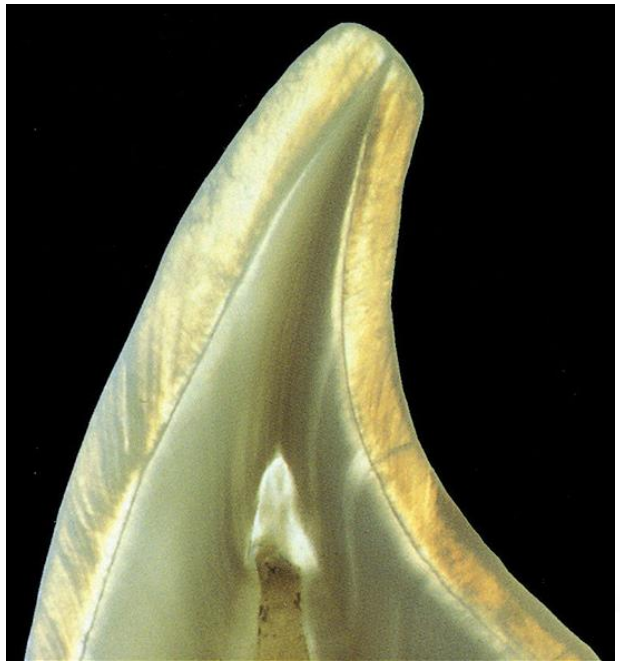
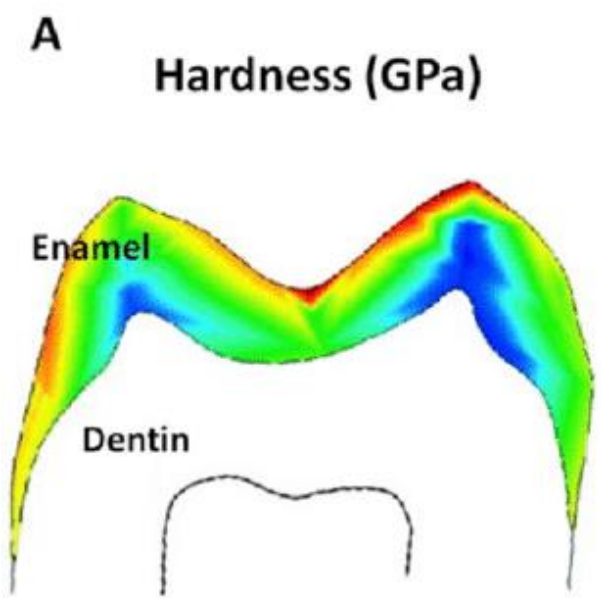
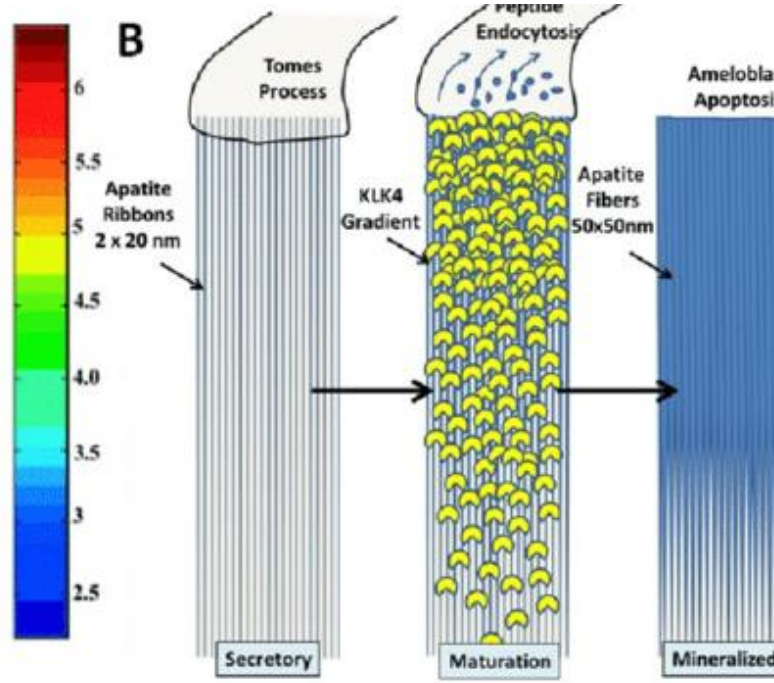
Sklovina a cement

2. 4. 2024







SKLOVINA

(enamelum, enamel, email, substantia adamantina, s. vitrea)

Sklovina

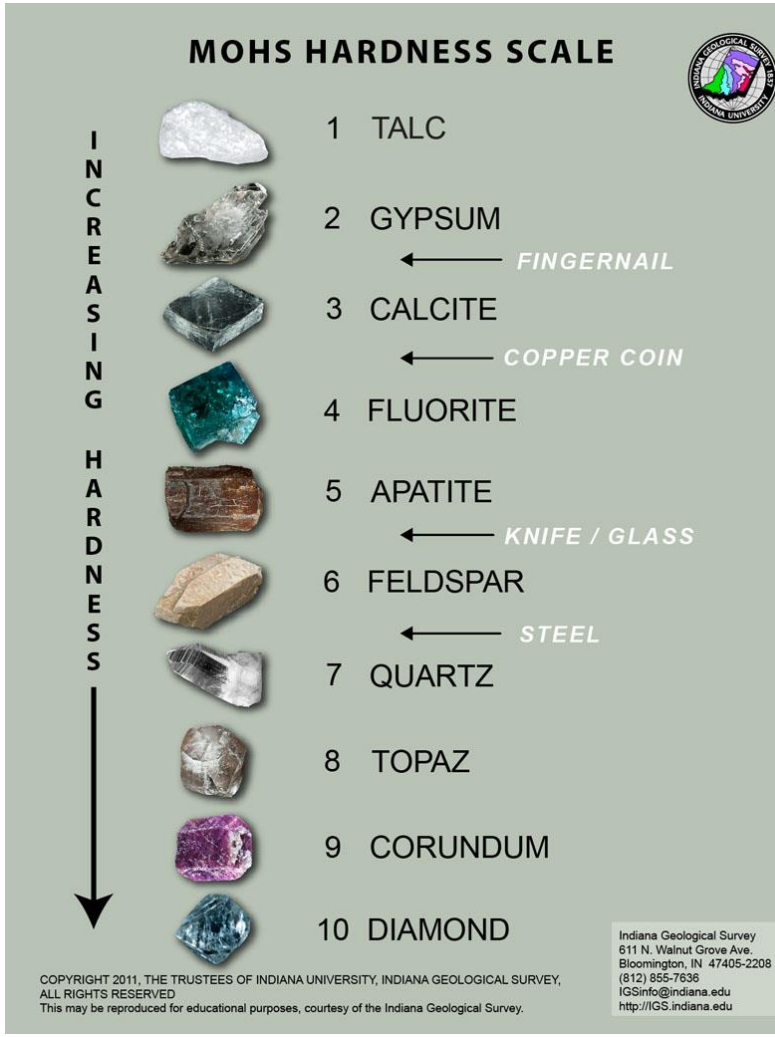
(enamelum, enamel, email, substantia adamantina, s. vitrea)

- Nebuněčná hmota, která kryje anatomické korunky
- Ektodermálního původu
- Nejtvrdší tkáň (křehká) v těle obratlovců
- Acelulární

Tloušťka: U trvalých zubů +- 2,5 mm (na řezacích hranách nebo kousacích ploškách)
U dočasných zubů +- 1,3 mm
Na zubním krčku jen +- 0,1 mm

