

VÝVOJ ZUBŮ (odontogeneze)

Člověk (+ většina savců) je diphyodont = má 2 následné dentice

!! Doba vývoje zubu není totožná s prenatálním obdobím vývoje (je delší)

- vývoj zubu je ukončen zformováním celého kořene (vč. *foramen apicis dentis*);
(na rozdíl od tzv. stadia funkce, které začíná, když zub dosáhne okluze a začne být funkčně zatěžován)
- obdobně, **délka života zubu (vitální zub)** nemusí být shodná s délkou života jedince.

Základ obličeje (4. – 7. týden vývoje)

5 výběžků kolem formující se **primitivní dutiny ústní = stomodeum** - zpočátku ohraničeno jednoduchými záhyby obličejových výběžků*

- **frontální** (nepárový), ⇒ (5. týden) z frontálního výběžku → **intermaxilární segment**
- **maxilární a mandibulární** (párové) - deriváty 1. faryngového oblouku

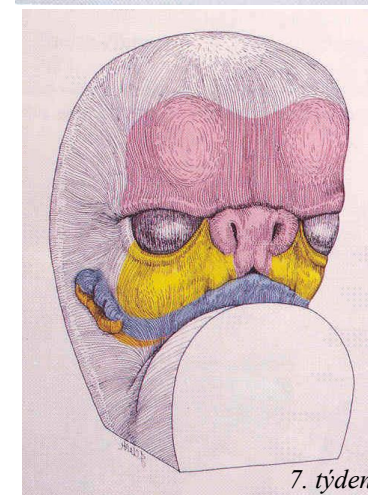
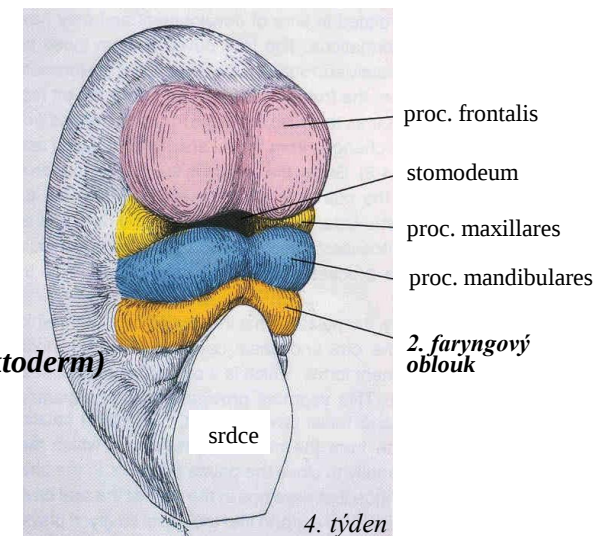
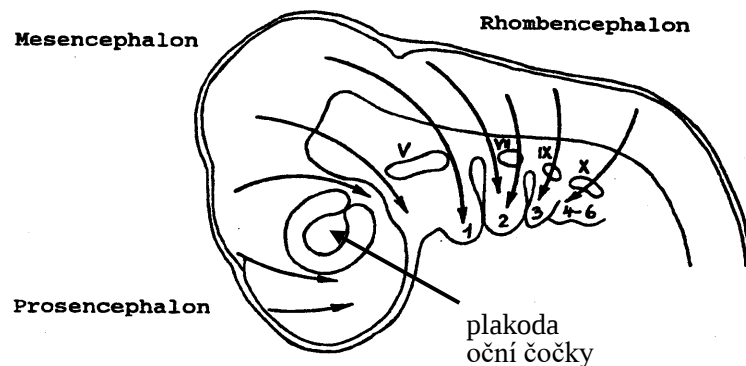
*Výběžky jsou z **obou stran** kryty povrchovým **ektodermem** = **epitel** jednovrstevný **kubický** uvnitř je **mezenchym s ektomezenchymovými bb.** = embryonální **vazivo**

- Důležitá je participace **EKTOMEZENCHYMU** = bb. pocházející a migrující z **neurální lišty (neuroektoderm)**

= základ **PNS** = **pluripotentní neuroepitelové (neuroektodermové) bb.** migrují z dorzální oblasti (kolem střední čáry) neurální trubice → ztrácejí charakter epitelové tkáně a získávají **fenotyp mezenchymových bb.**, které jsou schopny přímé migrace

= hlavní zdroj pro vývoj **komponent vaziva**, vč. **chrupavek, kostí a ligament**;
odontoblastů a cementoblastů acelulárního cementu

MIGRACE BUNĚK NEURÁLNÍ LIŠTY (neuroektoderm – epitel) = EKTOMEZENCHYM



Obličejové výběžky

kryty **ektodermem** (epitel)

→ část, která se podílí přímo na vývoji zubních struktur = **DENTÁLNÍ EKTODERM**

podklad **mezenchym + ektomezenchym**

→ část, která se podílí přímo na vývoji zubních struktur = **DENTÁLNÍ MEZENCHYM**

- **DERIVÁT dentálního ektodermu** (= epitel) → ameloblasty ⇒ sklovinná matrix (ECM) = **SKLOVINA**
- *ektodermový epitel stomodea/dutiny ústní* → **zubní lišta** → **základy zubů** v následujících stádiích vývoje:
stadium pupenu, pohárku, zvonku ⇒ **ORGÁN SKLOVINY**
- **DERIVÁTY dentálního mezenchymu** jsou:

DENTÁLNÍ PAPILA - část mezenchymu + ektomezenchymové bb., která se zhušťuje pod zubním pupenem
⇒ **indukuje** vytvoření (zformování) zubního pohárku, pak zvonku ⇒ 2 části/ vrstvy bb.:

z zevní vrstva bb. = ektomezenchymové bb. → odontoblasty ⇒ produce **ECM DENTINU** (predentinu)

z vnitřní masa buněk = mezenchymové bb. → fibroblasty pulpy ⇒ produce **ECM ZUBNÍ PULPY** (ŘKV)

DENTÁLNÍ VAK (folikul) = zbývající dentální mezenchym + ektomezenchymové bb., který zevně obklopuje zubní pohárek

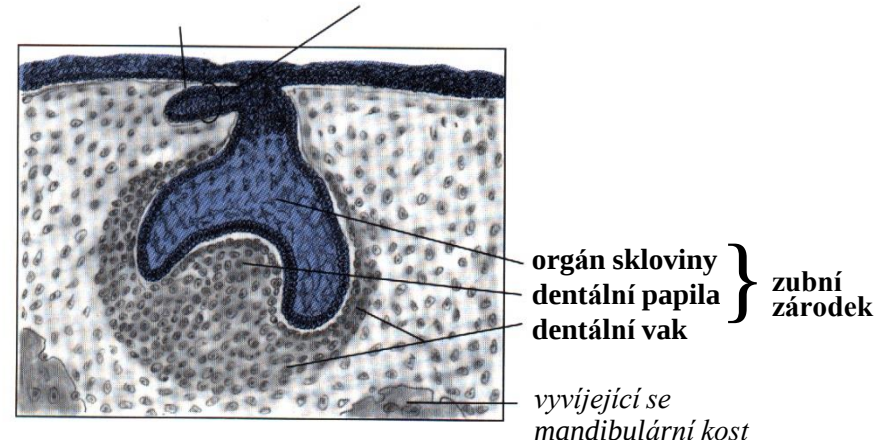
z vnitřní vrstva = ektomezenchymové bb. → cementoblasty ⇒ produkce **ECM (acelulárního) CEMENTU**
(cementoidu/precementu) na kořeni

z střední + zevní vrstva = mezenchymové bb.: (střední vrstva) → fibroblasty ⇒ produce **ECM PERIODONCIA** (KV)

(zevní vrstva) → osteoblasty ⇒ produce **ECM ALVEOLÁRNÍ KOSTI**

(pravděpodobně i) → cementoblasty ⇒ produce **ECM celulárního cementu**

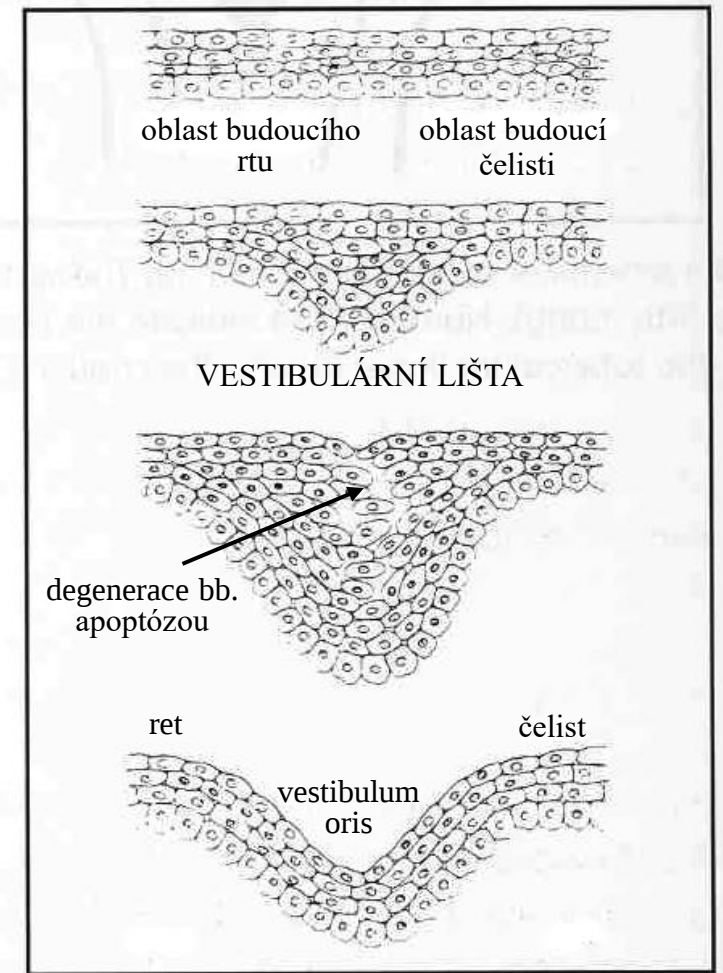
Vývoj zubu je založen
na sérii vzájemných induktivních interakcí
mezi ektodermem (epitel)
a mezenchymem/ ektomezenchymem (vazivo).



