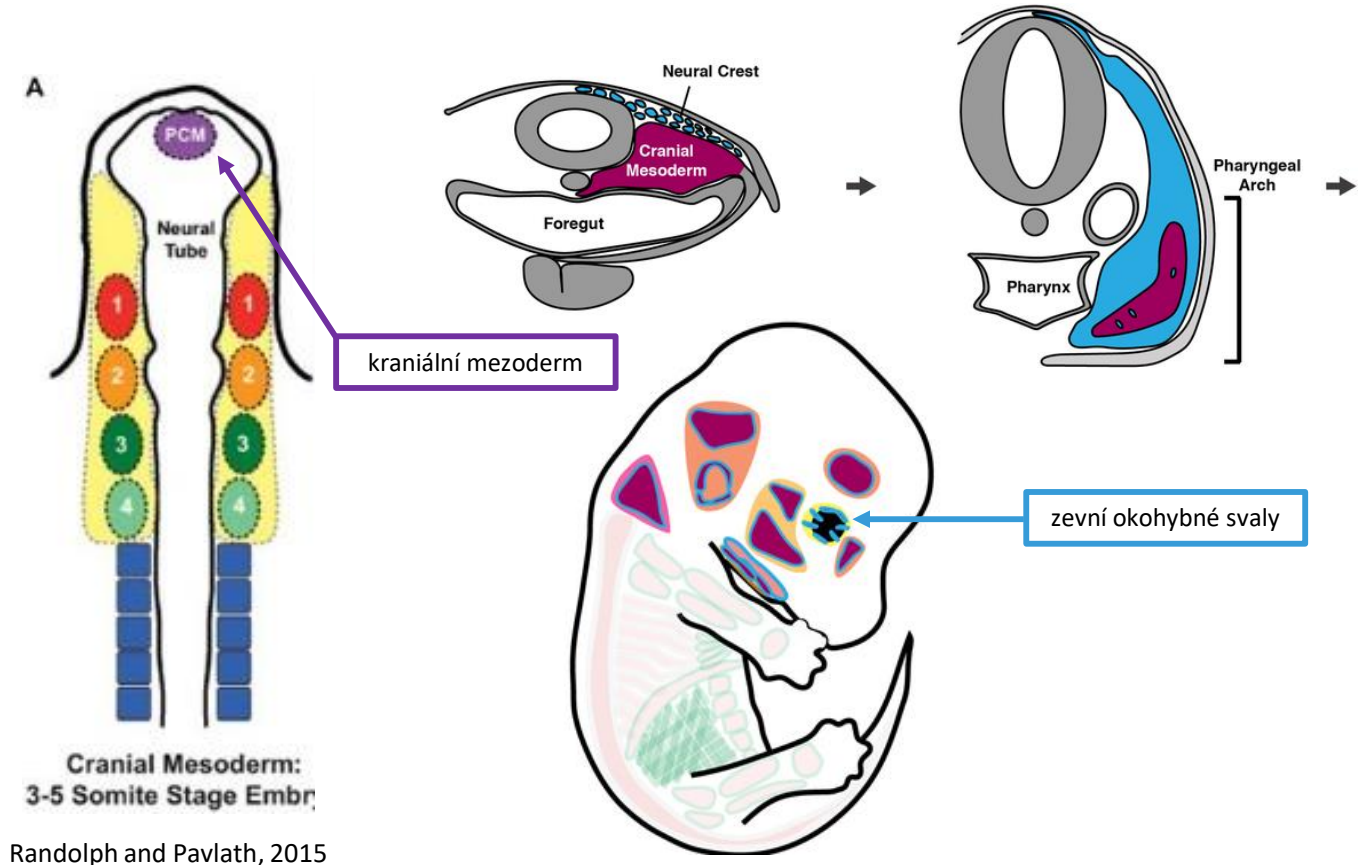
Histogeneze neurální sítnice

- vrstva nejbliže intraretinového prostoru – fotoreceptory (tyčinky a čípky)
- **vnější jádrová** – uložení těl receptorových buněk
- **vnější plexiformní** – vznik synapsí mezi fotoreceptory a bipolárními neurony, horizontální buňky (integrace signálu)
- **vnitřní jádrová** – těla bipolárních, horizontálních a amakrinních (přenos signálu na gangliové buňky) buněk
- **vnitřní plexiformní** – synaptické spoje mezi bipolárními, amakrinními a gangliovými buňkami
- **gangliová vrstva** – těla gangliových buněk
- **vrstva nervových vláken** – axony gangliových buněk
- **Müllerova buňka (M)** – typ gliových buněk, podpurné buňky sítnice



Původ zevních okohybných svalů

- zevní okohybné svaly vznikají ze dvou zdrojů:
 - nesegmentovaný **kraniální mezoderm**
 - kraniální **neurální lišta**
- nesegmentovaný kraniální mezoderm
 - **svalové buňky**
- Kranialní neurální lišta
 - **pojivová tkáň svalů** (obal svalů)



Randolph and Pavlath, 2015

Sefton and Kardon, 2019. Curr Top Dev Biol

Vývojové vady oka

◦ Mikroftalmie

- vrozená vada oka
- malé a nedostatečně vyvinuté oko
- defekt v tvorbě očního váčku
- unilaterální i bilaterální



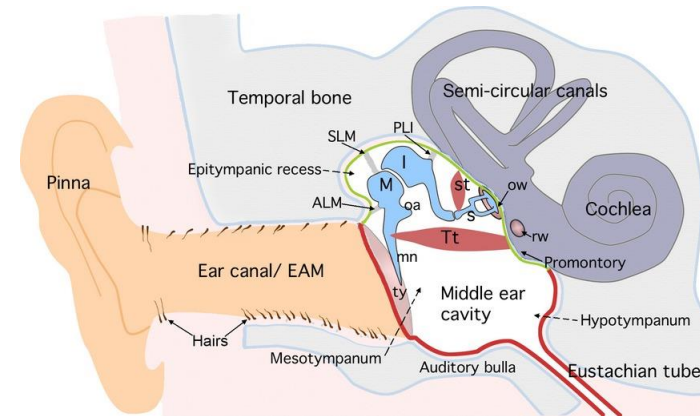
◦ Anoftalmie

- vrozená vada oka
- viditelně chybějící oko, ultrazvuk často odhalí uzavřený zbytek očního základu uvnitř hlavy
- defekt v tvorbě očního váčku
- unilaterální i bilaterální



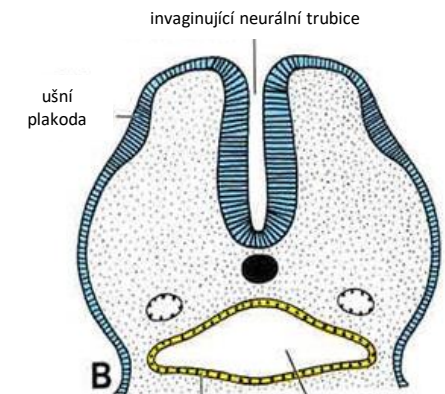
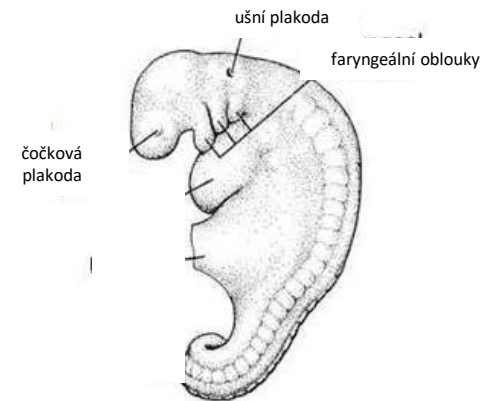
Vývoj ucha

- o ucho tvořeno ze tří částí:
 - o **vnější** – boltec, vnější zvukovod
 - o **střední** – bubínková dutina, Eustachova trubice, kosti a svaly
 - o **vnitřní** – sakula, kochlea, Cortiho orgán