<u>Fyzikální vlastnosti</u>

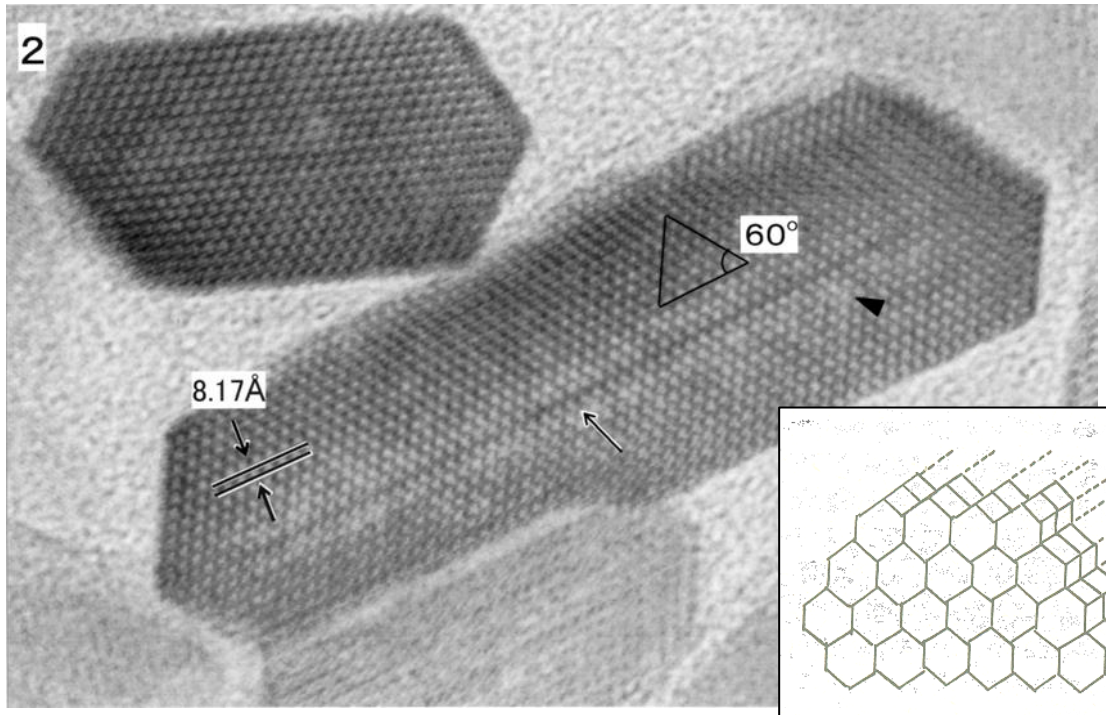
- Index lomu 1,62; spec. hmotnost 2,9 $g.cm^{-3}$,
- Mohsova stupnice **tvrdost 5** (nejtvrdší tkáň lidského těla)
- Průsvitná, barva - odstíny bílé - závisí na tloušťce a stupni mineralizace
  - Šedobílá - na okluzních plochách
  - Bílá - ve středním oddílu korunky
  - Nažloutlá - poblíž krčku – prosvítá barva dentinu
- Velmi odolná k abrazi
- **Povrchová sklovina** tvrdší, hustší a méně porézní (aprizmatická)
- **Tvrdost se snižuje směrem k dentinosklovinné hranici** a od kousacích plošek ke krčku

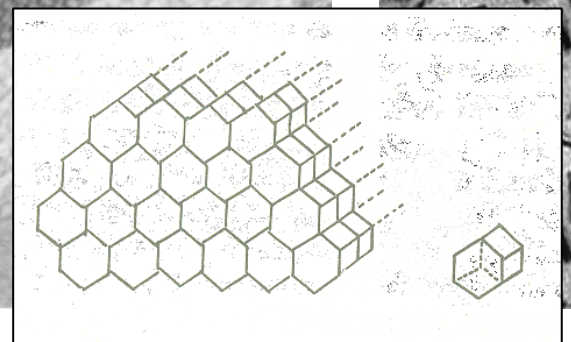


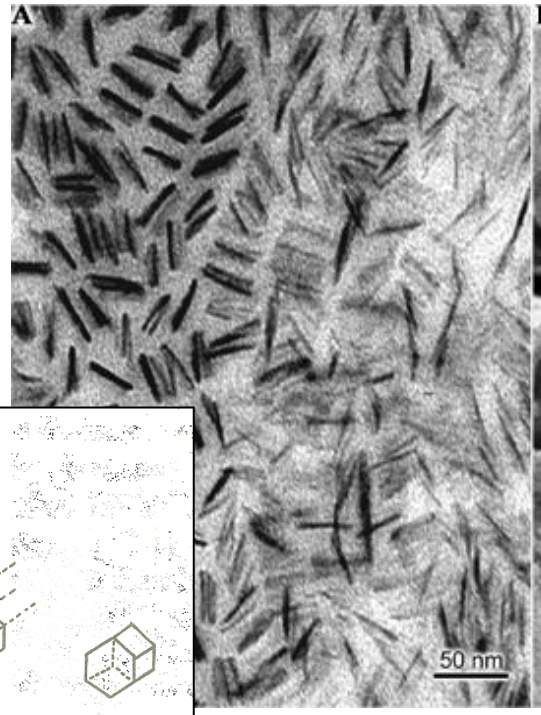
Chemické složení

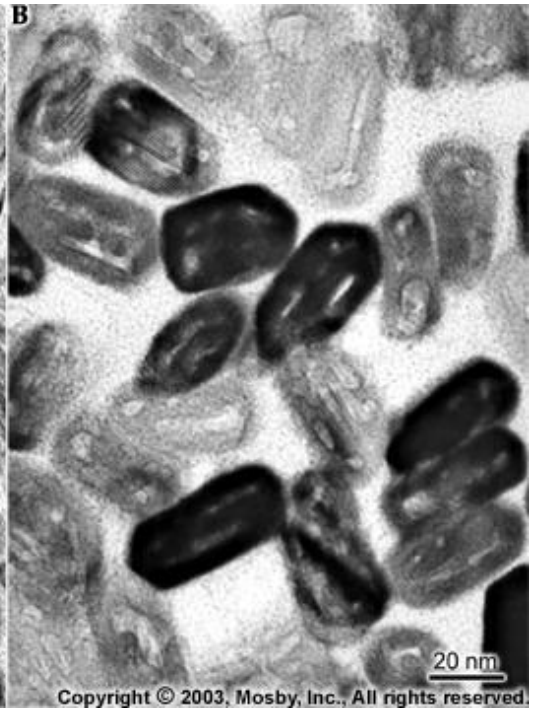
Anorganická část	Voda	Organická část
96 - 97 %	2 - 3 %	1 %

- Hydroxyapatit tvořící hexagonální krystaly
- Fluoroapatit je spíše na povrchu skloviny, je tvrdší
- Hlavní prvky ve sklovině: Vápník, fluor, hořčík, fosfor (a jiné).
- Ukládání dalších látek (např. olovo) vlivem znečištěného prostředí – co se jednou uloží, tak ve sklovině zůstane.









Chemické složení

Anorganická část	Voda	Organická část
96 - 97 %	2 - 3 %	1 %

Proteiny nekolagenové povahy

a) Amelogeniny

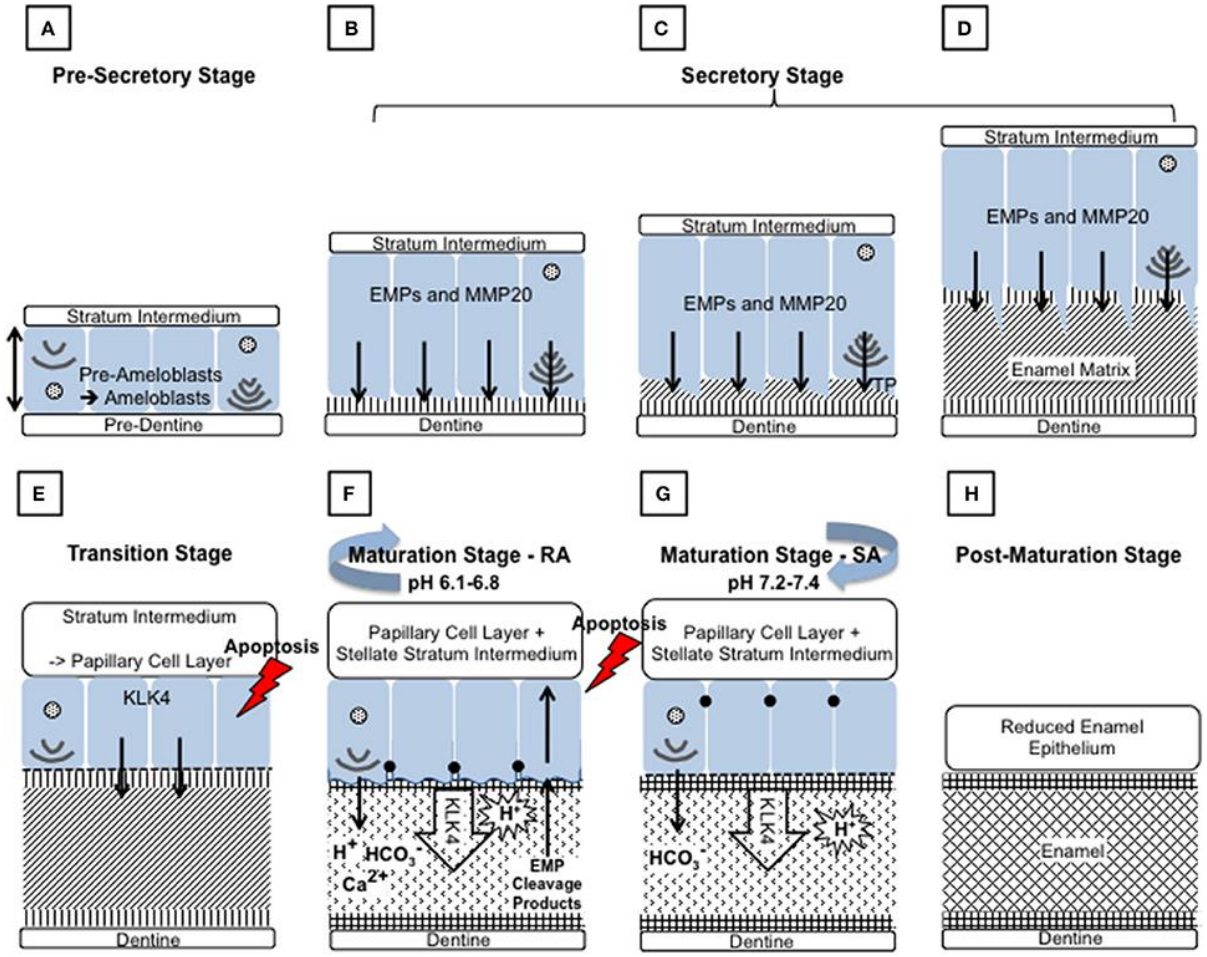
- 90 %
- Hlavní produkt sekretorní fáze ameloblastů
- kulovité polymery, regulace růstu sklovinných hranolů