VÝVOJ PŘEDSÍNĚ DUTINY ÚSTNÍ a DENTÁLNÍ LIŠTY

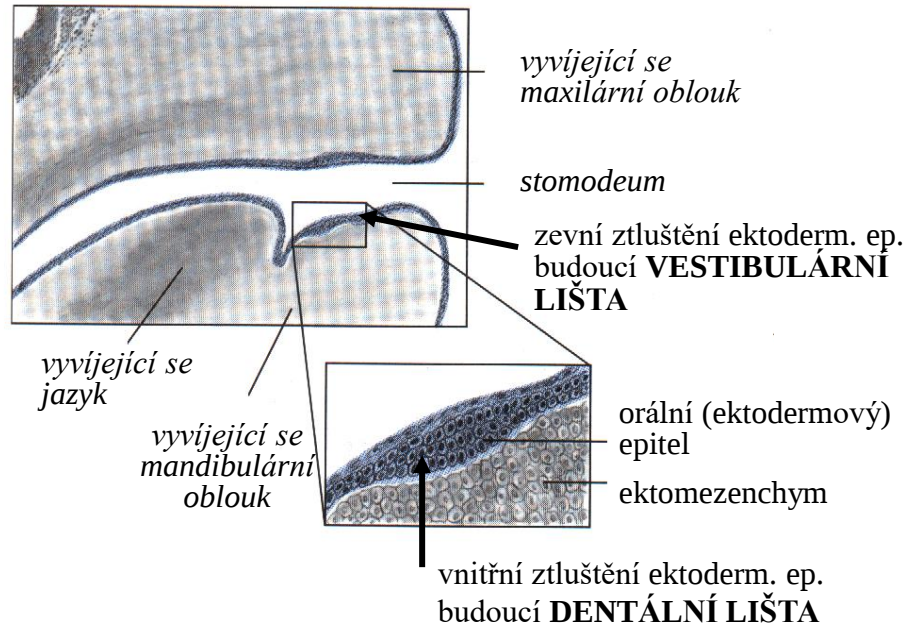
(viz také str. 4, 5)

- v 6. týdnu vývoje se **ektodermový ep. stomodea ztlusťuje** (proliferuje) a **vchlipuje** se do pod ním ležícího mesenchymu
⇒ vytváří se **primární epitelový pruh**
- v 7. týdnu vývoje se tento pruh rozdělí na **2 lišty**:
 - ↘ **bukálně vestibulární lišta** (lamina) ⇒ **vestibulum oris**
(odděluje tváře a dásně od obl. zubů)
 - ↘ **lingválně dentální (zubní) lišta** ⇒ základ pro vývoj **zubů**
- **VESTIBULÁRNÍ LIŠTA**: její ektodermové ep. bb. proliferyjí
→ následně (**apoptózou**) degenerují v centrální části lišty
⇒ vzniká **předsín dutiny ústní** (vestibulum oris)
- **DENTÁLNÍ (ZUBNÍ) LIŠTA**
 - ↘ **primární lišta** → pro **dočasné zuby**
+ stálé 1.-3. moláry = **náhradní zubní lišta**
 - ↘ **sekundární lišta** → pro **stálé zuby**,
které mají své dočasné předchůdce



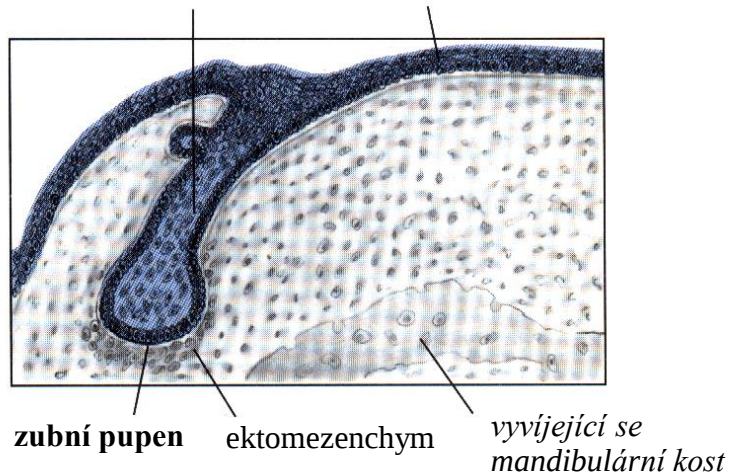
POČÁTKY VÝVOJE ZUBŮ

INICIAČNÍ FÁZE

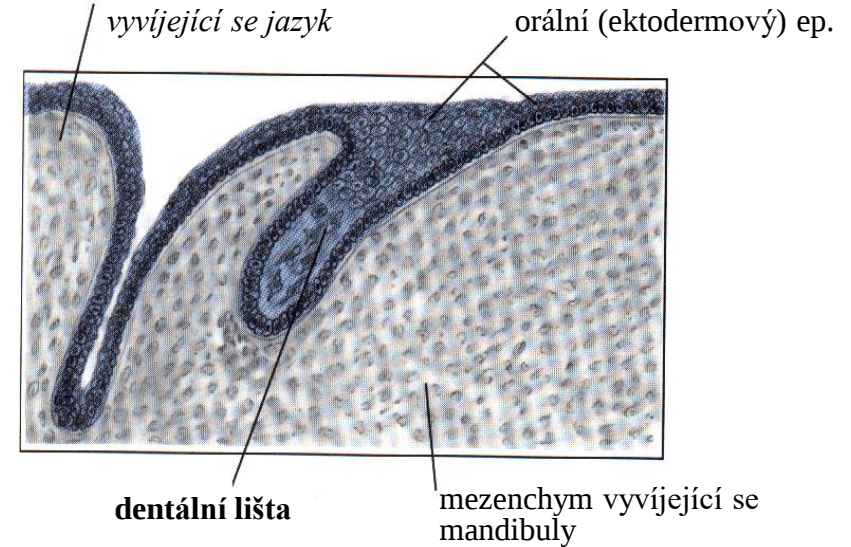


STADIUM PUPENU

PRIMÁRNÍ zubní lišta ep. dutiny ústní

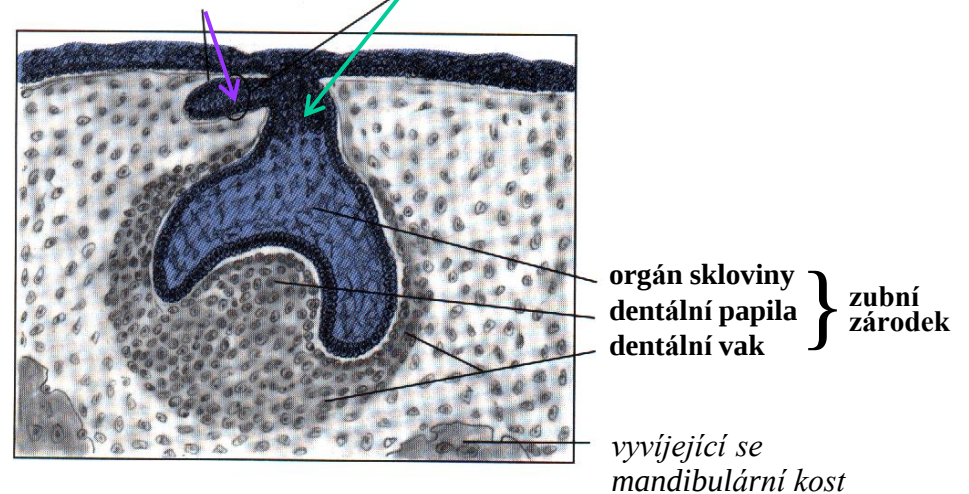


INICIAČNÍ FÁZE



STADIUM ZVONKU - orgán skloviny (začátek vývoje)

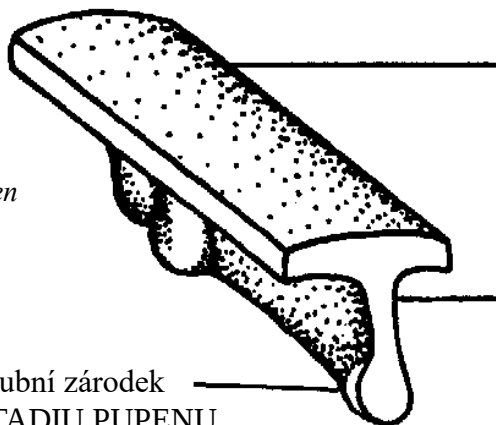
SEKUNDÁRNÍ zubní lišta **primární zubní lišta**



PRIMÁRNÍ a SEKUNDÁRNÍ ZUBNÍ LIŠTA

(6.) – 8. týden

zubní zárodek
ve STADIU PUPENU



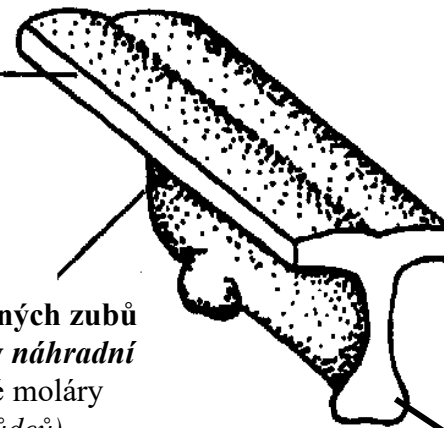
(povrchový)
ektoderm

PRIMÁRNÍ ZUBNÍ LIŠTA

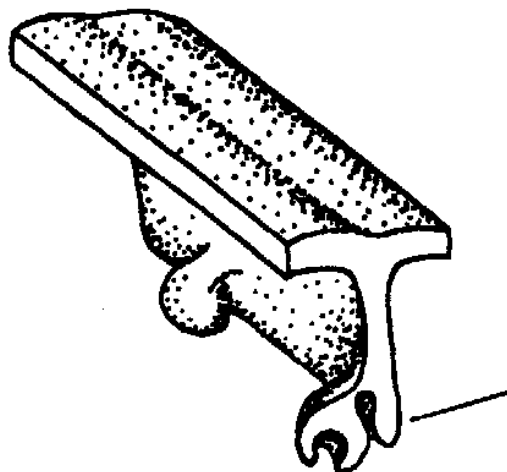
- pro 20 dočasných/mléčných zubů
- prodlužuje se dorzálně v *náhradní zubní lištu* ⇒ 1.-3. stálé moláry
(bez zubních předchůdců)
- celkem 32 zubů v obou čelistech

9. – 10. týden

zubní zárodek
ve STADIU POHÁRKU



12. týden



zanikající primární zubní lišta
(případné zbytky v dásni
= epitelové perly)

SEKUNDÁRNÍ ZUBNÍ LIŠTA

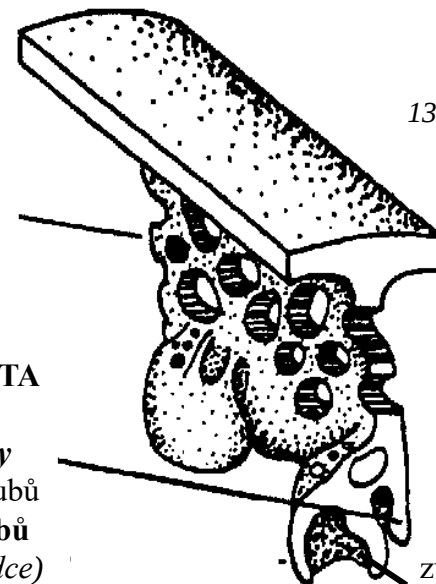
(od 10. týdne vývoje)

= lingválně od primární lišty

- ve 14. týdnu první zárodky zubů
- stálé dentice – celkem 20 zubů
(ty, které mají zubní předchůdce)

13. – 14. týden

zubní zárodek
ve STADIU ZVONKU



Zánik:

primární lišta - ve 14. týdnu

sekundární lišta - ve 28. týdnu

STADIA VÝVOJE ZUBU – *morfologická charakteristika*

- *jsou shodná pro zuby dočasné i stálé*

Stadium pupenu (*8. týden vývoje) – výrazná proliferace (ektodermové i ektomesenchymové složky základu zubu)

- 10 pupenů pro vývoj primární dentice + následně 6 pupenů pro stálé moláry se zakládá v každé čelisti.

Stadium pohárku (*9.-10. týden vývoje) – začátek diferenciací jednotlivých struktur zubního zárodku/ primordia

- orgánu skloviny, dentální papily a dentálního vaku.

Stadium zvonku (*11.-12. týden vývoje) – **orgán skloviny** (ameloblasty)

- **dentální papila** (odontoblasty, pulpa)

- **dentální vak** (cementoblasty, fibroblasty aj. bb. periodoncia)

} ← jejich diferenciací (viz následující body):

- začíná proces **dentinogeneze** a **amelogeneze** v oblasti korunky zubu

- diferencuje i zubní dřeň

- následuje formování základu kořene - **dentinogeneze a cementogeneze**

- formování zubní dřene, periodoncia a zubního alveolu.

Stadium apozice – secernovány jednotlivé zubní tkáně (ve vrstvách/ inkrementech) – dentin, sklovina, cement – dentin a cement ve formě nemineralizované matrix, ale sklovina jako již částečně (*do 30%*) mineralizovaná matrix – nejprve v oblasti korunky, pak i kořene zubu.

Stadium maturace - tvrdé zubní tkáně dokončují svoji mineralizaci (kalcifikaci).

Stadium erupce - prořezání korunky zubu do dutiny ústní

- dokončuje se formování kořene i závěsného aparátu zubu (vč. alveolárního výběžku)

- tvar kořene je určen i tím, zda je zub jednokořenový či vícekořenový

- mléčný zub následně vypadne (spontánně nebo je odstraněn) – a následný stálý zub (pokud je přítomen) začne prořezávat (obvykle lingválně od něho).