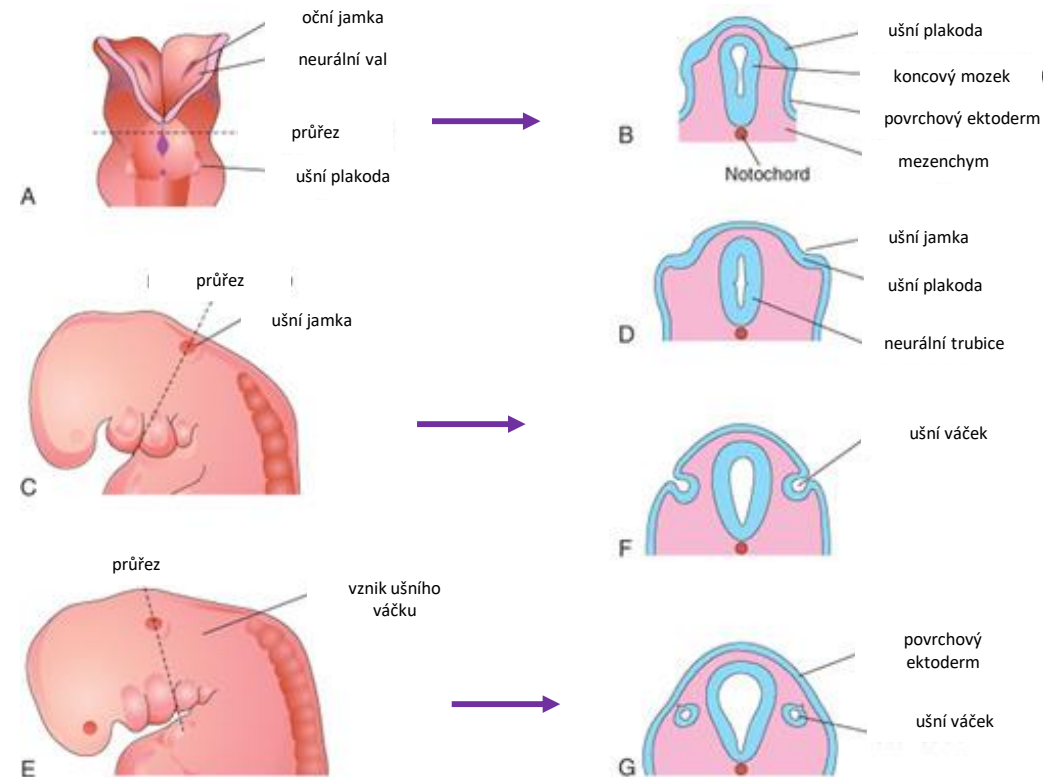
Anthwal and Thompson, 2015. J Anat

- o základ ucha se vyvíjí:
 - o v **oblasti faryngeálních** oblouků a **koncového** mozku
 - o vznik **ektodermového ztlustění** (ušní plakody)
 - o **plakoda** – základ pro vývoj **vnitřního** ucha



Vznik a vývoj vnitřního ucha

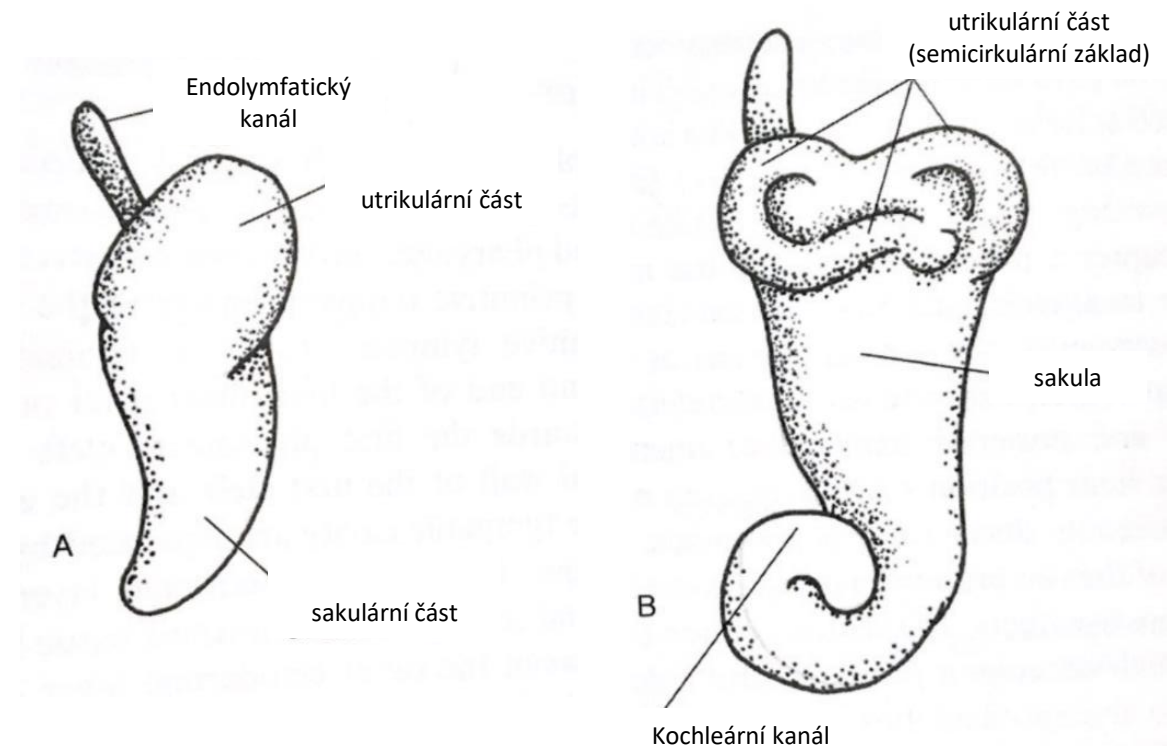
- vznik **ektodermového ztlustění** v oblasti koncového mozku – tzv. **ušní (otická) plakoda**
- epitelové **buňky** ušní **plakody** začínají **invaginovat** do mezenchymu okolo koncového mozku – vznik **ušní jamky**
- **ušní jamka** se **odděluje** od povrchového ektodermu – vznik **duté struktury** vystlané cylindrickým epitelem – **ušní váček**, dutina vyplněna endolymfou
- **ušní váček** lokalizován v oblasti mezi povrchovým ektodermem **obalený** buňkami **mezenchymu** – **ušní kapsula**
- **některé buňky** epitelu – opouštějí váček a **vznikají** z nich senzoričká **ganglia VIII. hlavového nervu** (sluchově-rovnovážný)