b) Proteiny ne-amelogeninové povahy :

- Enamelin - Nukleace a usměrnění růstu krystalů
- Ameloblastin – adhezivní molekula
- Kalikrein 4 – Proteasa secernovaná ameloblasty na konci sekretorní fáze
- Tuftelin – stabilizuje spojení s dentinem

c) Enzymatické proteiny

- Metaloproteinázy (MMP20) – degraduje amelogenin
- alkalická a kyselá fosfomonoesteráza a serinproteináza1

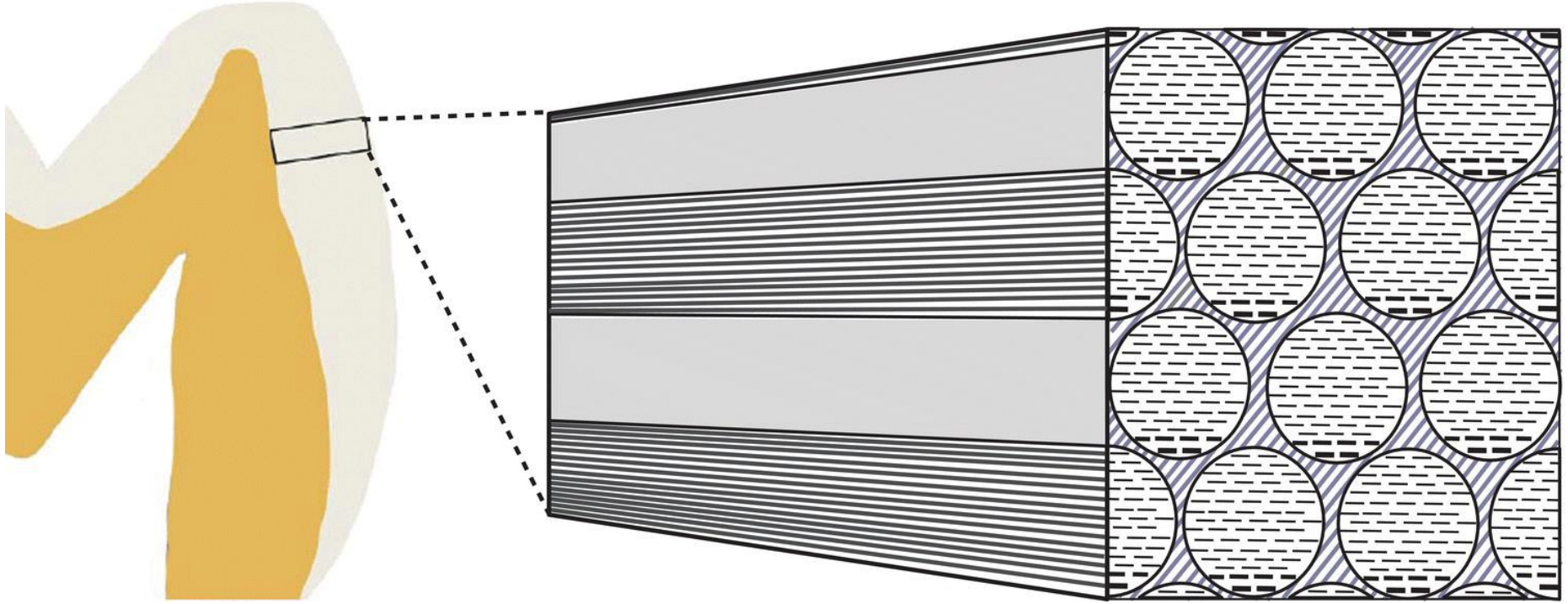


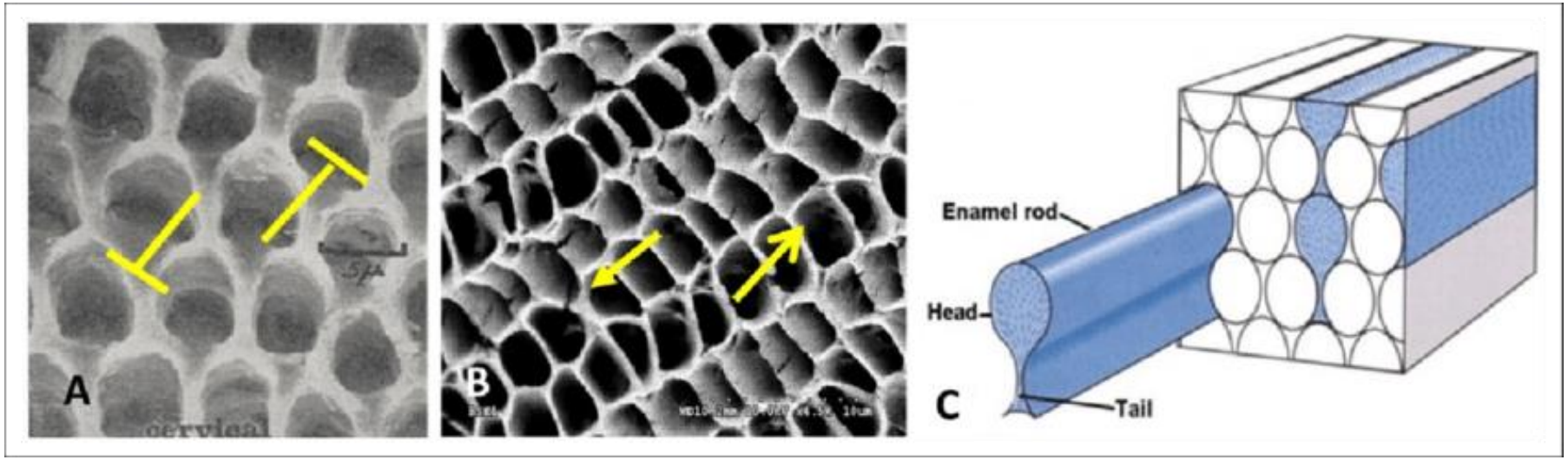
Mikroskopická stavba