Stadium funkce - začíná dosažením okluze, tj. zub vstupuje do funkce,

ale proces vývoje zubu ukončen až dotvořením celého kořene zubu (vč. *for. apicis dentis*);

k menším změnám však dochází po celé období existence vitálního zubu.

Stadium (fyziologické) abraze (obrušování) - pozvolné (fyziologické) obrušování tvrdých tkání zubu v důsledku kousání (díky kontaktu s protilehlými zuby v okluzi).

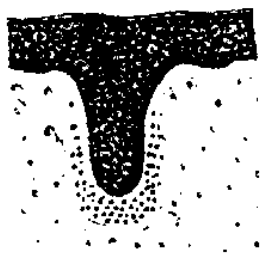
Každý vyvíjející se zub roste jako samostatná anatomická jednotka.

* Toto jsou přibližné časové údaje, týkající se prenatálního vývoje dočasných zubů.

STADIA VÝVOJE ZUBŮ - morfologická charakteristika

6b

7. – 8. týden



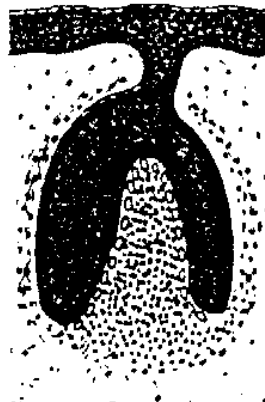
stadium PUPENU

9. – 10. týden



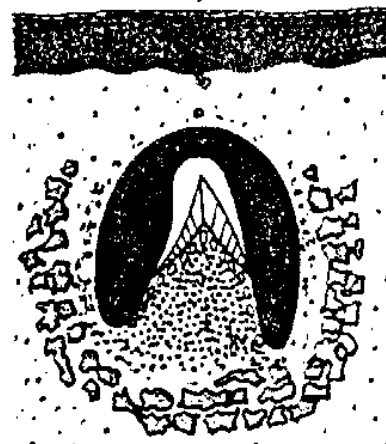
stadium POHÁRKU
(*dentální papila*)

11. – 12. týden



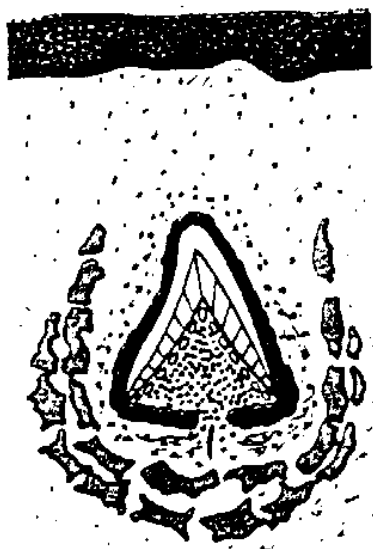
stadium ZVONKU
ORGÁN SKLOVINY

*14. týden



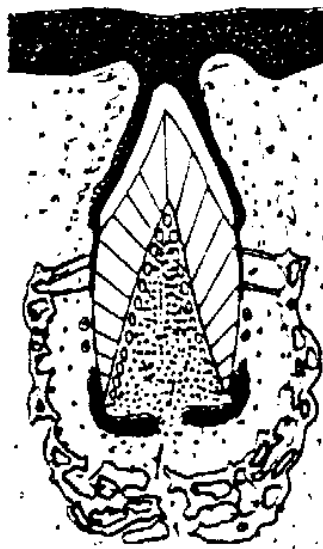
DENTINOGENEZE

*14. týden

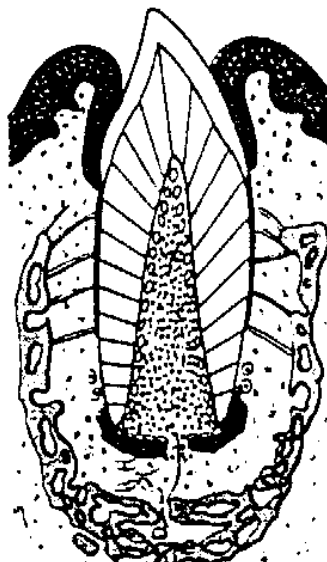


AMELOGENEZE

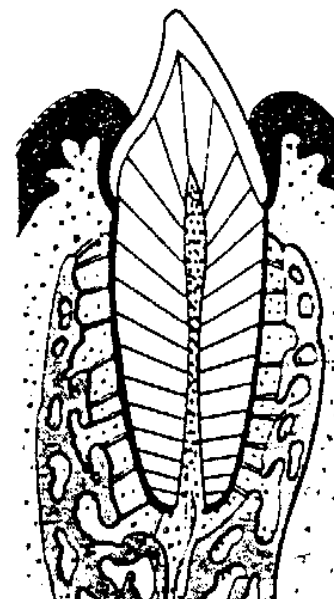
*4. měsíc



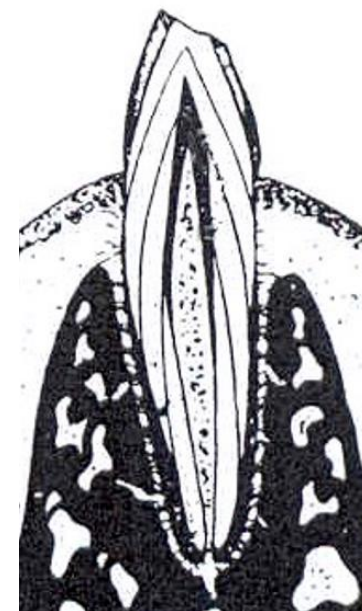
Začátek VÝVOJE KOŘENE
a CEMENTOGENEZE



ERUPCE
(prořezávání)



stadium FUNKCE
+ dokončení
VÝVOJE KOŘENE



stadium
(fyzilogické)
ABRAZE

*Tyto časové údaje se týkají prenatálního období a jsou jen velmi orientační, protože se liší i podle jednotlivých typů zubů.

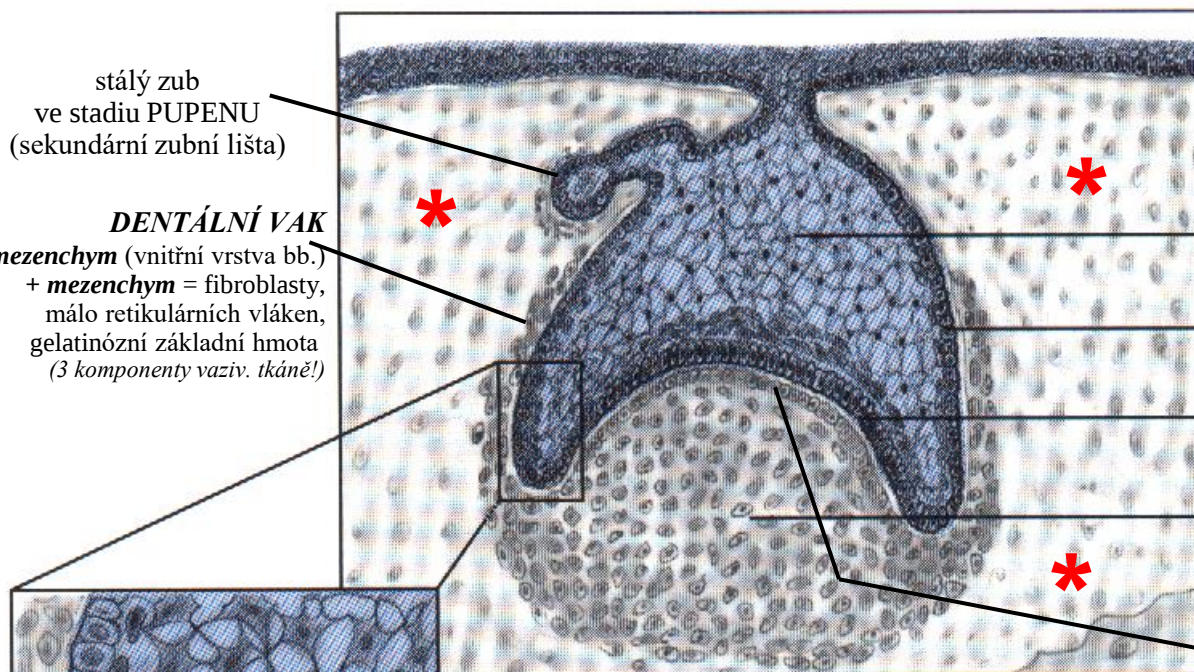
KLINICKÁ STADIA VÝVOJE ZUBŮ

Prof. R. Koberová

- z klinického hlediska má vývoj zubu 7 stadií - nejdou identická se stadii morfologickými !!
 - důležitá z praktického (diagnostického) hlediska (zejména ve vztahu ke stálým zubům) - můžeme je sledovat na rentgenovém snímku
1. - 3. **stadium je pre-eruptivní** - zubní korunka ještě není prořezaná do dutiny ústní a její vývoj sledujeme pouze na RTG snímku
 4. - 7. **stadium je post-eruptivní** - zubní korunka je vyvinuta, prořeže do úst a dokončuje se vývoj kořene
 - opět lze sledovat na RTG snímku a stav vývoje kořene má zásadní význam pro terapeutickou rozvahu, zejména při úrazech a endodontickém ošetření stálých zubů
1. – **stadium zubního váčku (pupenu):** na RTG snímku vidíme oválné projasnění, ohraničené linií alveolární kompaktní kosti;
trvá přibližně 1 rok.
 2. – **stadium počínající mineralizace zubní korunky:** na RTG snímku je patrný počátek mineralizace incizní hrany, resp. jednotlivých hrbolků;
trvá 1 rok.
 3. – **stadium pokročilé mineralizace zubní korunky:** vzniká souvislá mineralizovaná incizní hrana/okluzní plocha, mineralizace postupuje směrem k cemento-sklovinné hranici (krček zubu) a postupně mineralizuje celá korunka;
nejdelší stadium - 4 roky.
 4. – **stadium počáteční tvorby kořene:** zubní kořen je zatím velmi krátký – jeho tvar kopíruje dentální papilu;
trvá přibližně 1 rok.
 5. – **stadium divergence stěn kořenového kanálku:** pokračuje růst kořene - stěny kořenového kanálku jsou tenké a rozbíhavé směrem k apexu, dřevná dutina je výrazně široká; poměr délky korunky a kořene je 1 : 1;
trvá asi 1 rok.
 6. – **stadium paralelity stěn kořenového kanálku:** kořen zubu dosahuje téměř své konečné délky, stěny kořenového kanálku jsou paralelní, vrstva tvrdých tkání, tvořících kořen, zesílila; foramen apicis dentis ještě široce komunikuje s periodontálním prostorem;
trvá 1 rok.
 7. – **stadium konvergence stěn kořenového kanálku:** kořen dosáhl definitivní délky, stěny kořenového kanálku se směrem k apexu sbíhají, ale apikální otvor ještě není zcela vymezen; v krajině apexu se začínají tvořit ramifikace kořenového kanálku;
trvá 1 rok.

ORGÁN SKLOVINY

v časném stadiu, tj. před tím,
než začne amelogeneze
stadium pohárku → zvonku



* Okolní mezenchym
= vazivo s cévami

DENTÁLNÍ VAK
- *ektomezenchym* (vnitřní vrstva bb.)
+ *mezenchym* = fibroblasty,
málo retikulárních vláken,
gelatinózní základní hmota
(3 komponenty vaziv. tkáně!)

retikulární epitel

zevní sklovinný epitel

vnitřní sklovinný epitel

DENTÁLNÍ PAPILA = *ektomezenchym* + *mezenchym*,
tj. fibroblasty, málo retikulárních vláken
a gelatinózní základní hmota (3 komponenty vaziv. tkáně !)