Moore and Persaud. The developing Human 8e

Rozrůznění ušního váčku

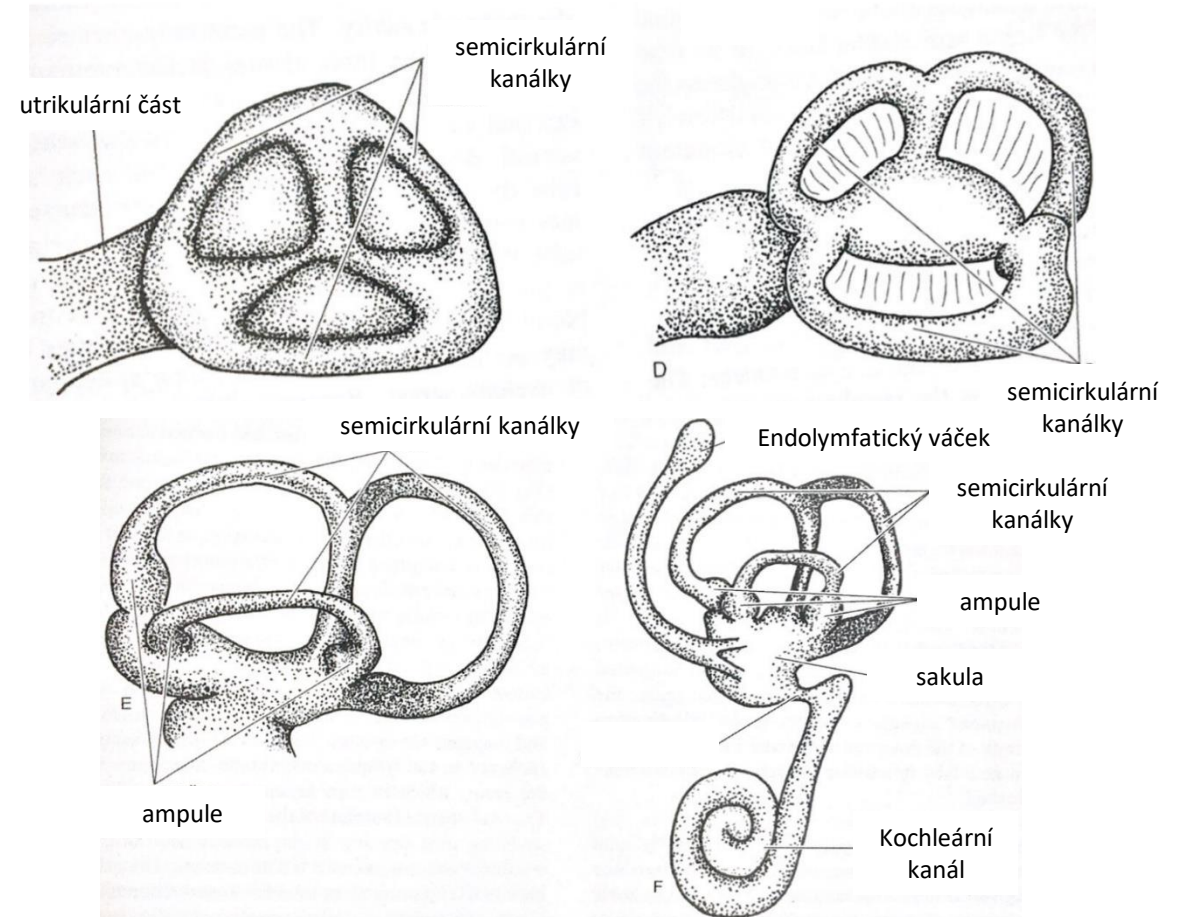
- o z **ušního váčku** vzniká membránový **labyrint** vystlaný epitelem
- o epitel se **rozrůžňuje** – vznik různě silných oblastí epitelu, epitel se deformuje
- o ušní váček se rozděluje na dvě části:
 - o **dorzální – utrikulární** (základ vestibulárního – rovnovážného - systému)
 - o **ventrální – sakulární** (základ vnitřního ucha – sluch)
- o **dorzomediálně** – evaginací vzniká **endolymfatický kanál**, s terminálním rozšířením – **endolymfatický váček** (regulace objemu a tlaku endolymfy)



upraveno McGeady et al. Veterinary Embryology. 2009

Vývoj rovnovážného systému

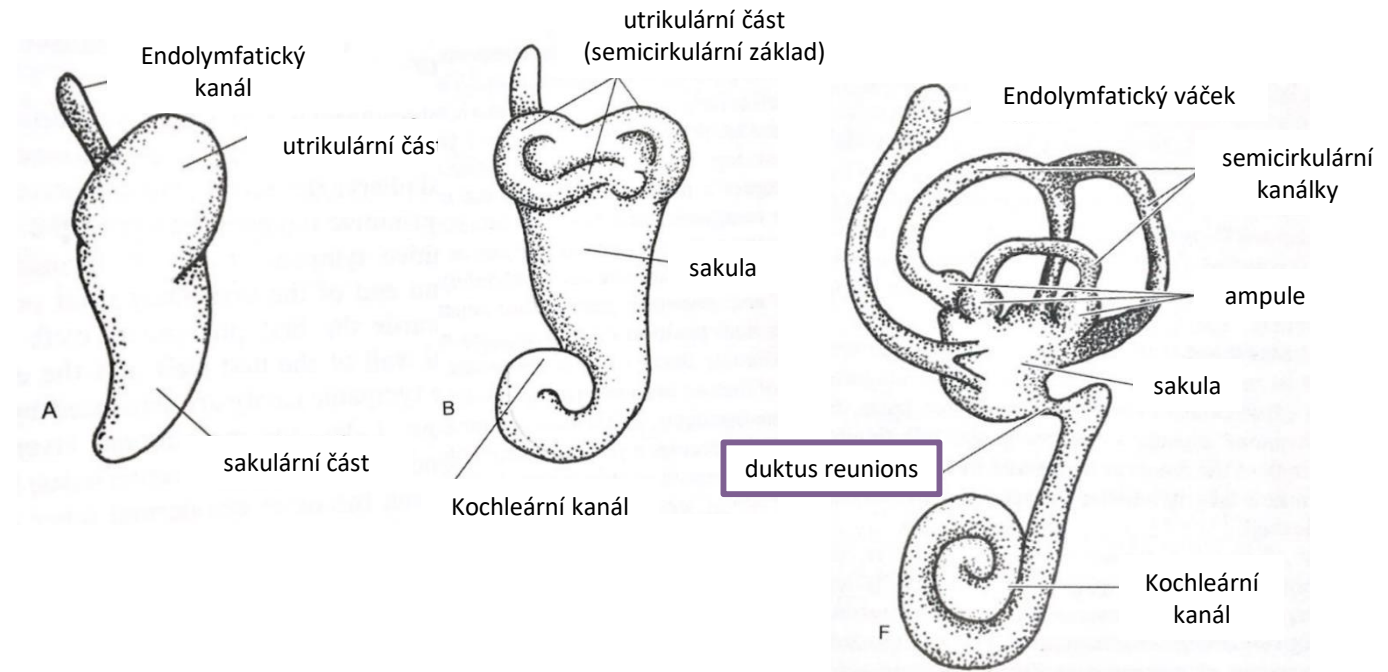
- o z dorzálního utrikula vznikají tzv. **semicirkulární (polokruhové) kanálky**
- o vznik **tří** semicirkulárních **kanálků**
 - o **2 vertikálně** orientované
 - o **1** usazen v **pravém úhlu** vůči dvěma **vertikálním**
- o na koncích každého kanálku vznikají **rozšíření** tzv. **ampule** obsahující senzorické orgány