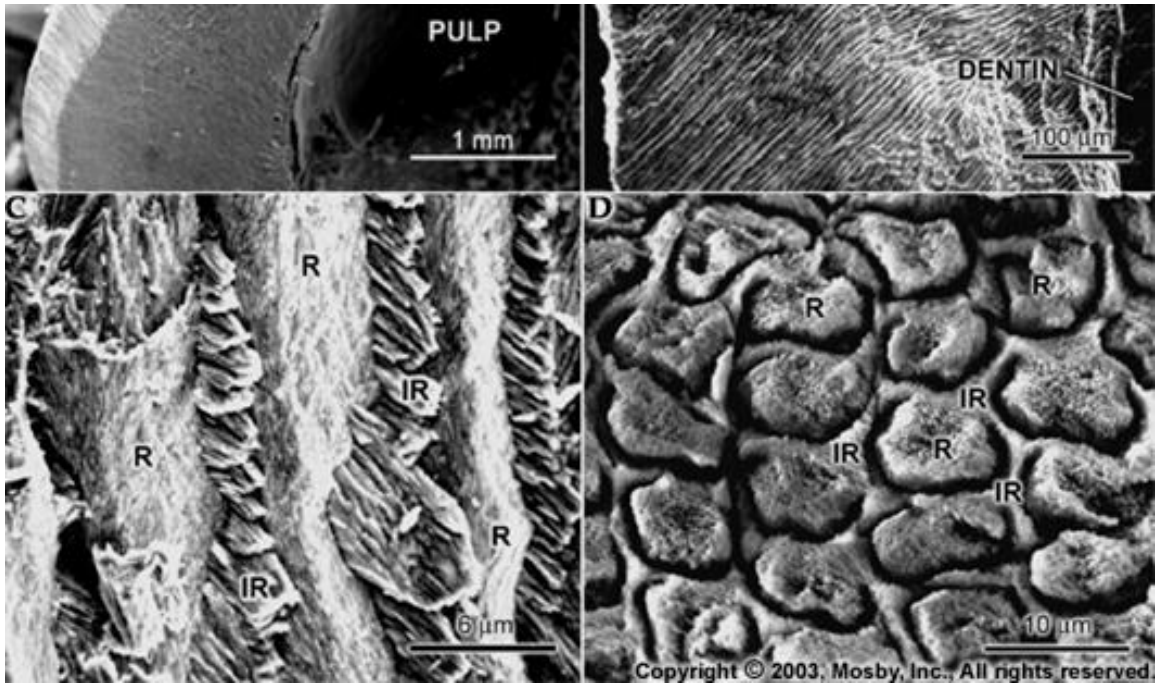
Složitá vnitřní, druhově specifická organizace

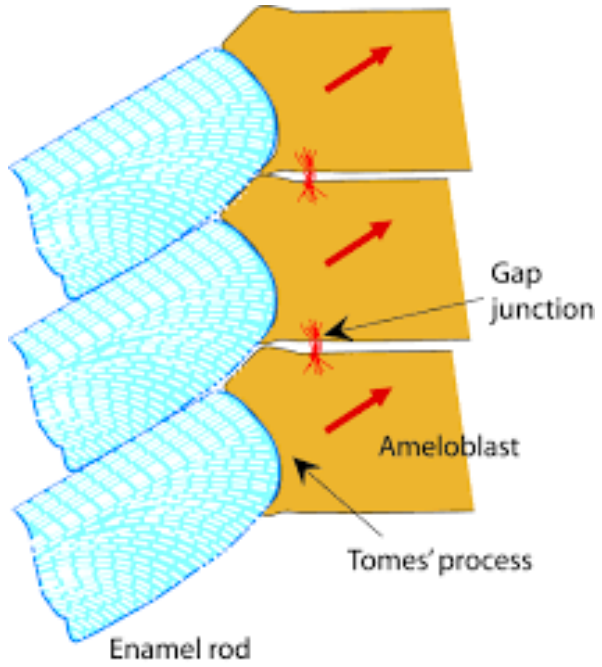
<u>Sklovinné hranoly – prizmata a interprizmatická hmota</u>

probíhají od dentinosklovinné hranice k povrchu skloviny, asi 8,5 milionu (řezáky)




A
cervical
B
C
Enamel rod
Head
Tail

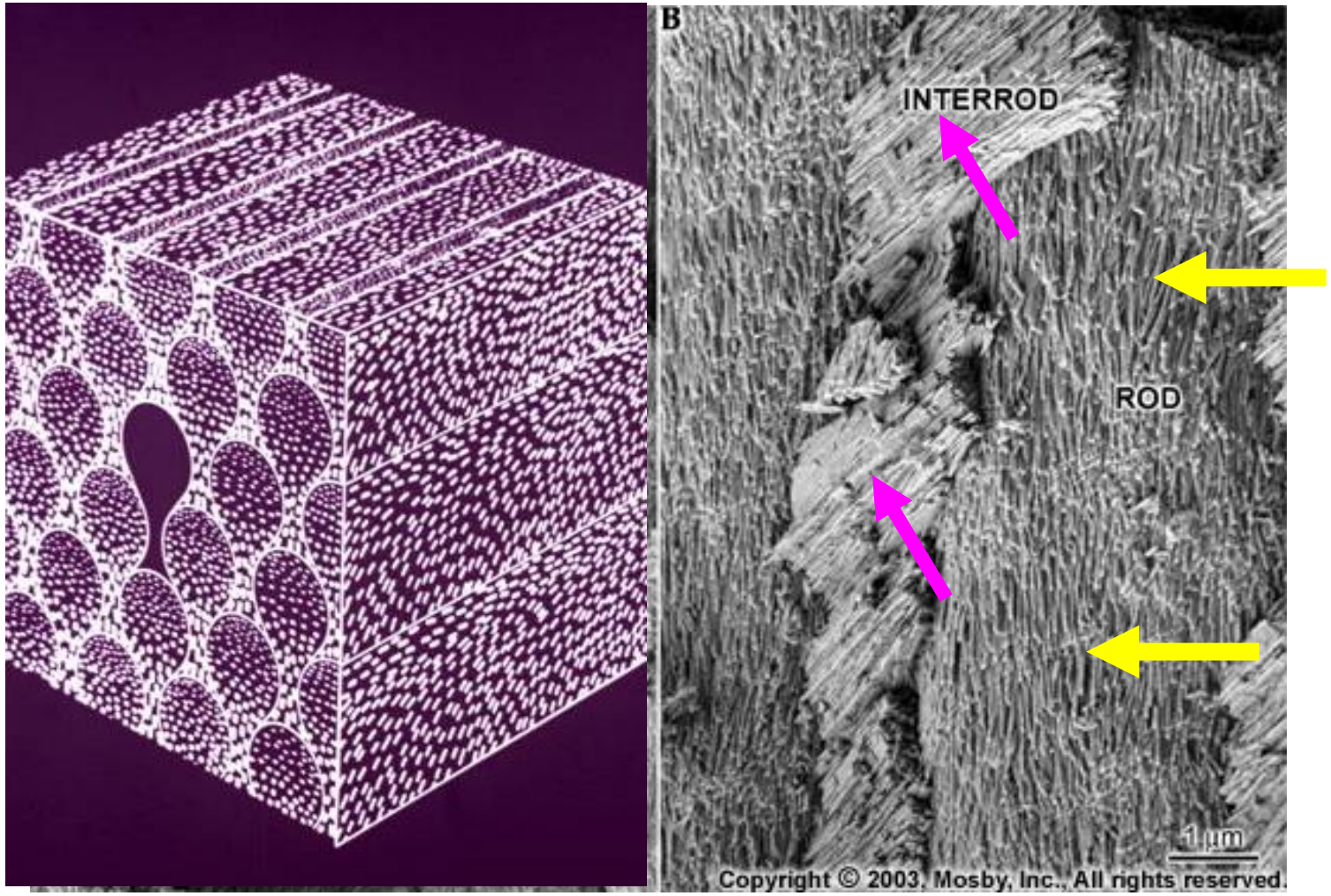

PULP
1 mm
DENTIN
100 µm
C
R
IR
R
R
IR
6 µm
D
R
R
IR
IR
R
IR
10 µm
Copyright © 2003, Mosby, Inc., All rights reserved.