↓
odontoblasty = z ektomezenchymových bb.
na zevním povrchu papily

4 VRSTVY:

② **RETIKULÁRNÍ EPITEL**

③ **STRATUM INTERMEDIUM**
(epitelové bb.!!)

④ **VNITŘNÍ SKLOVINNÝ EP. (VSE)**

BL ektodermového epitelu

zevní buňky dentální papily

centrální buňky dentální papily

CERVIKÁLNÍ KLIČKA = přechod
mezi zevním a vnitřním sklovinným ep.
= nediferencované, mitoticky velmi aktivní bb.
⇒ (později) základ pro vývoj kořene zubu

Každá vrstva má v procesu AMELOGENEZE specifickou FUNKCI:

1. **Zevní sklovinný epitel** – od okolního mezenchymu ohraničen svojí BL (tj. BL původního ektodermového epitelu stomodea);
představuje ochrannou bariéru a udržuje tvar celého org. skloviny.
2. **Retikulární epitel** (hvězdicovité bb. + široké mezibuněč. prostory, vyplněné tkáňovou tekutinou) - *pravděpodobně mechanická „pružná“ ochrana VSE, čímž přispívá k normálnímu vývoji bb. VSE; v konečném stadiu (redukováný sklovinn. ep.) i transport látek/živin.*
3. **Stratum intermedium** (2-3 vrstvy plochých epitel. bb., snad původem z bb. VSE) – *předpokládá se jeho podíl na transportu látek do a z bb. VSE.*
4. **Vnitřní sklovinný epitel** → preameloblasty → **ameloblasty**
⇒ produkce sklovin. matrix
⇒ přítomnost preameloblastů indukují zahájení diferenciace preodontoblastů → odontoblastů → produkce predentinu

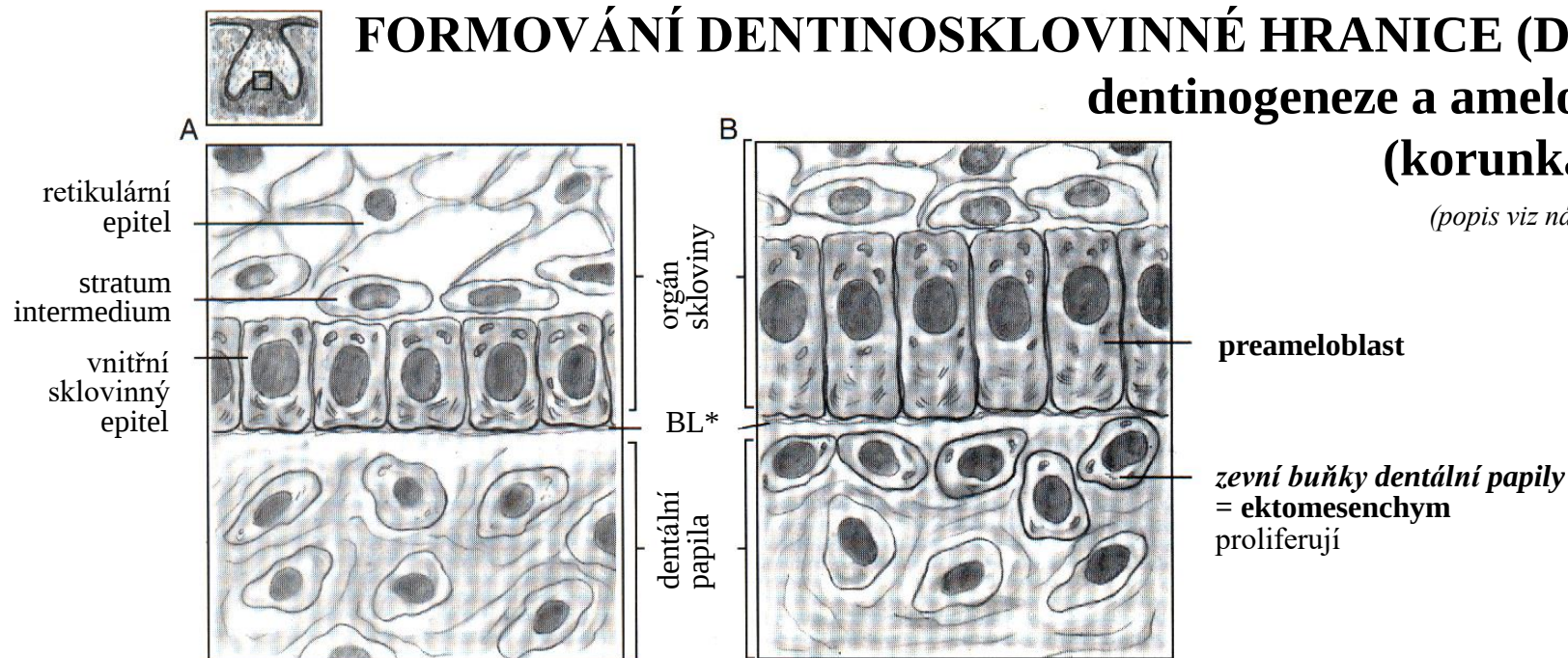
① **ZEVNÍ SKLOVINNÝ EPITEL (ZSE)**

FORMOVÁNÍ DENTINOSKLOVINNÉ HRANICE (DSH) – I

dentinogeneze a amelogeneze

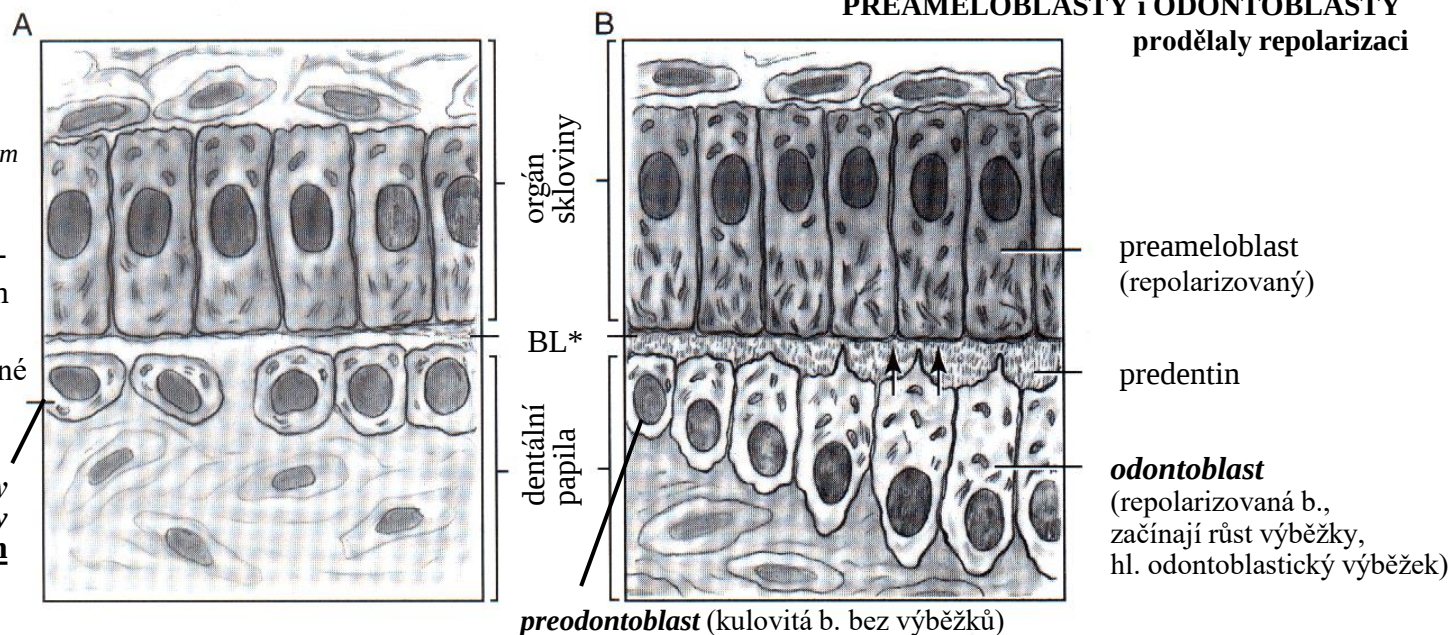
(korunka zubu)

(popis viz následující str.)



* BL – původně ektodermového ep.,
pak vnitřního (a zevního) sklovin. ep.
- po vyprodukování predentinu
se začíná rozpadat (*) (*degradace enzymem
matrix metaloproteinázou 2, produkovanou
preameloblasty i odontoblasty*)
→ to umožní přímý kontakt preameloblastů s nově vytvořeným predentinem
⇒ maturace v ameloblasty
→ začátek produkce (apozice) sklovinné matrix

*zvní buňky
dentální papily
= ektomezenchym*

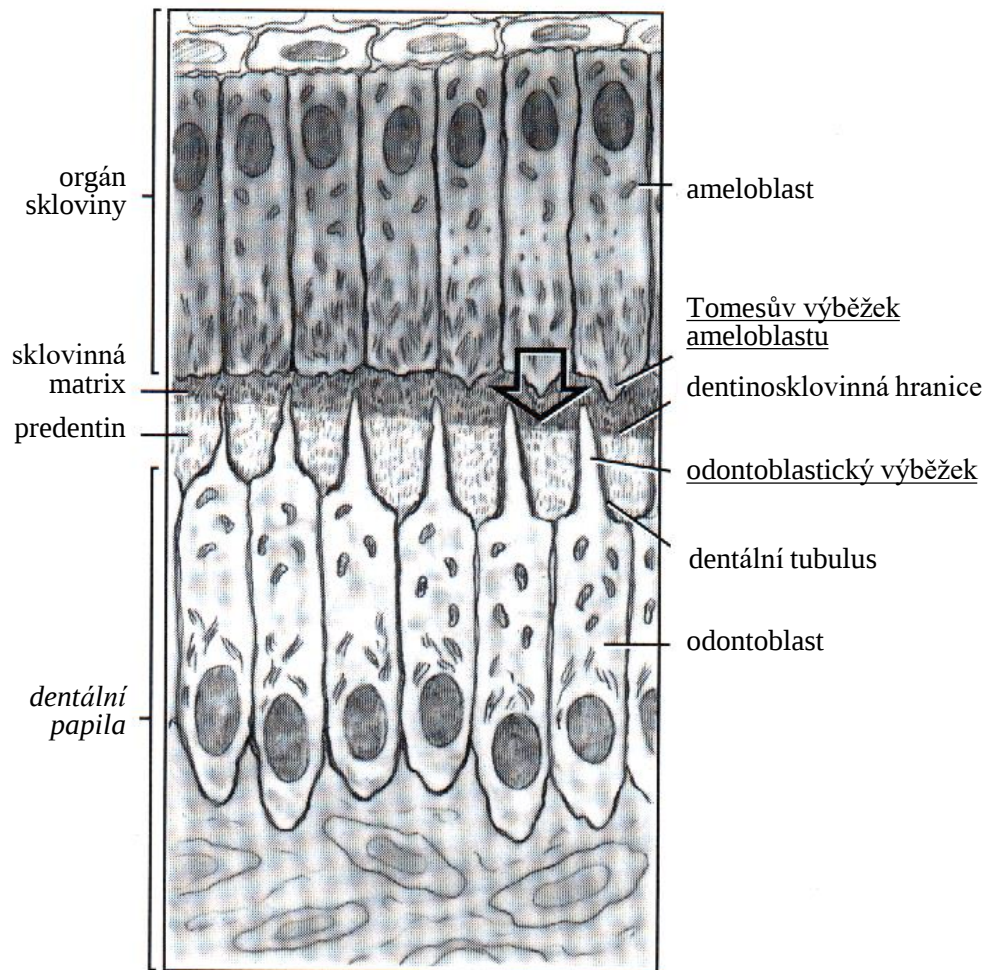
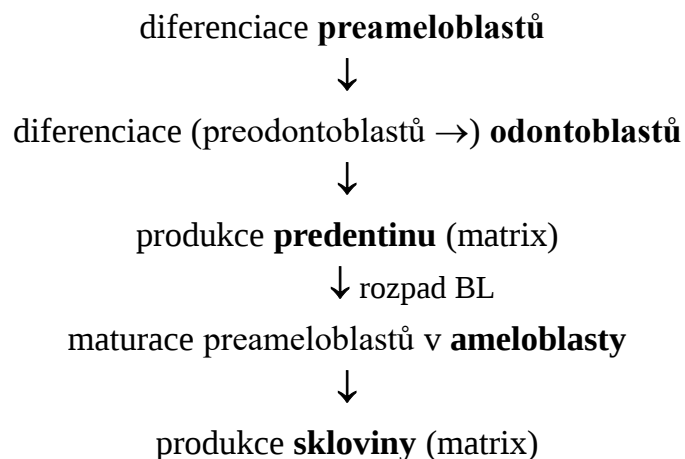


PREAMELOBLASTY i ODONTOBLASTY
prodělaly repolarizaci

FORMOVÁNÍ DENTINO-SKLOVINNÉ HRANICE - pokrač.