upraveno McGeady et al. Veterinary Embryology. 2009

Vývoj sluchového systému

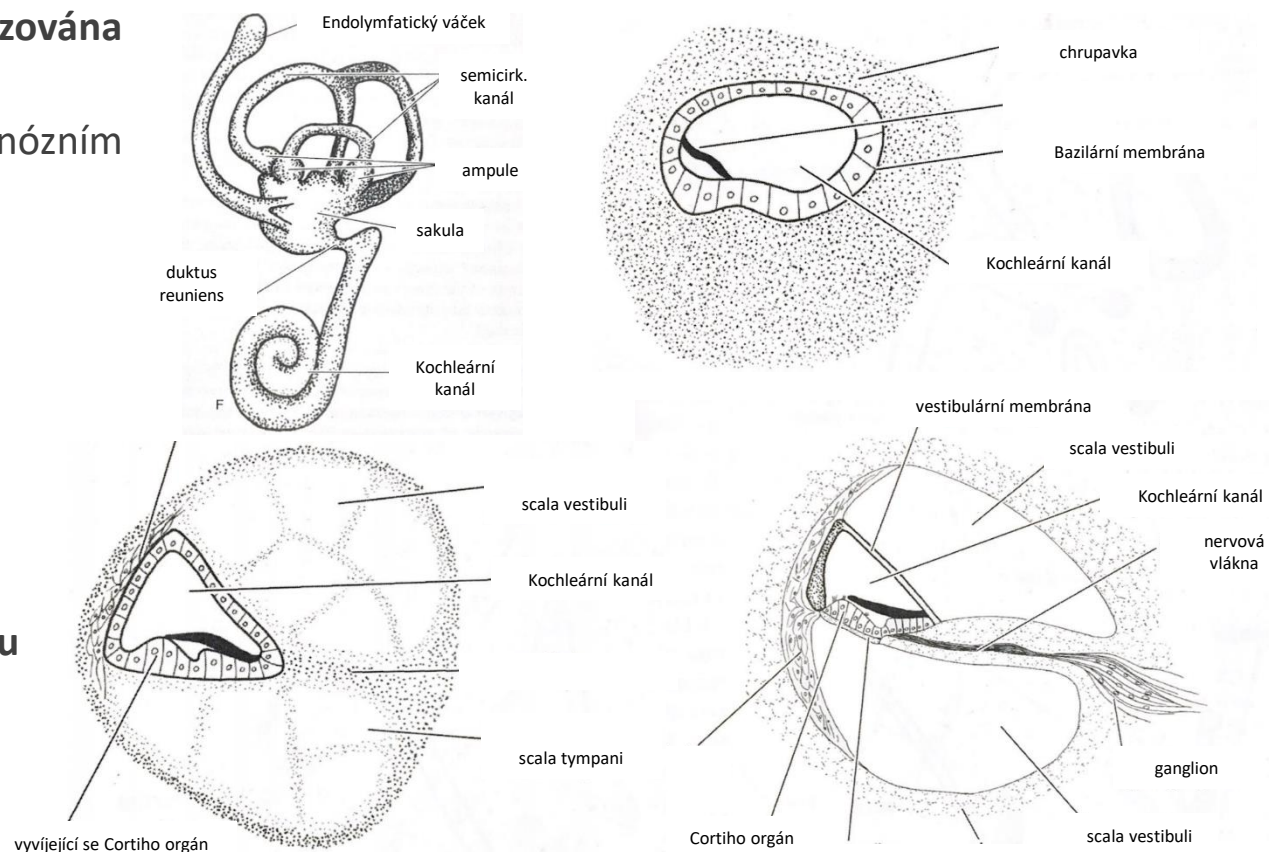
- o z ventrální orientované **sakuly** vzniká **evaginace** – **kochleární kanál**
- o **kanál** se nejdříve **protahuje** a **zúžuje** a následně se **stáčí**
- o úzký kanálek spojující sakulu a kochleární kanálek – **duktus reuniens**
- o okolní **mezenchym** – **diferenciace** do chrupavčité **sluchové chrupavky**



upraveno McGeady et al. Veterinary Embryology. 2009

Vývoj kochleárního aparátu

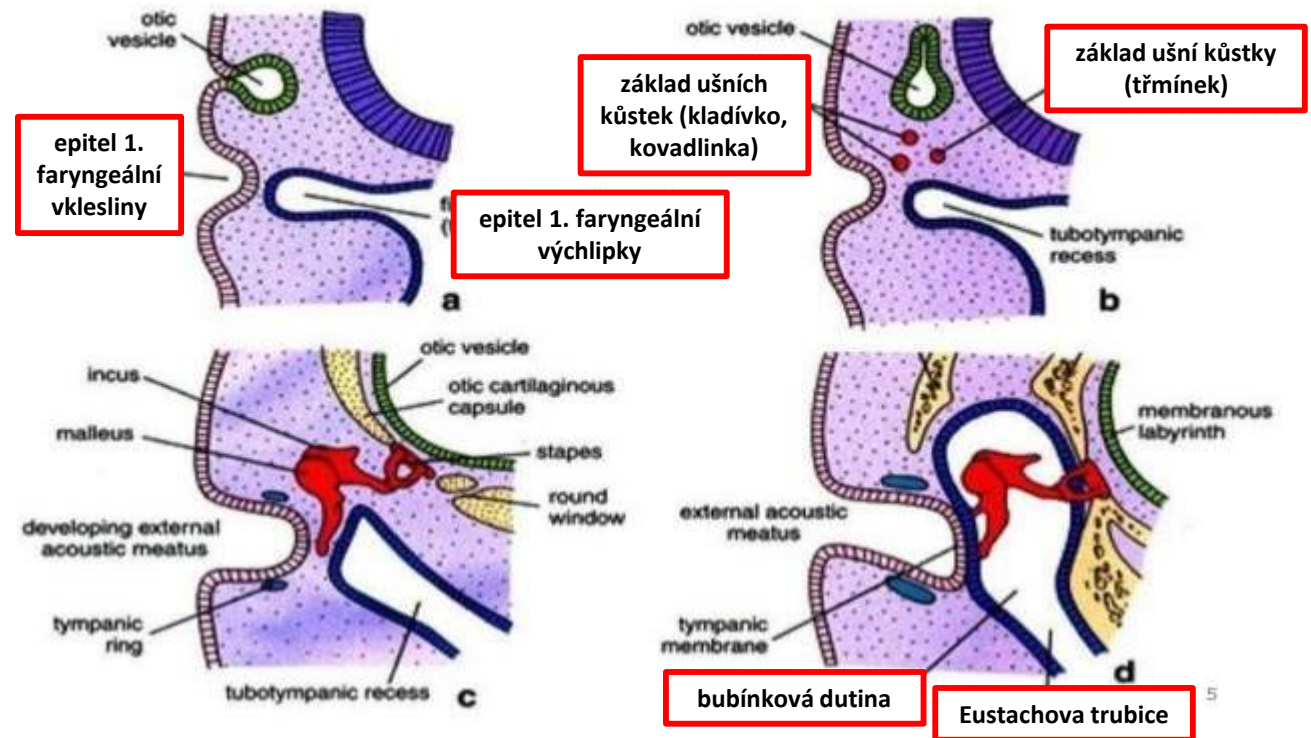
- část chrupavky přiléhající k bazální membráně je **vakuolizována**
- vznik dutiny mezi vnější **chrupavčitou** vrstvou a membranózním **labyrintem** – **perilymfatický prostor** vyplněn perilymfou
- Perilymfatický prostor rozdělen:
 - **Scala vestibuli** – kochleární kanál oddělen vestibulární membránou
 - **Scala tympani** – kochleární kanál oddělen bazilární membránou
- diferenciace buněk na bázi kochleárního kanálu – vznik **Cortiho orgánu**
- **chrupavčitý** labyrint **osifikuje** – vznik **kostěného labyrintu**
- **migrace** buněk z **mediální stěny váčku mediálně** – vznik **stato-akustického ganglia** (dohromady s buňkami neurální lišty)