Gap junction
Ameloblast
Tomes' process
Enamel rod

Ultrastruktura hranolů

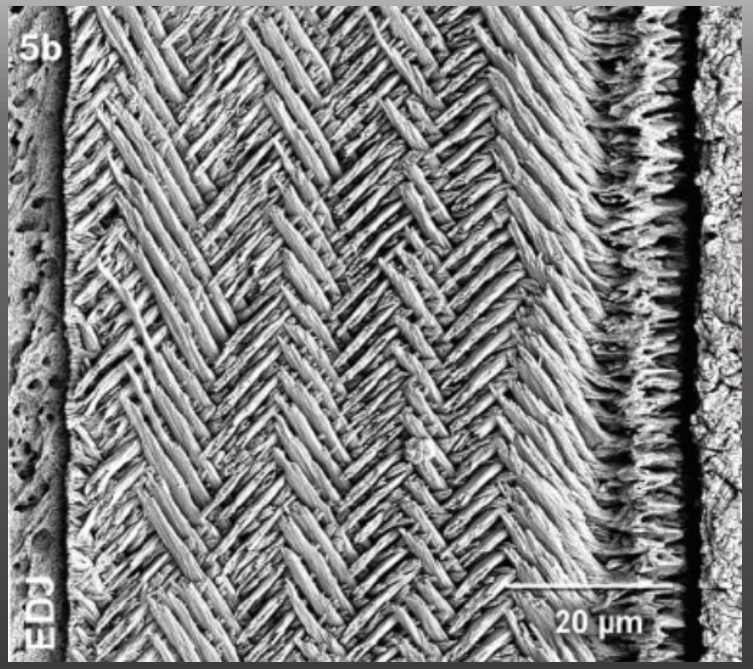
Skládají se z podélně řazených krystalků hydroxyapatitu, vložených do proteinové matrix (amelogeniny, Proteiny ne-amelogeninové povahy)

Struktura interprizmatické substance stejná, krystaly postaveny šikmo nebo kolmo na prizmata



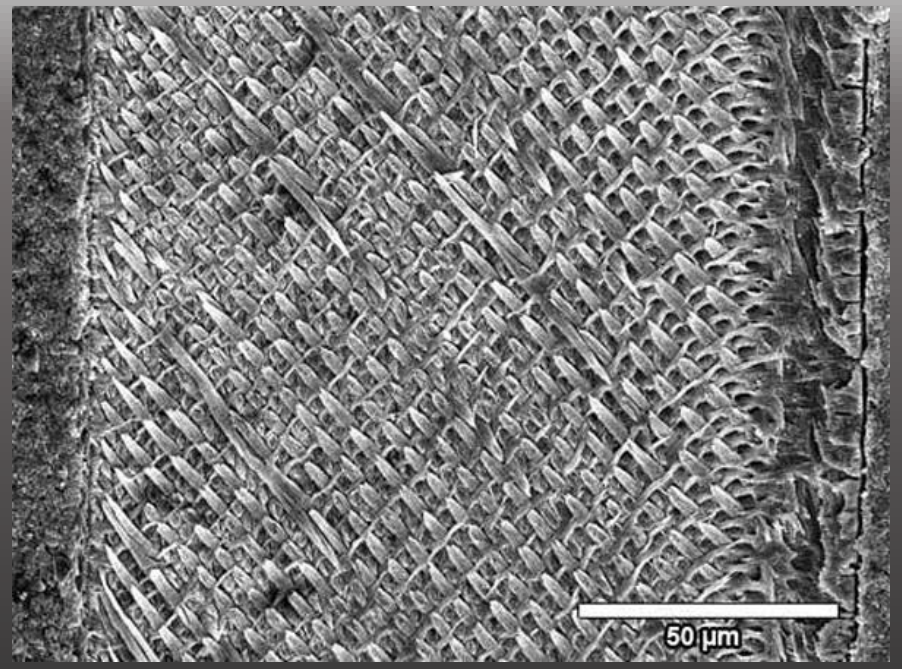
Enamel decussation pattern (rodents)

- Very precise and homogeneous organization of enamel microstructure
- Little differences within different species
- Fundamental mechanisms controlling decussation pattern formation are evolutionary conserved



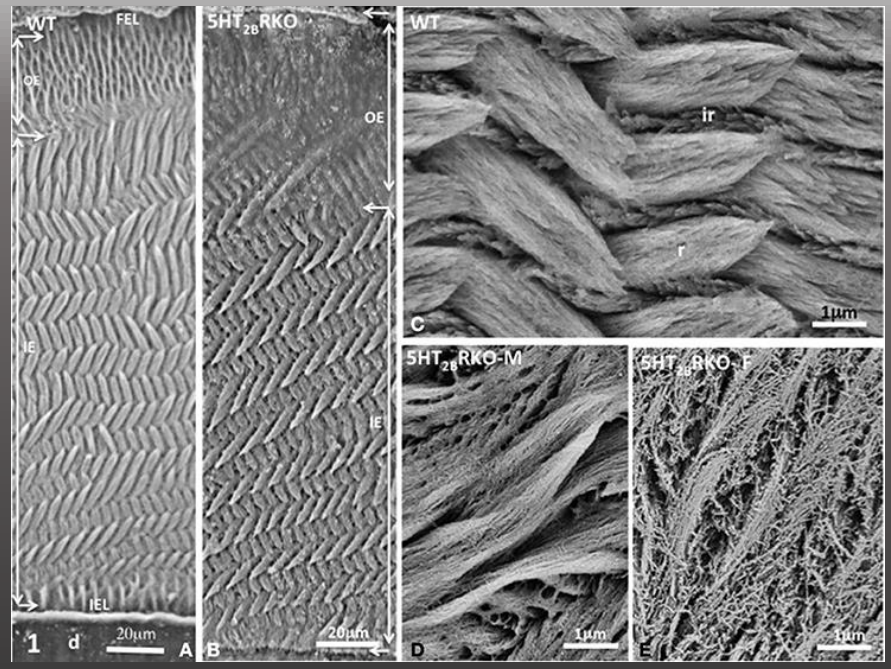
Daniela C. Kalthoff, 2007

Heterosminthus gansus
(late Miocene)