- **buňky dentální papily** (které jsou v kontaktu s BL VSE) indukují diferenciaci buněk vnitřního sklovin. ep. **v preameloblasty** (předchozí strana obr. B1)
- preameloblasty pak indukují diferenciaci **preodontoblastů** (ze zevních ektomezenchymových bb. dentální papily – A2) – obojí bb. prodělají repolarizaci
- preodontoblasty vyvíjejí v **odontoblasty** ⇒ polarizované bb. s rostoucími výběžky, zejména apikální odontoblastický výběžek → začnou produkovat **preentin** (B2)
- **rozpad BL** → přímý kontakt preameloblastů s preentinem → preameloblasty následně vyvíjejí v **ameloblasty** (Tomesův výběžek) → které začnou produkovat **sklovinnou matrix**

! (ZJEDNODUŠENÉ) SCHÉMA PROCESU



Dentinsklovinná hranice (DSH)

- je to místo kontaktu sklovinné matrix s preentinem (po rozpadu BL)
- **odontoblasty i ameloblasty** se v průběhu odontogeneze a amelogeneze **od sebe oddalují** („ustupují“ před svými produkty)
- ⇒ proto je **na DSH nejstarší dentin (primární) a nejstarší sklovina**
- v dotvořeném zubu představuje DSH velmi pevné spojení mezi dentinem a sklovinou díky přestupu krystalů hydroxyapatitu, kolagenních vláken a konců odontoblastických výběžků z dentinu do skloviny

FORMOVÁNÍ KORUNKY ZUBU: DENTINOGENEZE A AMELOGENEZE

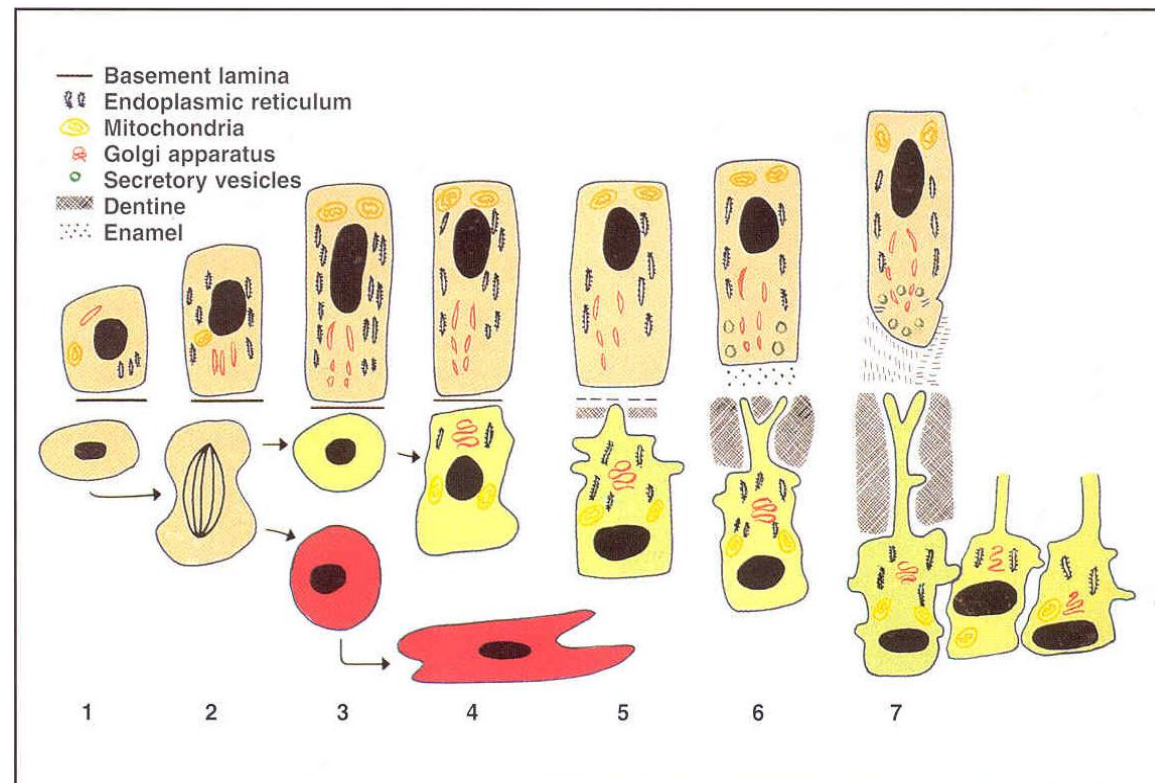
FORMOVÁNÍ KORUNKY ZUBU (viz obr. str. 12)

- jako první je produkována **dentinová matrix = predentin** (následně po vydiferencování odontoblastů: z ektomezenchym. bb. dentální papily → preodontoblasty → odontoblasty) – nejprve v tenké vrstvičce (plášťový dentin) na vrcholu kousacích hran/hrbolků
- pak začíná produkce (již částečně mineralizované) **sklovinné matrix** – opět nejprve na vrcholu kousacích hran/hrbolků
- produkce skloviny výrazně zvětší velikost korunky zubu
- sklovina v **oblasti krčku** zubu se formuje a mineralizuje jako poslední, proto je zde nejtenčí (snazší vznik kazu !!!)

DENTINOGENEZE

Diferenciace preodontoblastů a maturace v odontoblasty

- **zevní bb. dentální papily (ektomezenchym)** začnou proliferovat
 - některé z těchto dceřiných bb. migrují do hloubky pod vrstvu budoucích odontoblastů (obr. 1, 2-4) a představují pool nediferencovaných KB pro linii odontoblastů
 - ostatní se diferencují v **preodontoblasty** (v 1 vrstvě) (obr. 3,4), které se ještě dále opakovaně dělí
 - pouze ty preodontoblasty, které jsou v kontaktu s BL se dále mění v odontoblasty → protahují se v cylindrické bb., na povrchu směrem k BL se objevuje **odontoblastický výběžek** + další krátké výběžky (obr. 5)
 - **po repolarizaci odontoblastů** (přesun jader směrem k pulpě a přeorganizování celé b., které vede k její obrácené polaritě, protože b. může uvolňovat sekret/matrix pouze svým apikálním pólem)
- ⇒ stávají se **sekrečními bb.**, které začnou produkovat dentinovou matrix = **predentin** (obr. 6,7)



FORMOVÁNÍ KORUNKY ZUBU: DENTINOGENEZE A AMELOGENEZE

→ STADIUM APOZICE

DENTINOGENEZE - 2 fáze:

1. fáze: **produkce** dentinové matrix s kolagenními vlákny (kolagen typ I)

= **predentin** (viz formování DSH)

- nejprve je produkována tenká vrstva plášťového dentinu;
- když se vytvoří odontoblastický výběžek, začíná produkce cirkumpulpálního dentinu

2. fáze: **mineralizace** predentinu

= ukládání hydroxyapatitových krystalů na povrch i dovnitř kolagenních vláken (podél fibril) – tyto krystaly rostou a množí se

→ postupné zvyšování mineralizace ⇒ **predentin se mění v dentin**

- ukládání minerálů začíná v plášťovém dentinu (*specifický proces - matrixové vezikuly*)
- v cirkumpulpálním dentinu je to ve formě globulí (kalkoglobule)
 - ty spolu postupně splývají (→ nepravidelná, zvlněná hranice mezi dentinem a predentinem)
- dentin je produkován v denních intervalech = **inkrement** (v období vývoje korunky cca 4 $\mu\text{m}/\text{den}$, po prořezání 1 $\mu\text{m}/\text{den}$) ⇒ **inkrementální linie**

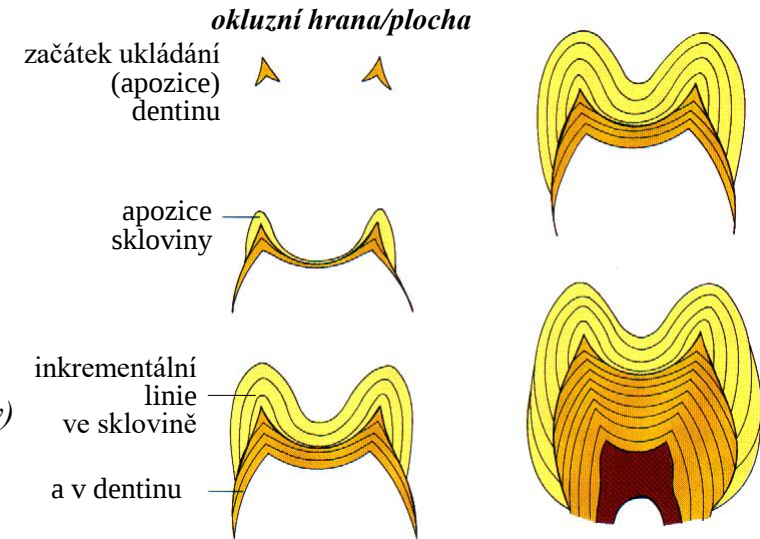
• Těla **odontoblastů** zůstávají mimo dentinovou matrix/predentin (v pulpě)

- ale jejich **odontoblastické výběžky** zůstávají ve vyprodukované matrix, prodlužují se a kolem nich se vytvářejí dentální tubuly
 - začíná formování intertubulárního a následně i peritubulárního dentinu

• **Apozice dentinu** také **zmenšuje dřeňovou dutinu**

- nejen v období dentinogeneze (primární dentin), ale během celého období vitálního zubu (sekundární dentin)
- zmenšování dřeň. dutiny vede k natěsnání odontoblastů na menší prostor, což je i důvodem toho, že v blízkosti pulpy je v sekundárním dentinu cca dvojnásobek odontoblast. výběžků/ dent. tubulů na jednotku plochy (1mm^2) než u DSH.

✓ U obou tkání, **dentinu i skloviny**, je **matrix** ukládána **nejprve na okluzních hranách/ plochách**.