upraveno McGeady et al. Veterinary Embryology. 2009

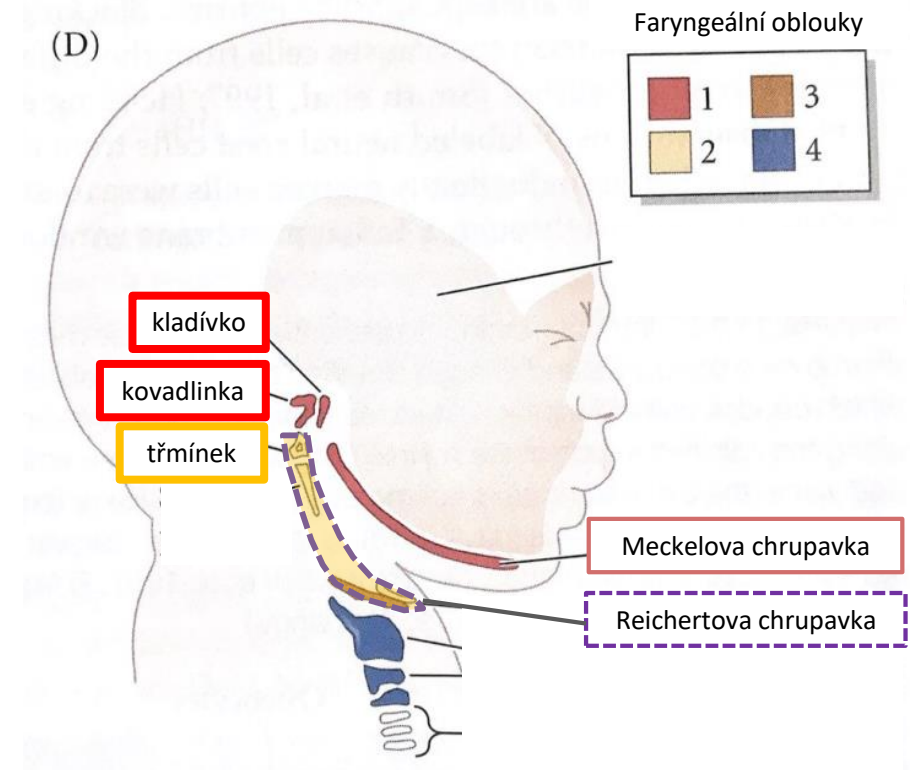
Vývoj středního ucha

- bubínková dutina, Eustachova trubice, kosti a svaly
- **epitel faryngeálních výchlipek 1. faryngeálního oblouku (endoderm)**
 - bubínková dutina
 - Eustachova trubice
- **kosti středního ucha – mezenchym faryngeálních oblouků**



Vývoj kostí středního ucha

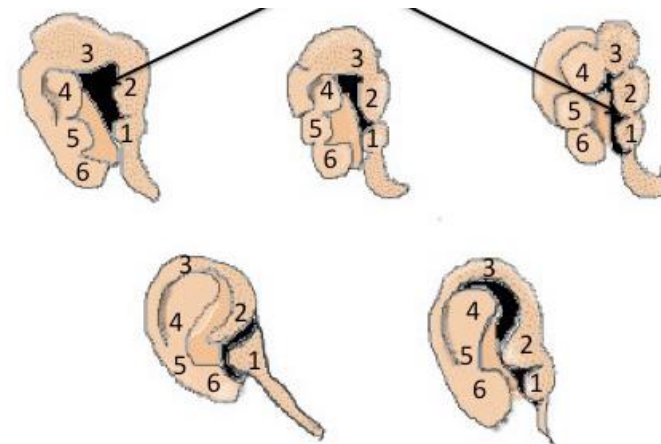
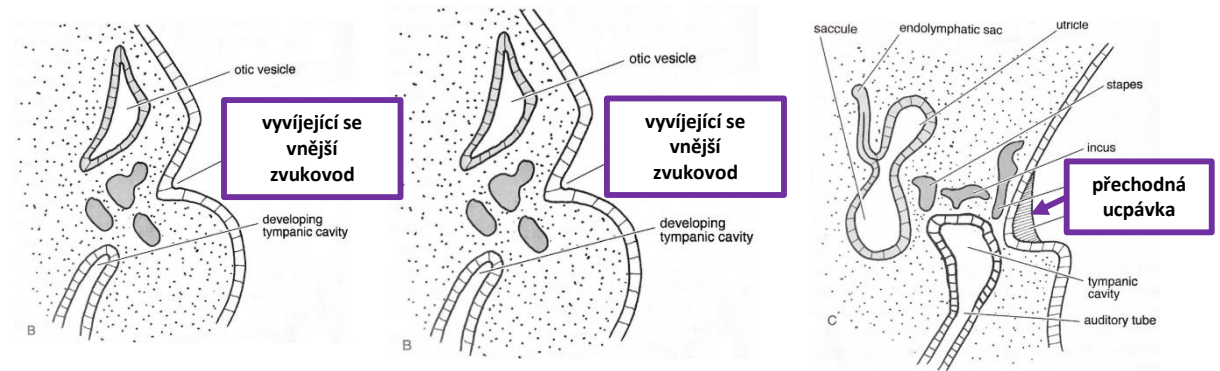
- kladívko, kovádlinka a třmínek vznikají z mezenchymu 1. a 2. faryngeálních oblouků
- **1. faryngeální oblouk** – endochondrální osifikací Meckelovy chrupavky:
 - **kladívko** (malleus)
 - **kovádlinka** (incus)
- **2. faryngeální oblouk** – endochondrální osifikací Reichertovy chrupavky:
 - **třmínek** (stapes)



Scott Gilbert. Developmental Biology 10th edition

Vývoj vnějšího ucha

- zevní zvukovod, boltec, bubínková membrána
- epitel **faryngeálních vklesliny 1. faryngeálních oblouků (ektoderm)**
 - zevní zvukovod
 - částečně bubínková membrána a boltec
- **proliferace** buněk na konci **faryngeální vklesliny**, vzniká **přechodná epitelová ucpávka** ušního kanálu (meatal plug)
- **ektodermová** stěna se dostává do blízkého **kontaktu** se stěnou **endodermu**, **odděleny** pouze tenkou vrstvou **mezenchymu** – základ pro vznik **bubínkové membrány**
- u člověka **vnější část** ucha (**boltec**) vzniká z **mezenchymu oblasti 1. a 2. faryngeálního oblouku** kryté ektodermem – základ tvořen **šesti hrbolky**



upraveno McGeady et al. Veterinary Embryology. 2009

Vývojové vady ucha

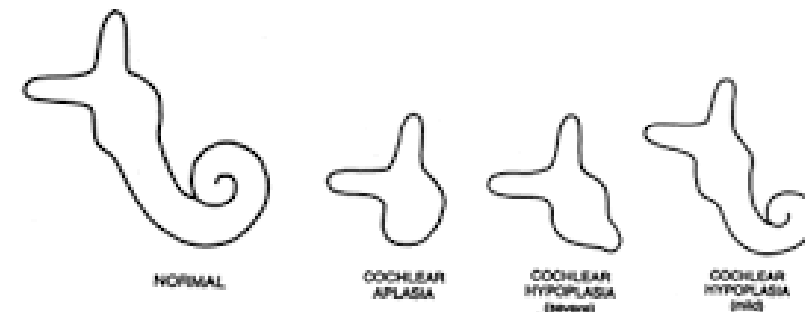
○ Anotie/mikrotie

- nedokonalý vývoj boltce a zevního zvukovodu
- Anotie – úplné chybění vnější části ucha (vzácné)
- Mikrotie – malé a nesprávně vyvinuté vnější ucho