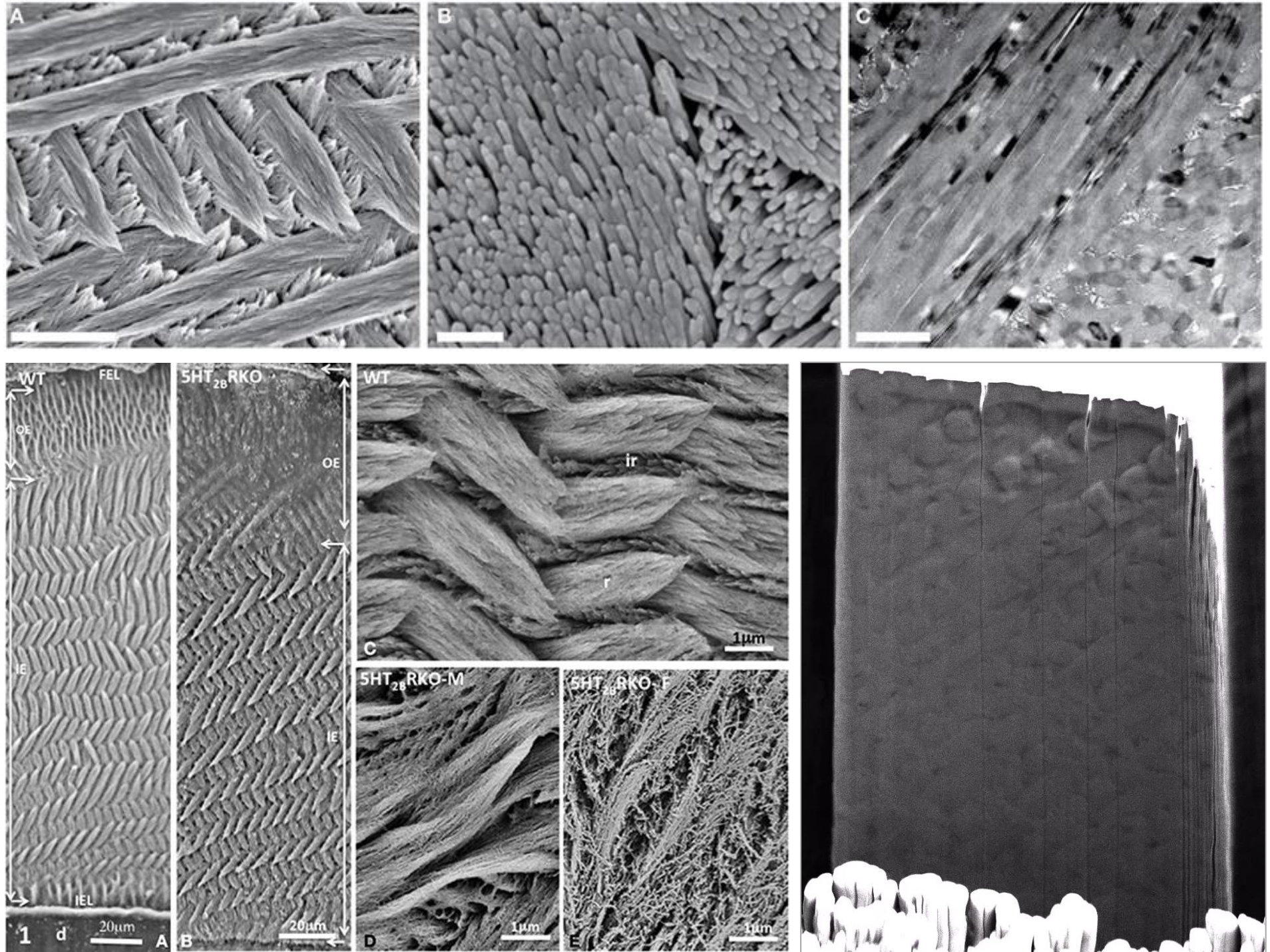
Daniela C. Kalthoff

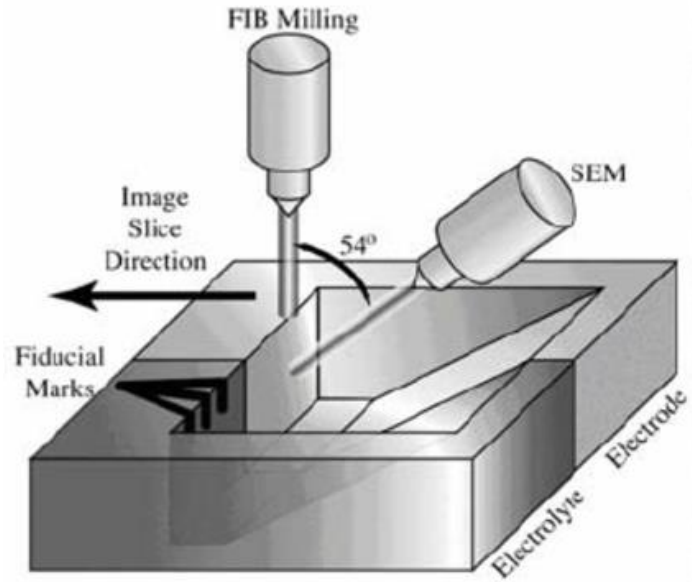
Wood Mouse *(Apodemus sylvaticus)*

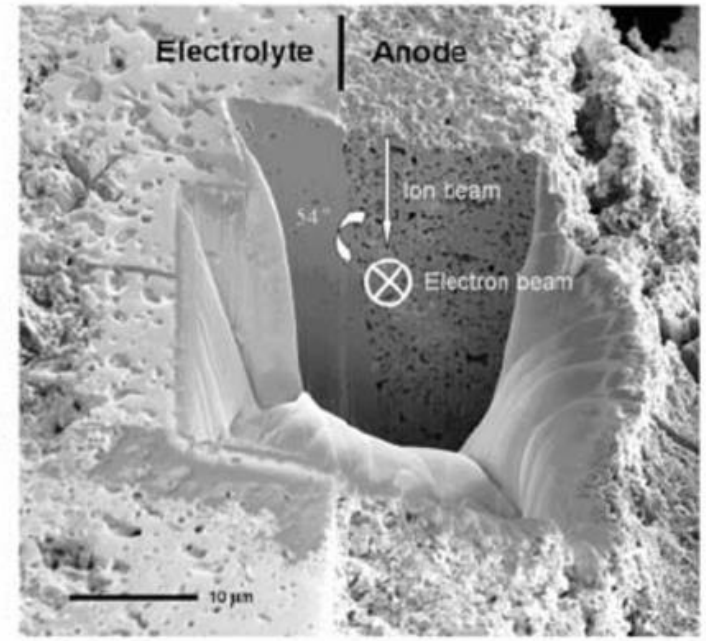


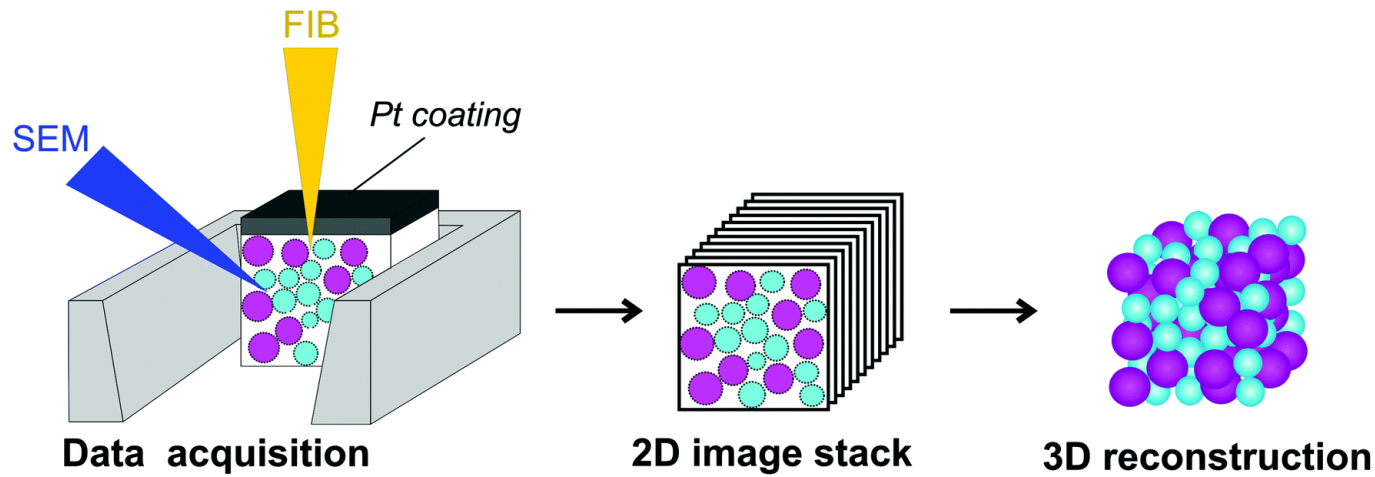
Goldberg et al, 2014

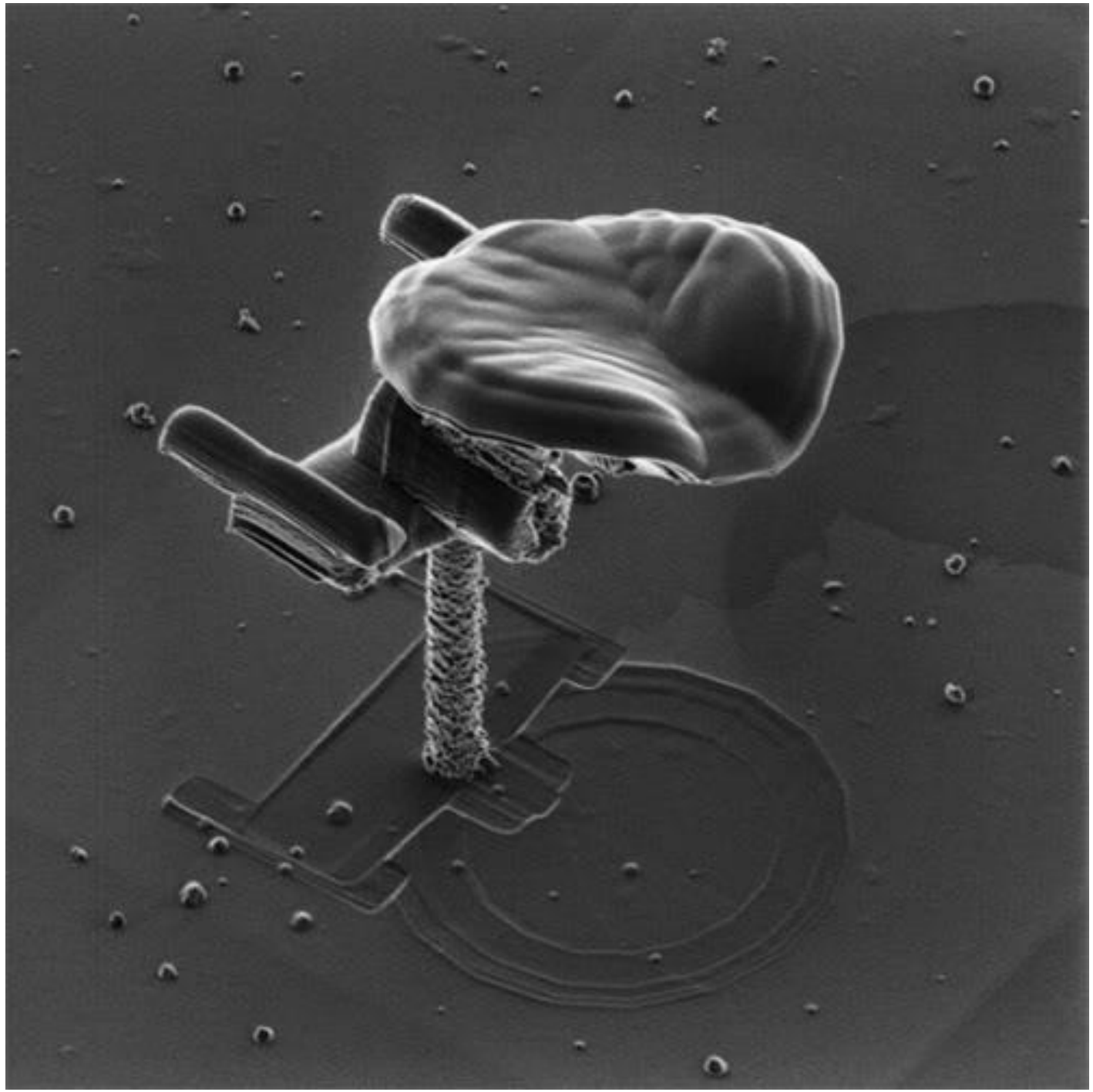
Mus musculus


A
B
C
WT
FEL
OE
IE
IEL
1 d
20µm
A
5HT2BRKO
OE
IE
20µm
B
WT
ir
r
1µm
C
5HT2BRKO-M
1µm
D
5HT2BRKO-F
1µm
E


FIB Milling
SEM
Image
Slice
Direction
54°
Fiducial
Marks
Electrode
Electrolyte

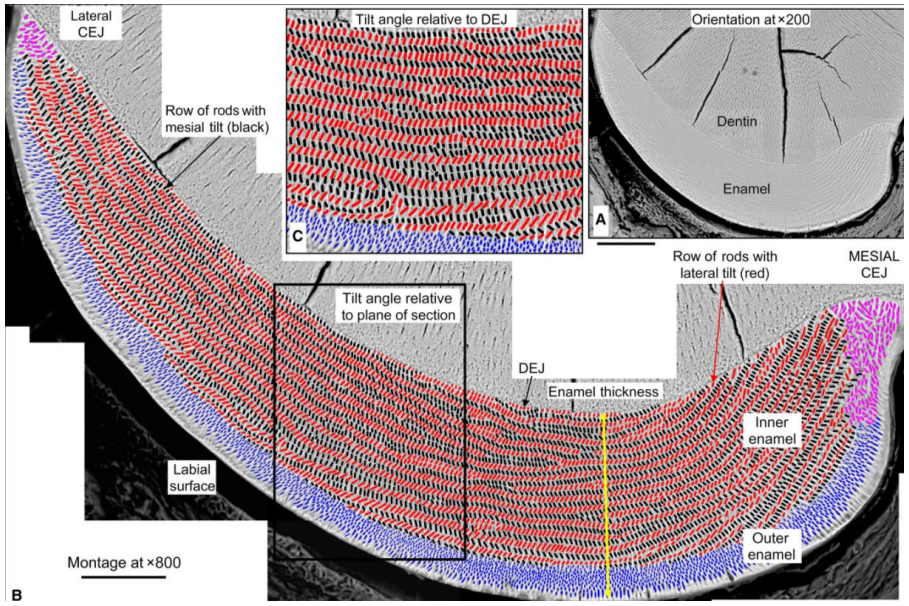

Electrolyte
Anode
Ion beam
54°
Electron beam
10 µm


FIB
SEM
Pt coating
Data acquisition
2D image stack
3D reconstruction

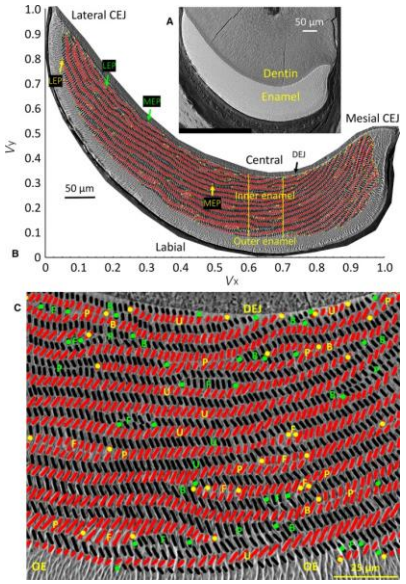