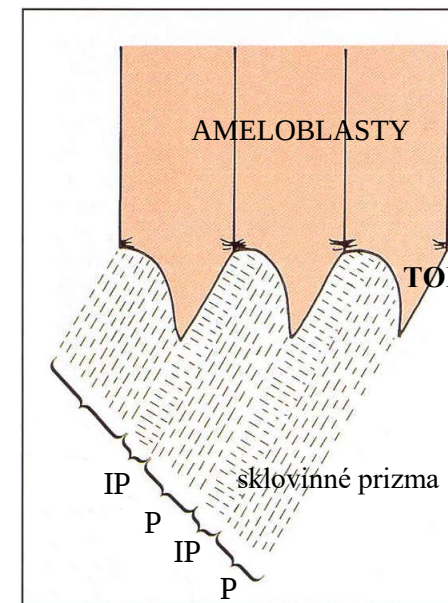
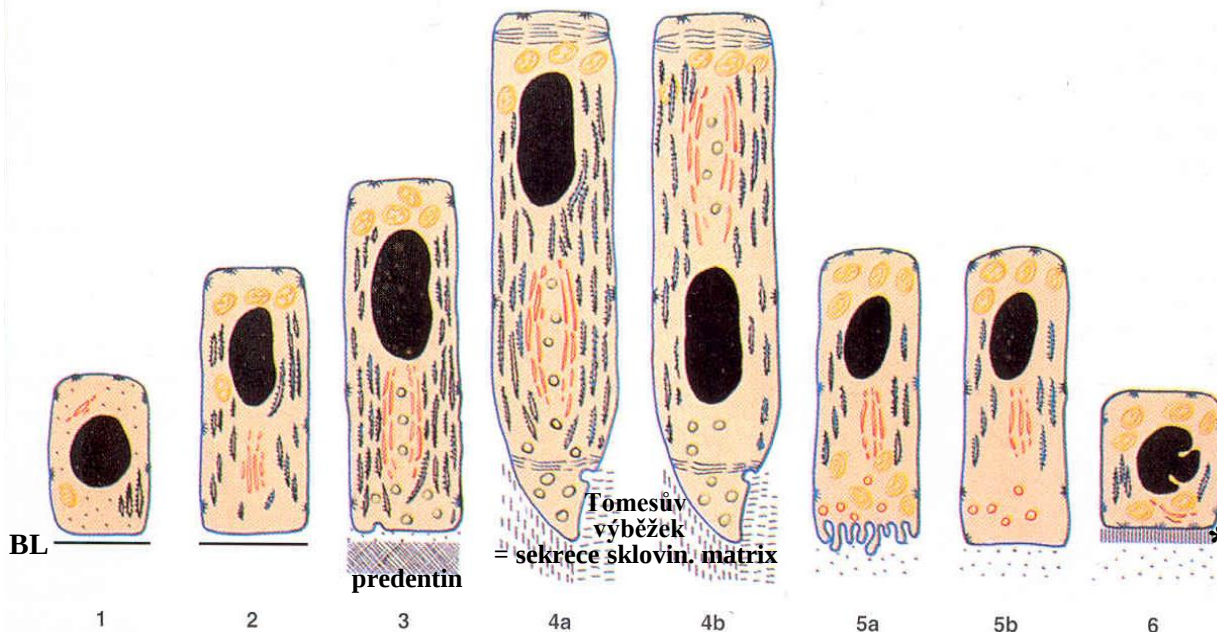


Odontoblasty exprimují geny nejen zodpovědné za produkci specializované dentinové matrix (proteinů) – predentinu – ale pravděpodobně zodpovědné i za morfogenezi (vývoj tvaru) zubů (morfogeny), které určují, zda se zub vyvine do podoby řezáku, špičáku nebo moláru.

AMELOGENEZE

Stadia životního cyklu AMELOBLASTŮ:

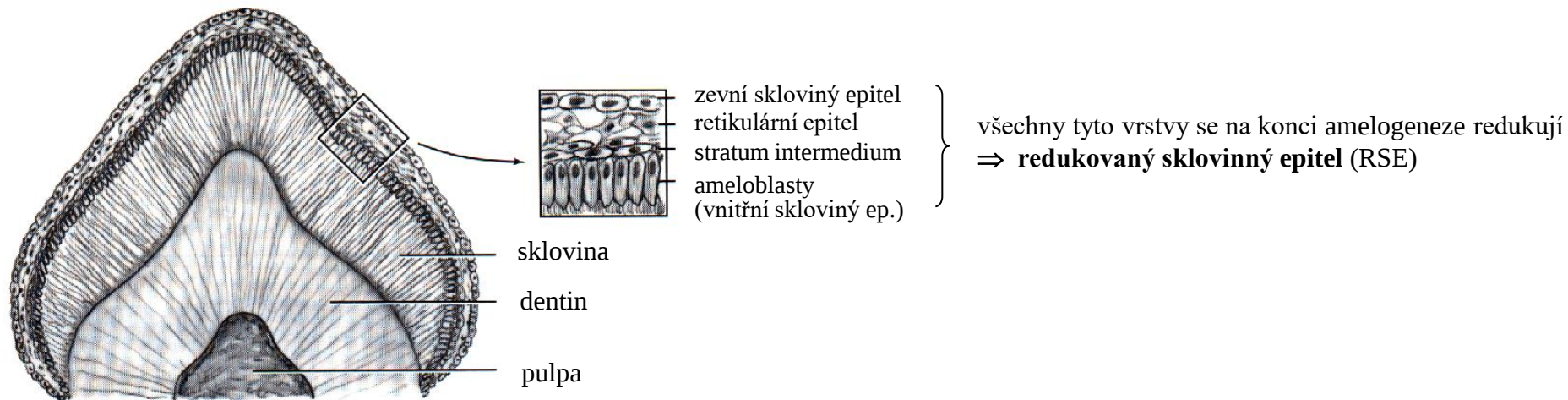
1. **Diferenciace preameloblastů - z bb. vnitřního sklovinného ep. (1) (dentální ektoderm)**
 2. **Přeměna (maturace) v ameloblasty = mění se v protáhlé cylindrické bb. + vytvoří se apikální *Tomesův výběžek* (směřuje k DSH!)**
 ⇒ a **sekrece sklovinné matrix** již **částečně** (asi z 25%) **mineralizovaná !!** – 1 ameloblast = 1 **sklovinné prizma** (4a, b)
 - ameloblasty **vyprodukují celou tloušťku skloviny** → **vymizení Tomesova výběžku** ⇒ **následně již nemůže být sklovina produkována**
 3. ⇒ ameloblasty bez Tomesova výběžku ještě vyprodukují vrstvičku aprismatické skloviny (asi 50% ameloblastů zanikne apoptózou)
 4. **Maturace (vyzrávání) skloviny = přeměna málo mineralizované skloviny v maximálně mineralizovanou tkáň**
 = **cyklický/ periodický proces** - zredukované **ameloblasty** (5 a,b) postupně, **v několika vlnách** (5-7x), **odnímají z** vyprodukované **sklovinné matrix vodu a organické látky a nahrazují je hydroxyapatitem** → maximálně mineralizovaná tkáň - cca 96 % minerálů
 5. **Postmaturační/ protektivní stadium = zkrácené ameloblasty** (6) ještě vyprodukují tzv. primární kutikulu (*) = obdoba BL
 ⇒ vytváření **ochranné vrstvy** na povrchu skloviny (zredukovaný sklovinný ep.) pro fázi prořezávání zubu – viz následující str.
- **Po ukončení vývoje skloviny je možná remineralizace drobných povrchových defektů skloviny pouze ze slin**
 - to umožňuje reparaci pouze malých povrchových defektů!



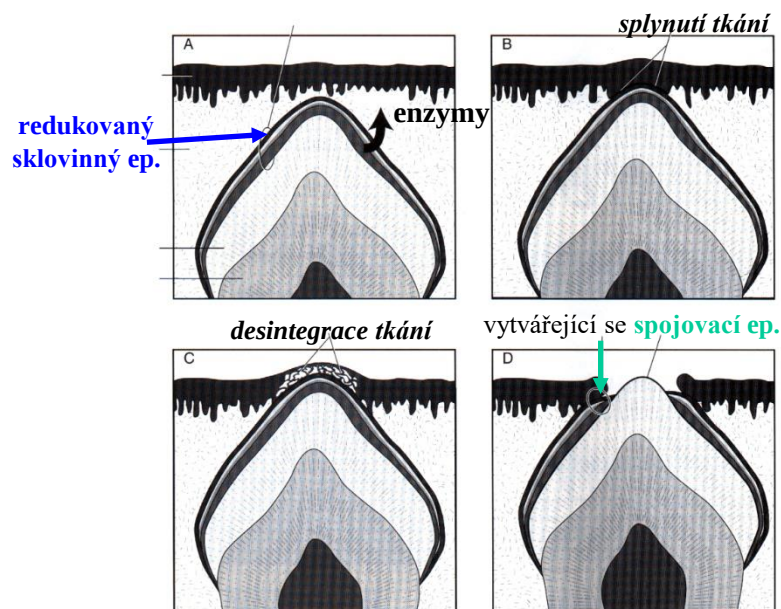
TOMESŮV VÝBĚŽEK
 je odpovědný za ukládání
 (apozici) prizmatické (P)
 i interprizmatické (AP)
 složky sklovinné matrix
 (naváděcí faktor)

5. Postmaturační (protektivní) stadium

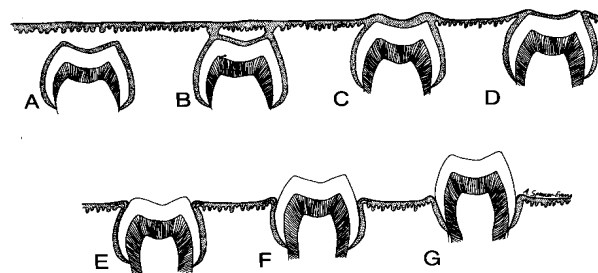
- Zbývající ztenčené vrstvy buněk orgánu skloviny (zevně od primární kutikuly!) = **redukovaný sklovinný epitel** (jeho přítomnost signalizuje začátek erupce zubu) – obrušuje se během prořezávání zubu ⇐ **ochrana povrchu skloviny během prořezávání zubu**
 ← poškození této bariéry → mesenchymové bb. dentálního vaku se dostanou do přímého kontaktu s povrchem skloviny
 ⇒ jejich diferenciaci v cementoblasty a produkce cementu !!!



Ameloblasty vymizí během prořezávání zubu ← existují **pouze v době vývoje korunky zubu.**



- Při prořezávání zubu do dutiny ústní se RSE spojuje s vrstev. dlaždicovým ep. gingivy
 ⇒ po prořezání korunky tvoří **primární spojovací ep.** = základ dentogingiválního spojení (v obl. krčku) → následně je vytvořen **definitivní spojovací ep.**
- RSE se postupně ztenčuje → po dosažení okluze se rychle obrušuje a vymizí
 ⇒ obnažená primární (dentální) kutikula se brzy pokrývá (slinnou) **pelikulou**
 = tzv. **získanou kutikulou**
 → postupně osídlena mikroorganismy dutiny ústní ⇒ měkký **plak** (→ zubní kámen/ kalkulus)



VÝVOJ KOŘENE ZUBU

❖ **Začíná** po dotvoření tvaru korunky, kdy je zub připraven k prořezávání

- **Cervikální klička** orgánu skloviny = *tvořená pouze zevním a vnitřním sklovinným epitelem - nediferencované bb. s vysokou proliferační aktivitou* ⇒ je zodpovědná za formování kořene zubu ← intenzivní proliferací (dělením) buněk se prodlužuje ⇒ **epitelová (Hertwigova) kořenová pochva***:

- **Indukuje formování** kořenového dentinu (pokračování dentinu korunky)
- Volný konec kořenové pochvy se stáčí (v úhlu asi 90°, následně 45°) směrem dovnitř ⇒ **epitelová diafragma = struktura identická s Hertwigovou pochvou** = *je to pokračování H. pochvy pouze se ohýbá v úhlu 90° (45°)* ← dokončí vytvoření kořene během prořezávání
- **Určuje tvar, délku, směr růstu** kořene/kořenů zubu a jejich **počet** (jednokořenové/ vícekořenové)
← ohraničuje apikálně dřevnou dutinu a proliferace těchto bb. umožňuje dotvoření kořene zubu

! **Epitelová Hertwigova pochva se poměrně brzy rozpadá** (po vyprodukování vrstvičky dentinu) ← (ale *již existuje epitelová diafragma*)

→ to **umožní přímý kontakt buněk dentálního vaku** s již vyprodukovanou **vrstvičkou kořenového predentinu**

⇒ to indukuje diferenciaci precementoblastů (*z ektomezenchymových, resp. mezenchymových bb. vnitřní vrstvy dentálního vaku*) a jejich maturaci v **cementoblasty**

→ začnou **produkovat cementoid** (*nemineralizovanou cementovou matrix*)

! **Epitelová diafragma se postupně prodlužuje** (proliferací buněk) směrem k apexu zubu,

ale **zároveň na opačném (kraniálním) konci degeneruje**

→ diafragma **přetrvává až do definitivního zformování kořene**, což umožňuje prodlužování kořene atd.