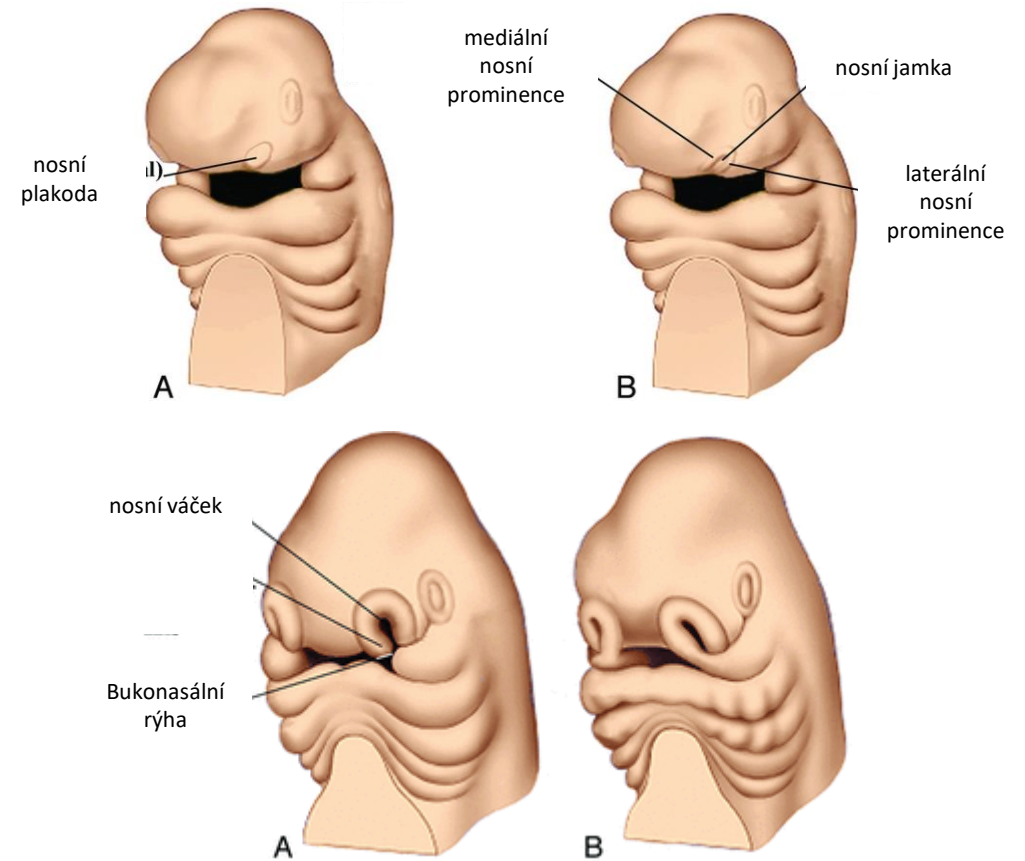
○ Kochleární aplázie/hypoplazie

- narušený vývoj labyrintu vnitřního ucha a přiléhajících struktur
- Aplázie – úplná absence kochleárního aparátu
- Hypoplázie – rozměry kochleárního aparátu a vestibula jsou menší



Vývoj nosní dutiny

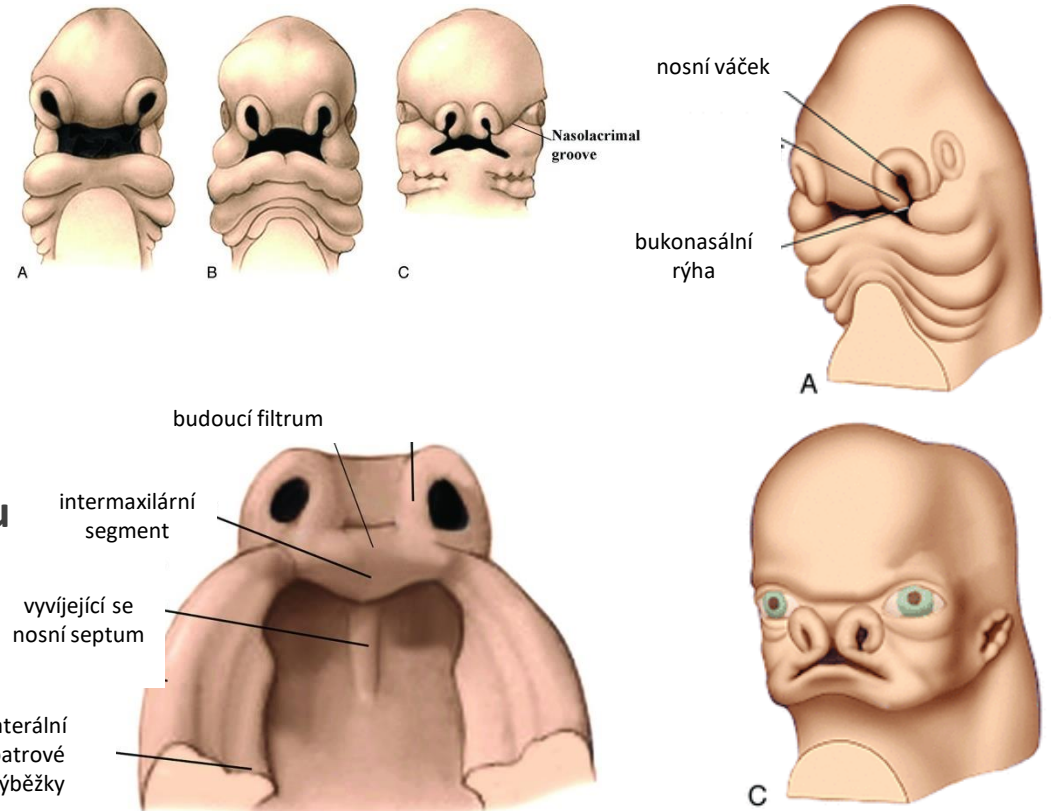
- vznik **nosních plakod** – ektodermální ztlustění, růst epitelu a proliferace mezenchymu okolo plakod
- **prohlubování** plakody – vznik **nosní jamky**, po stranách **laterální nosní prominence**, později vznikají **mediální nosní prominence**
- Prohlubování a protahování nosní jamky – **nosní žlábek**
- Prohlubování nosních žlábků, přibližování ke stomodeu – vznik **nosních váčků**



Som and Naidich, 2013. Am J Neurorad

Oddělení primitivní nosní a ústní dutiny

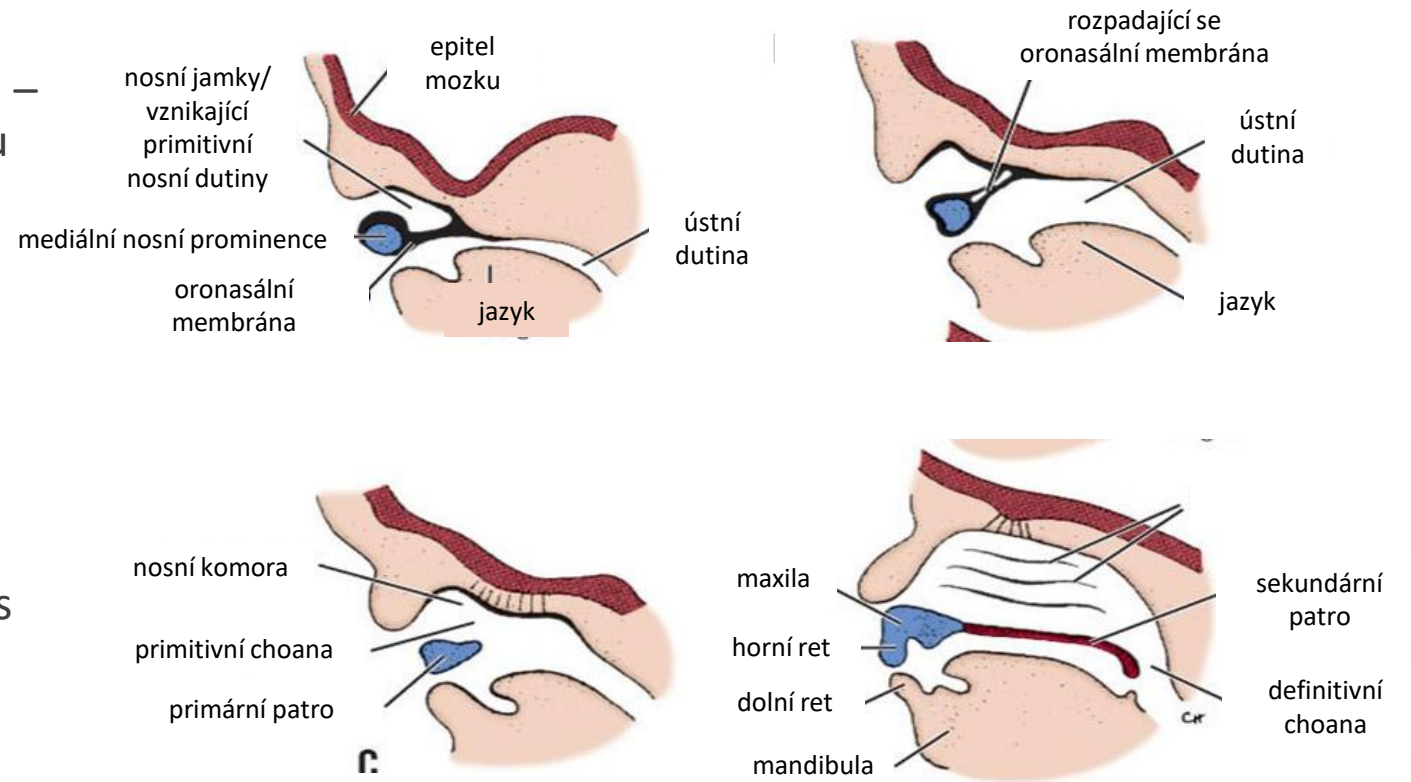
- **maxilární** prominence rostou **mediálně** – tlačení nosních váčků mediálně
- mediální nosní prominence tvoří **intermaxilární segment**
- **uzavírání** prostoru mezi **maxilárními** prominencemi a **mediálními nosními prominencemi** – zaniká **bukonasální rýha** → **uzavření** dolní části **nosního váčku**
- **oddělení** primitivní nosní a primitivní ústní dutiny