Ameloblasty: pohyby buněk jsou zodpovědné za tvorbu vnitřní mikrostruktury skloviny

- Každý ameloblast je zodpovědný za tvorbu jednoho prismatu
- Ameloblasty se posunují v řadách pod úhlem přibližně 70 stupňů vůči sobě (*m. musculus*)

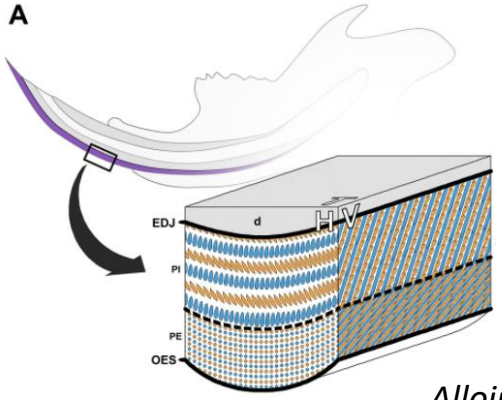


Smith et al., 2018



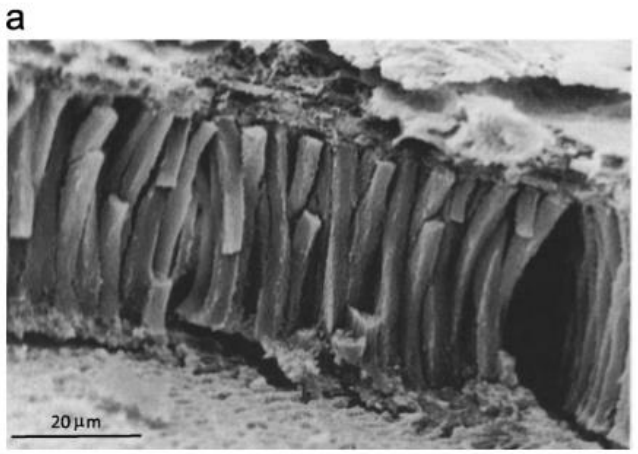
Smith et al., 2019

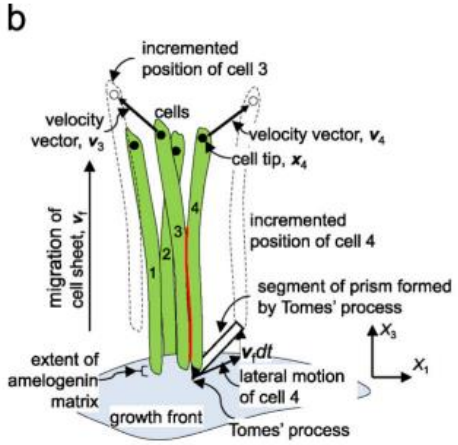
(James Simmer and Jan Hu lab)

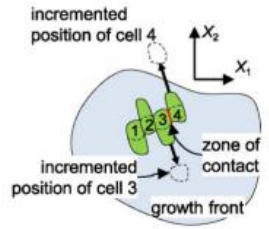


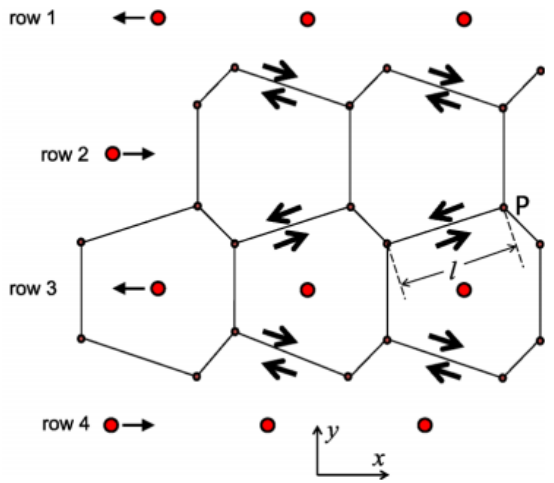
Alloing-Séguier et al., 2018

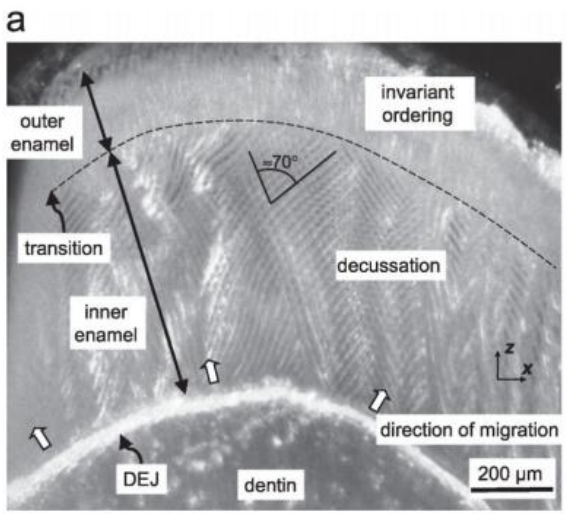
Ameloblasty: pohyby buněk jsou zodpovědné za tvorbu vnitřní mikrostruktury skloviny