❖ Vývoj kořene je dokončen teprve **za několik měsíců až let od začátku prořezávání korunky zubu.**

DENTINOGENEZE v oblasti kořene zubu

▪ **Proces totožný s dentinogenezí v oblasti korunky:**

- buňky vnitřního sklovinného epitelu kořenové epitelové (Hertwigovy) pochvy (s BL) indukují diferenciaci zevních buněk dentální papily v preodontoblasty → vyžívají v **odontoblasty** ⇒ produkce **predentinu**

▪ po vyprodukování první vrstvičky **dentinu** (až po epitelovou diafragmu) → **rozpad epitelové pochvy i BL**

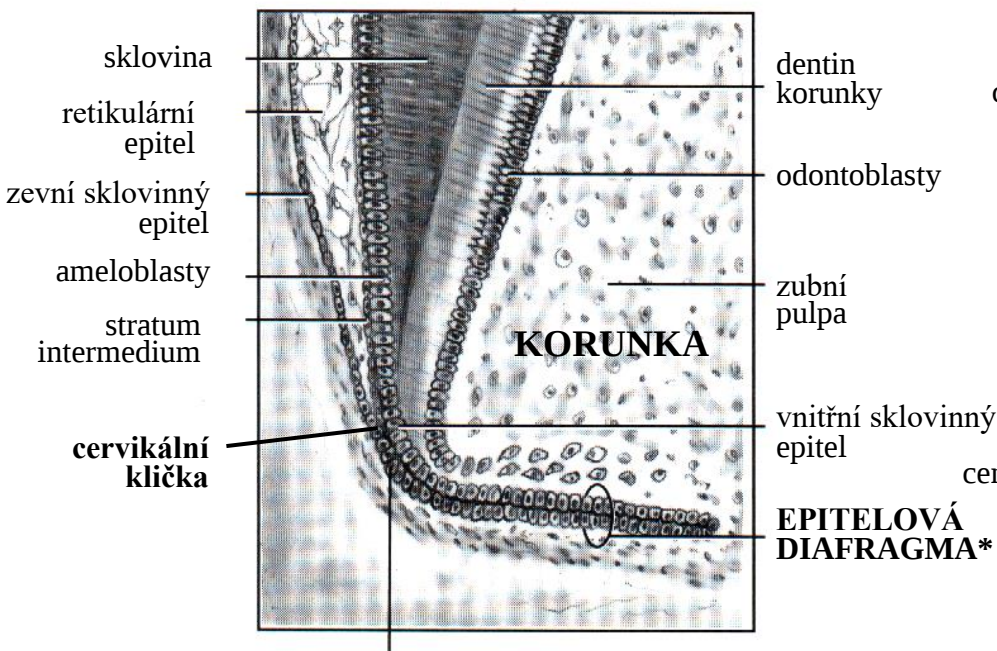
* Kořenová pochva neobsahuje vrstvu retikulárního epitelu a stratum intermedium,

proto buňky vnitřního sklovinného epitelu nemohou prodělat repolarizaci a diferencovat se v ameloblasty

⇒ (*asi hlavní*) důvod, proč se v oblasti kořene netvoří sklovina !

VÝVOJ KOŘENE ZUBU

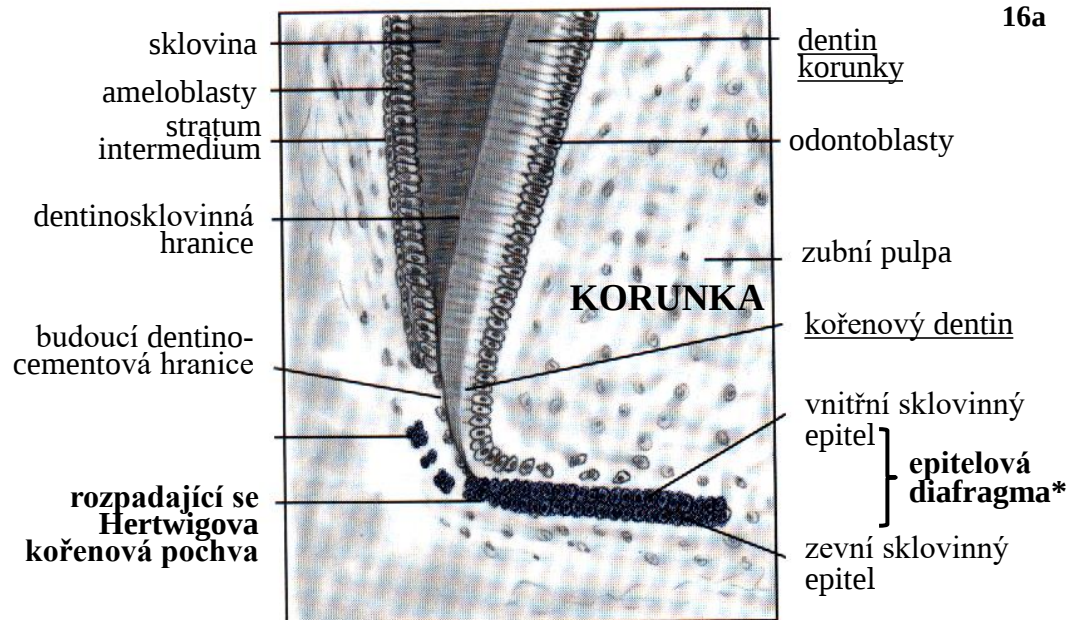
- Hertwigova epitelová kořenová pochva
+ epitelová diafragma



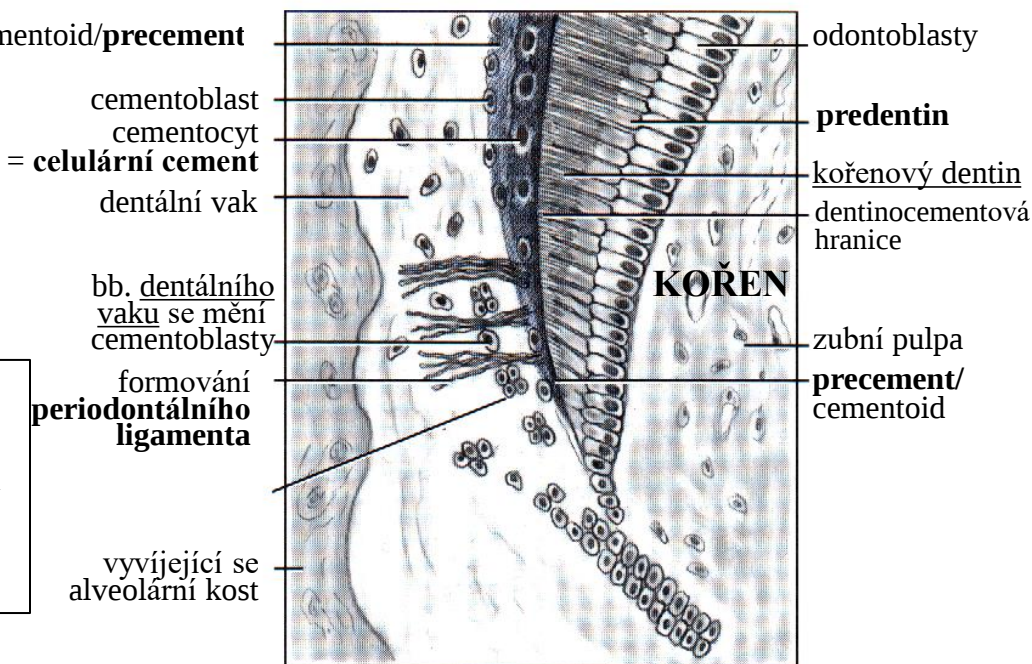
HERTWIGOVA epitelová
KOŘENOVÁ POCHVA

* Epitelová diafragma = struktura identická s Hertwigovou pochvou
= je to pokračování H. pochvy pouze „zahnutá“ v úhlu 90° (45°)

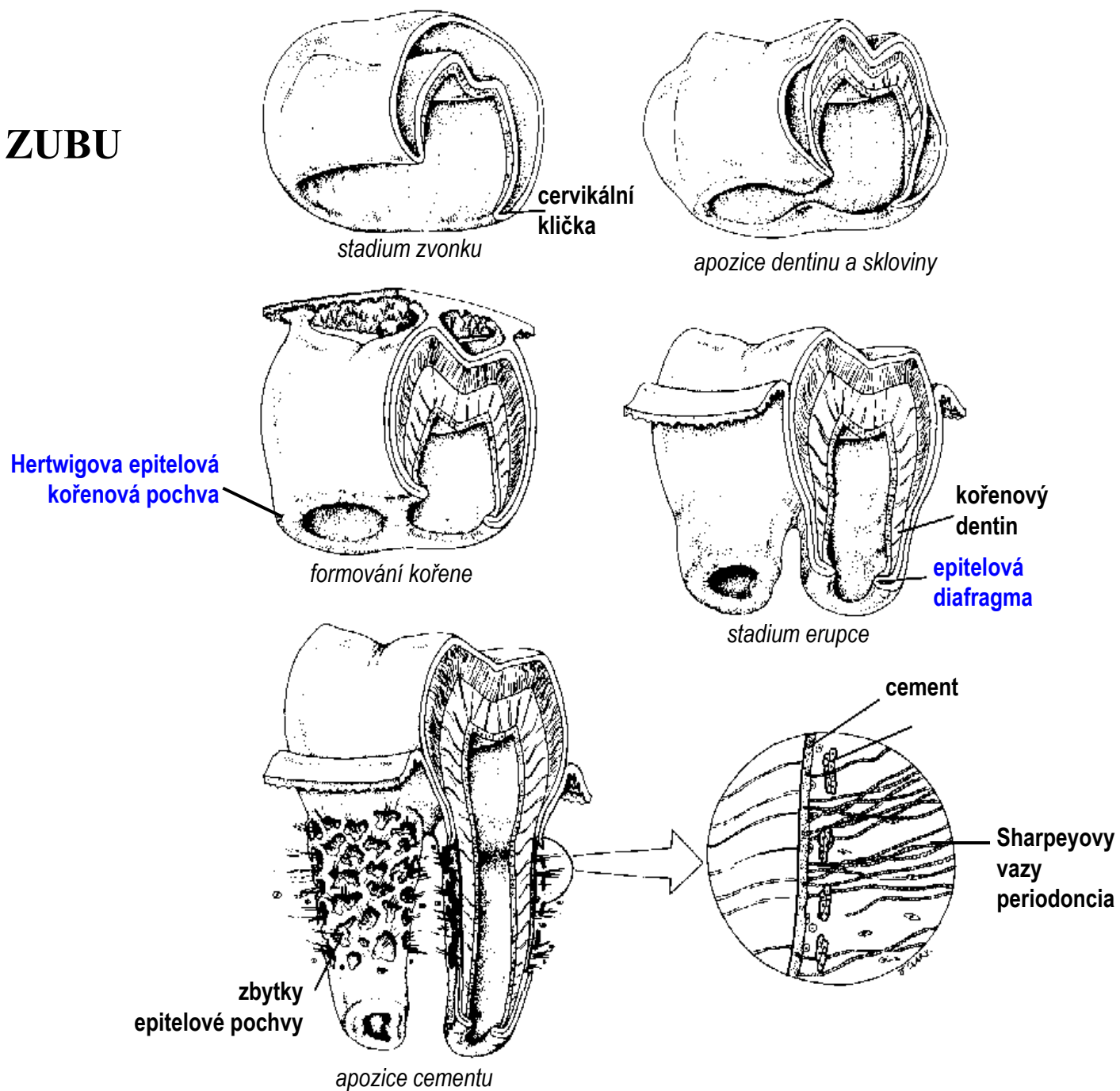
- OBĚ struktury představují POUZE VODÍCÍ/ OPORNOU strukturu
pro produkci kořenového predentinu/ dentinu = tvar kořene
a po jejich rozpadu (v kranio-kaudálním směru)
pak nastává produkce precementu/ cementu