Som and Naidich, 2013. Am J Neurorad

Vznik nosní a ústní dutiny

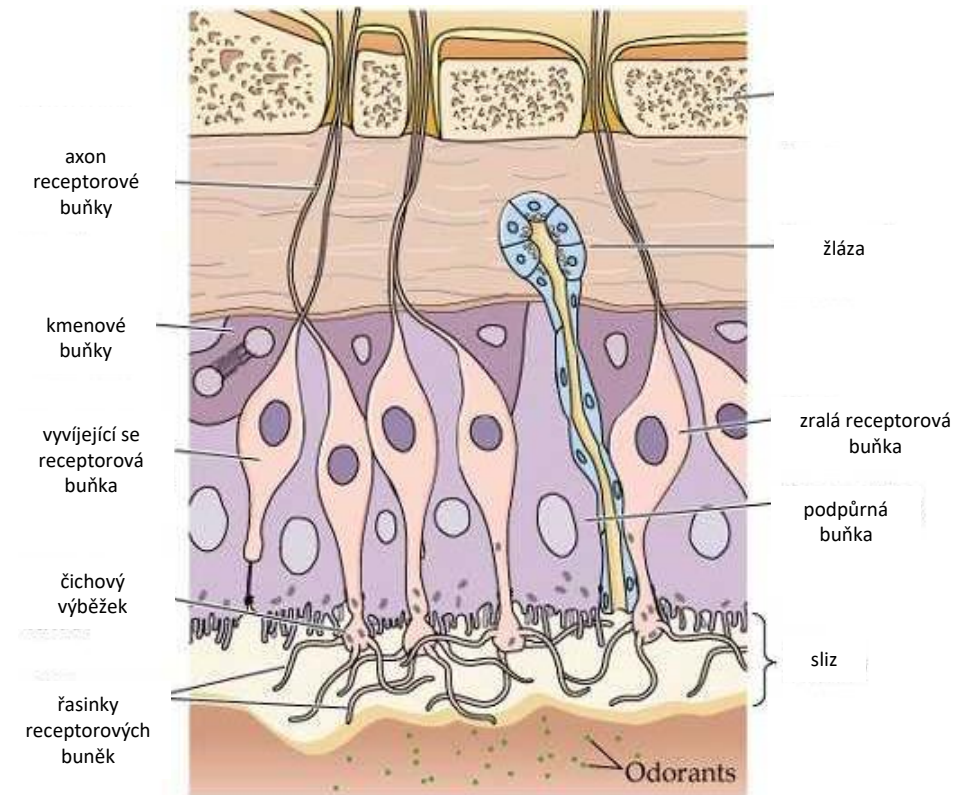
- **epitel** primitivní nosní dutiny **prorůstá** do podkladového **mezenchymu** dorzokaudálně – vznik **oronasální membrány** (spojení epitelu primitivní nosní a primitivní ústní dutiny)
- **dorzálně** diferenciacie **čichového** epitelu
- **rozpad** oronasální membrány
- **komunikace** mezi nosní a ústní dutinou přes **primitivní choany**
- vznik **sekundárního patra** z **maxilárních** prominencí, vznik **definitivní choany** kaudálně



McGraw-Hill, 2006

Rozrůznění čichového epitelu

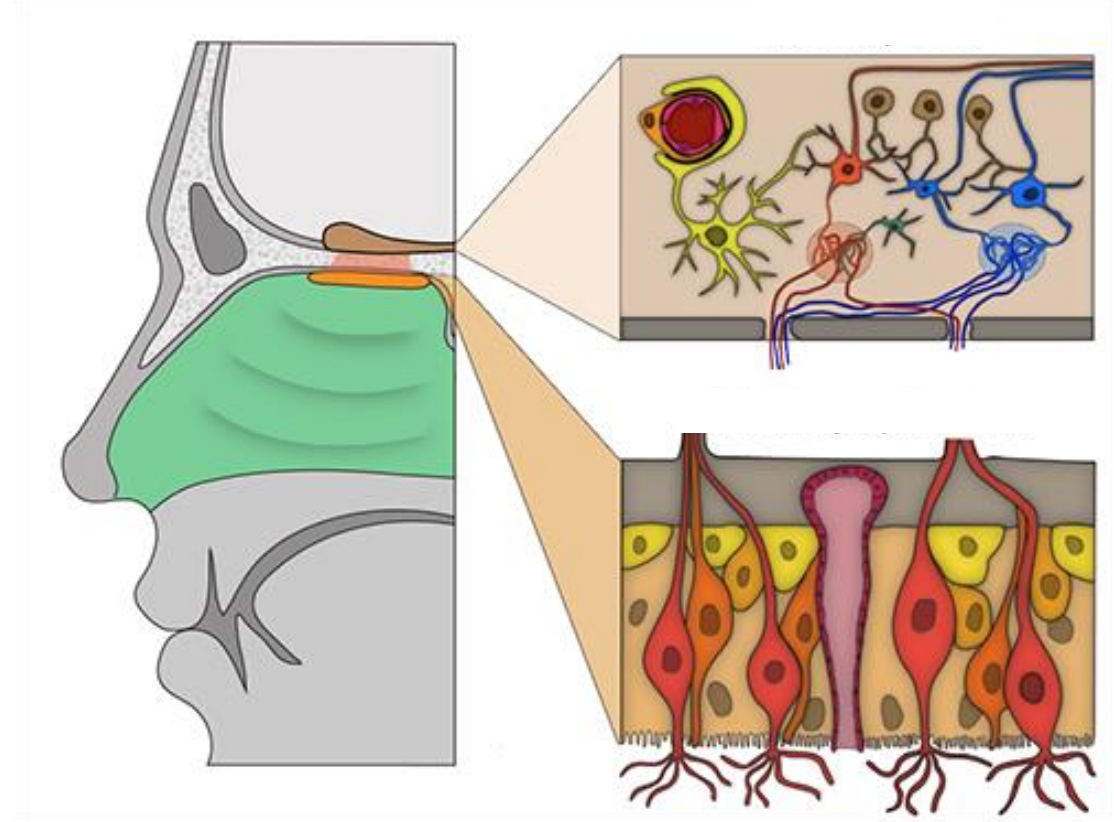
- **дорzální část nosní dutiny** – diferenciace **čichového epitelu**
- **původ ze dvou zdrojů:**
 - **ektoderm** – sensorické bipolární neurony, bazální epitelové buňky
 - **neurální lišta** – krycí (ensheathing) buňky
- **sensorické bipolární neurony:**
 - **1. výběžek** – nosní dutina
 - **2. výběžek** – axon vedoucí do čichového laloku v mozku
- **bazální epitelové buňky** – **kmenové buňky** sensorických čichových neuronů (základ pro vývoj náhradních sensorických buněk)
- **krycí buňky** – **podpůrné** (gliové) buňky sensorických čichových neuronů