Vývoj spodní části kořene s celulárním cementem

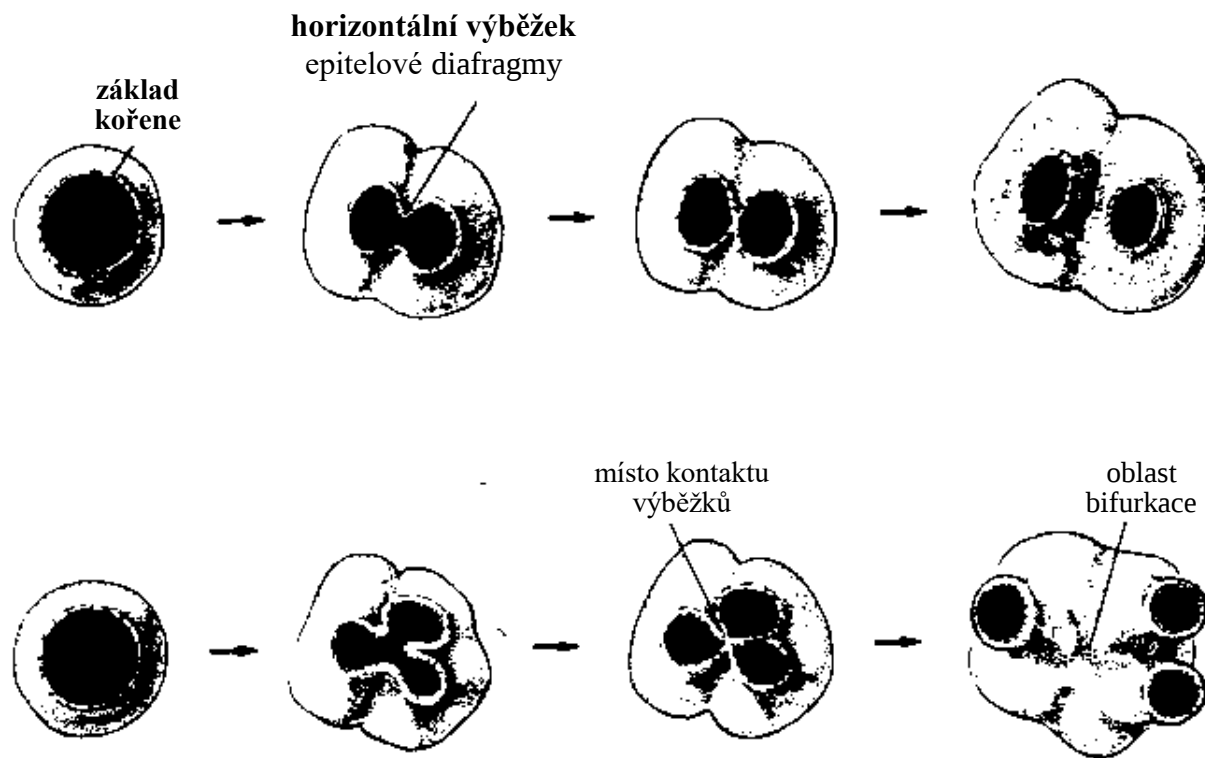


VÝVOJ KOŘENE ZUBU



VÝVOJ VÍCEKOŘENOVÝCH ZUBŮ

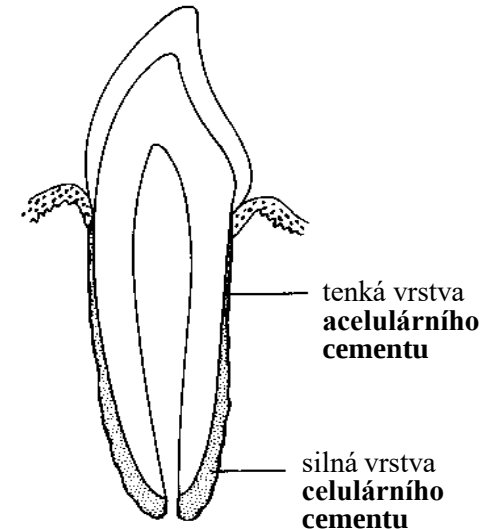
- Je stejný jako vývoj jednokořenových zubů do okamžiku, kdy se začíná formovat **bifurkace kořenů**
 ⇐ pak začíná odlišný růst epitelové diafragmy
- Buňky **epitelové diafragmy** na dvou či třech místech (podle počtu kořenů) intenzivně proliferují = **horizontální výběžky**
 → které se vzájemně spojí a rozdělí původní jeden kořenový otvor na dva nebo tři
 → růst každého kořene pak pokračuje podle stejného schématu jako u jednokořenového zubu



CEMENTOGENEZE v oblasti kořene zubu

2 fáze procesu:

- 1) **začíná** rovněž *desintegrací epitelové pochvy* → přímý kontakt nediferencovaných ektomesenchymových buněk dentálního vaku s vrstvičkou kořenového dentinu ⇒ impuls pro jejich diferenciaci v **cementoblasty** (*kubické bb. bez výběžků v 1 vrstvě na povrchu cement. matrix*) → produkce **precementu/ cementoidu** (nemineralizované cementové matrix)
 - 2) cementoid následně **mineralizuje** (pomocí cementoblastů)
 - po dokončení vývoje kořene a vyprodukování odpovídající vrstvy cementu zde ale nezůstává viditelný pruh nemineralizované matrix (*na rozdíl od predentinu*), protože cement je pak již produkován a mineralizován již jen velmi pomalu, především v apikální oblasti
- **Cementoblasty zpočátku mimo cementoid** (*odsouvány k povrchu zubu*)
 - ⇒ **ACELULÁRNÍ** čili **PRIMÁRNÍ CEMENT** → chybí cementocyty v matrix:
 - vzniká jako první
 - pozvolna (*v porovnání s vývojem zubního zárodku*)
 - více mineralizovaný = tvrdší
 - vytváří jednu vrstvičku po celé délce kořene a zejména několik vrstev v horních cca 2/3 kořene
 - jeho tloušťka se po vyprodukování nemění, tj. ve stadiu funkce již není dále produkován
 - jsou v něm zakotvena Sharpeyova vlákna
 - Během prořezávání zubu se intenzita produkce cementu (zejména směrem k hrotu) výrazně zvyšuje
 - **cementoblasty zaujímány do precementu** (mění svoji morfologii)
 - ⇒ **SEKUNDÁRNÍ** čili **CELULÁRNÍ CEMENT**:
 - produkován rychleji; jeho produkce začíná cca v době prořezávání zubu
 - méně mineralizovaný; morfologicky podobný vláknité kosti
 - překrývá acelulární cement, zejména je v dolní 1/3 kořene, nejvíce v interradikulárních septech
 - některé cementoblasty zavzaty do matrix vyžrávají v ⇒ **cementocyty** = s četnými výběžky, jejich sekreční aktivita výrazně klesá
 - nezakotvují se v něm (zevní) kolag. vlákna (tj. periodontální vazy), *proto je z větší části překryt celulárním míšeným vrstev. cementem*; (*celulární cement obvykle není dobře vyvinut na řezácích, někdy i na špičácích, což dokazuje, že není nezbytný pro fixaci závěsného aparátu zubu*).



Princip vývoje je pro všechny zuby stejný (tj. v obou denticích):

- Vývoj zubu je podmíněn vzájemnou **indukcí a interakcí** mezi ektodermem dentální lišty (epitel) a přilehlým dentálním mezenchymem (+ ektomesenchymem) (vazivo).
- Nejprve se vyvíjí korunka zubu, pak kořen včetně závěsného aparátu zubu; vývoj kořene, periodoncia a alveolu se dokončuje během a po prořezání zubu.
- **DENTÁLNÍ EKTODERM:** dentální lišta vzniká jako epitelový pruh proliferací z *ektodermového ep. stomodea* → z ní proliferují **zubní zárodky** - stadia vývoje ektodermového základu zubu jsou: **stadium pupenu, stadium pohárku a stadium zvonku** → orgán skloviny → **ameloblasty** ⇒ **SKLOVINA** = **ECM** (částečně mineralizovaná amorfni hmota = sklovinná prismata + interprismat. substance)
- **DENTÁLNÍ MEZENCHYM** - deriváty :
 - Dentální papila** – mezenchym + ektomezenchym kondenzovaný pod zubním pupenem **indukuje** formování *typického tvaru pohárku až zvonku*;
 - z vnější vrstvy = ektomezenchymové buňky ⇒ **odontoblasty** - začnou produkovat **matrix DENTINU** (predentin) korunky, následně kořene zubu
 - vnitřní část = mezenchymové buňky ⇒ **fibroblasty pulpy** → začnou produkovat **matrix ZUBNÍ PULPY** (*řidkého kolagenního vaziva*)
 - Dentální vak (dent. folikul)** = zbývající mezenchym kolem základu zubu
 - vnitřní vrstva = ektomezenchym. bb. ⇒ **cementoblasty** → produkce **matrix acelulárního CEMENTU** (precementu/cementoidu) kořene zubu
 - střední + zevní vrstva = mezenchymové buňky: (střední vrstva) → **fibroblasty** ⇒ matrix = **PERIODONTIUM** (kolagenního vaziva)
(zevní vrstva) → **osteoblasty** ⇒ matrix **kosti ALVEOLÁRNÍHO VÝBĚŽKU**
→ **cementoblasty** ⇒ matrix **celulárního cementu**
- Vývoj **KOŘENE** zubu je podmíněn vytvořením **Hertwigovy epitelové kořenové pochvy** proliferací buněk tzv. **cervikální kličky** z orgánu skloviny, která se následně prodlužuje a vytváří **epitelovou diafragmu**; vícekořenné zuby ← horizontální výběžky epitelové diafragmy.
- Vývoj zubního **ALVEOLU** je rovněž pod **induktivním vlivem** (mezenchymu) dentálního vaku a je spojen s vývojem maxily a mandibuly a jejich desmogenní osifikací (*ta začíná brzy – po dokončení vývoje orgánu skloviny*).
- Po prořezání zubu, když zub dosáhne okluze, stává se funkčním (stadium funkce), ale jeho vývoj je ukončen teprve, když se úplně dotvoří kořen (*vč. for. apicis dentis*) - *avšak k určitým menším změnám dochází po celé období existence vitálního zubu*.
- **Základy všech zubů**, tj. pro 20 zubů mléčných a 32 zubů stálých, jsou **přítomny již při narození**; *základy 1. – 3. molárů permanentní dentice (z náhradní dentální lišty) se však vyvíjejí velmi pomalu (stadium zvonku se u 3. moláru objevuje až v 6 letech)*.

Celý vývoj dočasného zubu trvá přibližně 4 roky a stálého zubu přibližně 10 let.

- **Mineralizace** (kalcifikace) zubů - začíná na okluzních plochách (kde také začíná ukládání matrix tvrdých tkání) a pokračuje směrem ke krčku zubu
 - dočasné zuby při narození jsou zubní korunky mineralizované asi z poloviny a jejich mineralizace se dokončuje během prvního roku věku dítěte
 - + kořen se definitivně dotváří a mineralizuje za 1,5 až 3 roky po prořezání zubu
 - u stálých zubů začíná až po narození a probíhá v poměrně dlouhém časovém rozpětí.
- Zuby obou denticí se vyvíjejí v předozadním sledu, tj. jako první se objevují základy řezáků, jako poslední zárodky molárů; o něco dříve v základu mandibuly než v základu maxily, současně (symetricky) vpravo a vlevo.