Vývojové vady čichového aparátu

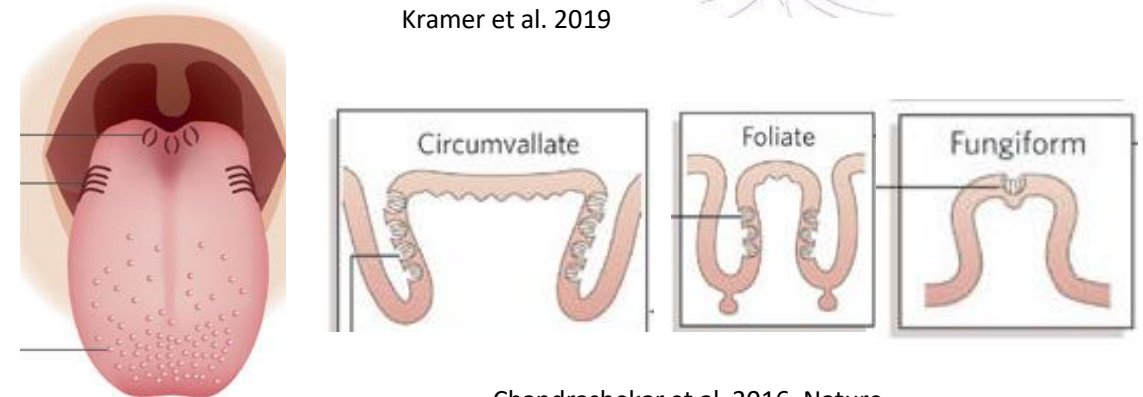
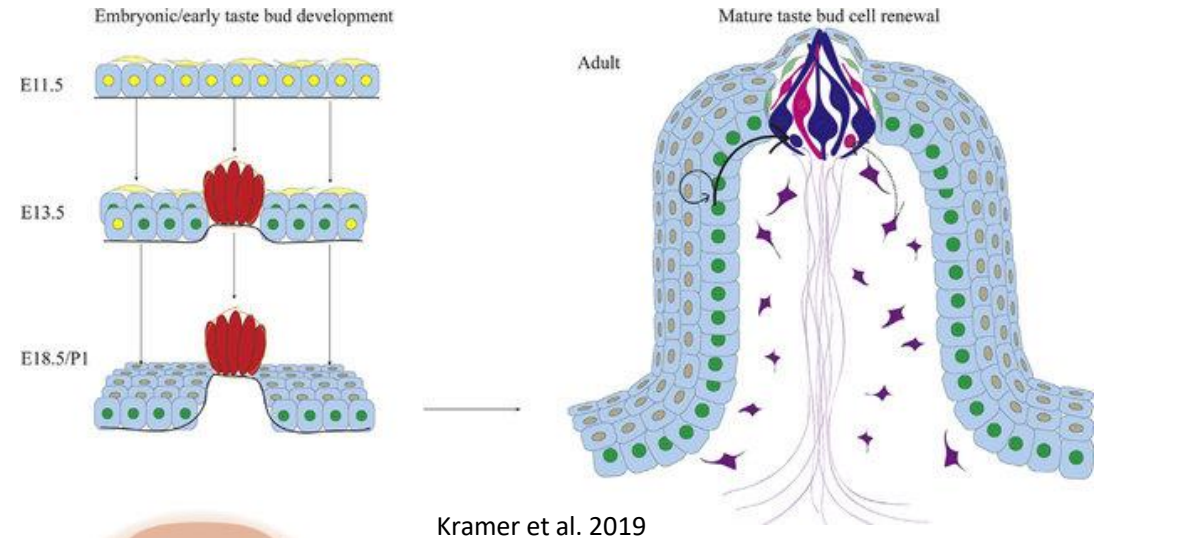
◦ Anosmie/hypoosmie

- narušení vývoje čichového epitelu
- většinou nedochází k diferenciaci z epitelu nosní dutiny
- narušení vývoje komunikace mezi epitelem a mozkiem
- bývá také způsobeno úrazou či infekcemi – schopnost regenerace
- Anosmie – úplné nevyvinutí čichového epitelu
- Hypoosmie – částečné narušení vývoje čichového epitelu



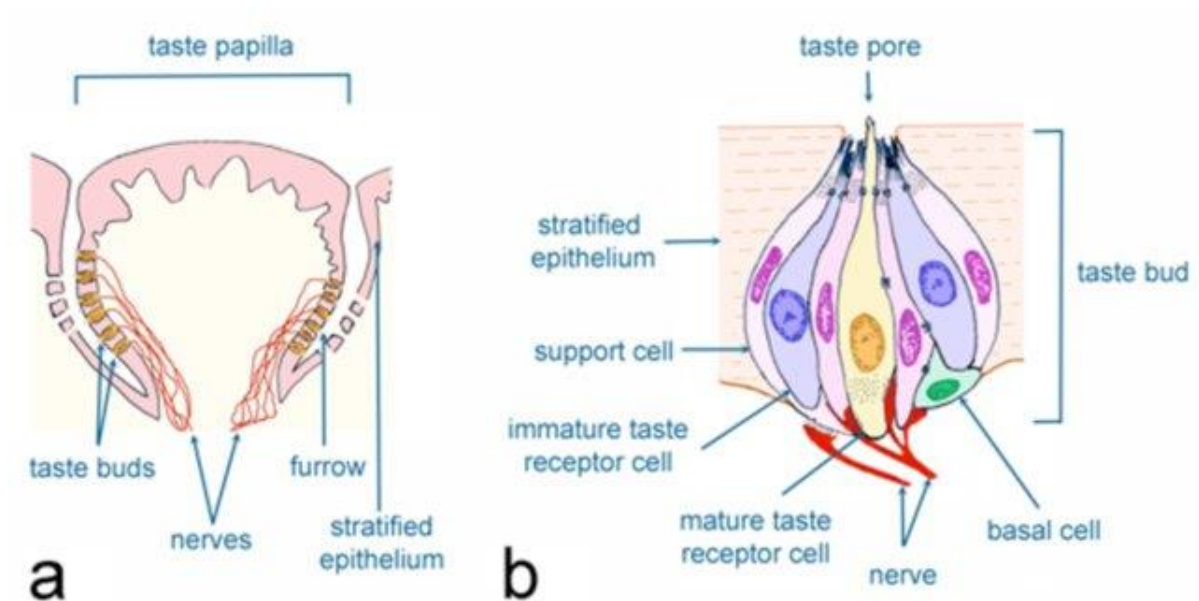
Vývoj chuťového systému

- vznik **chuťových plakod** – ložiska **cylických buněk** v kubickém epitelu jazyka (i v jiných oblastech ústní dutiny) – **invaginace** do podkladového mezenchymu – vznik **chuťové papily**
- **chuťová papila** – mezenchymový podklad obalen epitelem
- buňky plakod a okolní epitelové buňky podstupují morfogenezi a vznikají z nich tvarově různé chuťové papily:
 - **hrozená** (cirkumvalátní) – posteriorní část jazyka
 - **listovitá** (foliátní) – laterální část jazyka
 - **houbovitá** (fungiformní) – anteriorní část jazyka
- epitelové buňky plakod v papilách **diferencují** do **senzorických buněk** a vytvářejí **chuťové pohárky** – nutná přítomnost nervů



Buňky chuťového pohárku

- chuťové pohárky uloženy ve vrstevnatém epitelu, **spojení** pohárku s ústní dutinou **pórem**
- **Receptorové** buňky – jednotlivé typy receptorových chuťových buněk, napojeny na nervová vlákna, diferenciace z ektodermu
- **Podpůrné** buňky – glíím podobné buňky obalují receptorové buňky
 - nejpočetnější
 - vývoj z prekurzorů původem z neurální lišty
- **Bazální** buňky – kmenové buňky chuťových pohárků – možnost obnovy receptorových buněk



Pagella et al. 2014. Cell Mol Life Sci

Poznatky z dnešní přednášky

- Vývoj smyslových orgánů drosophily
- Vývoj postranní čáry vodních živočichů
- Vývoj oka
- Vývoj ucha
- Vývoj čichového epitelu
- Vývoj chuťového aparátu
- Vývojové vady