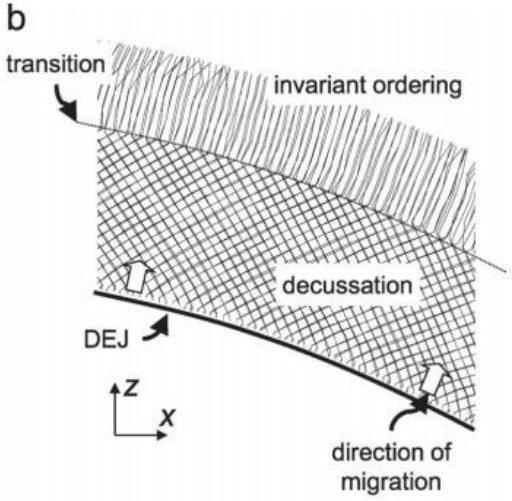


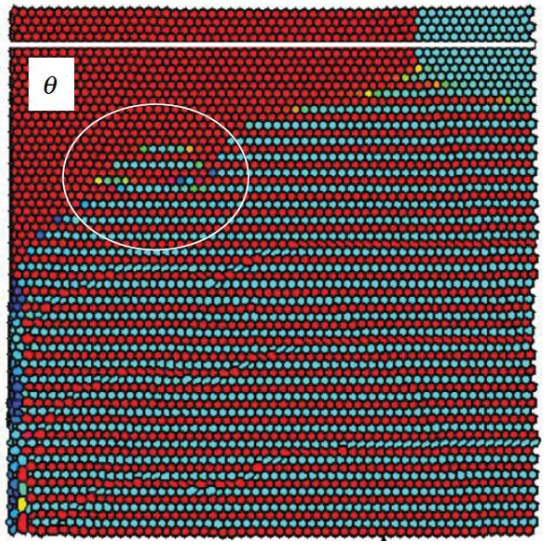






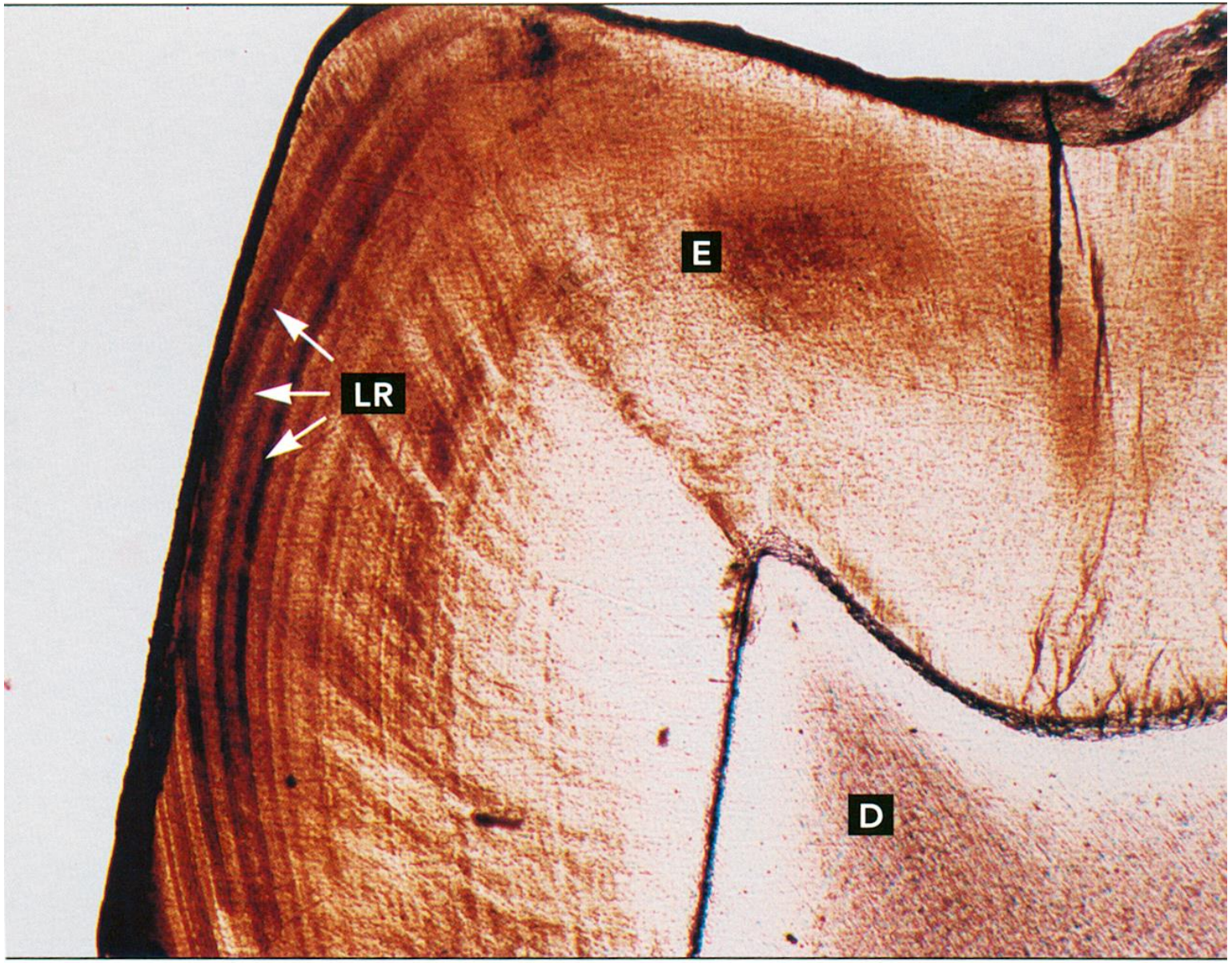


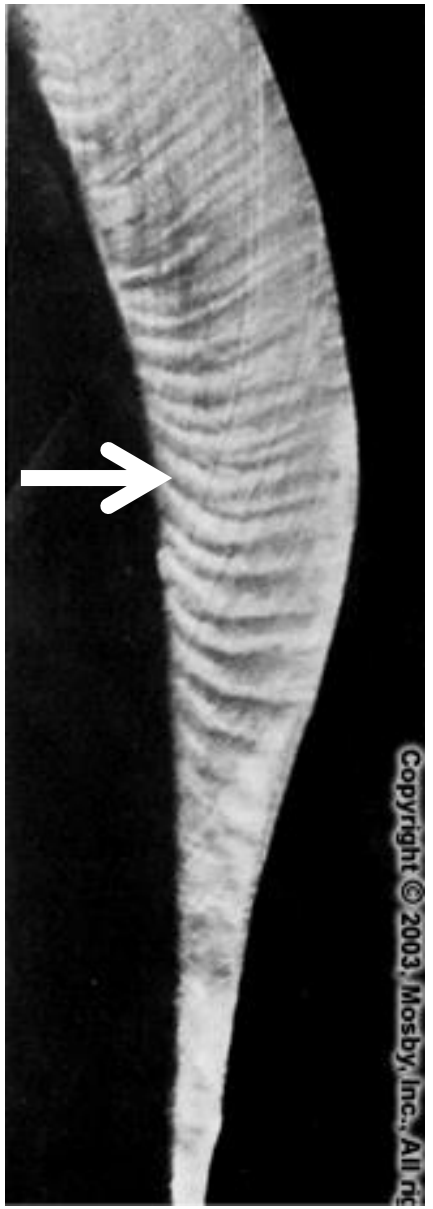




Cox, 2013
Cox and Snead, 2016

Vnější znaky skloviny





Vnější znaky skloviny

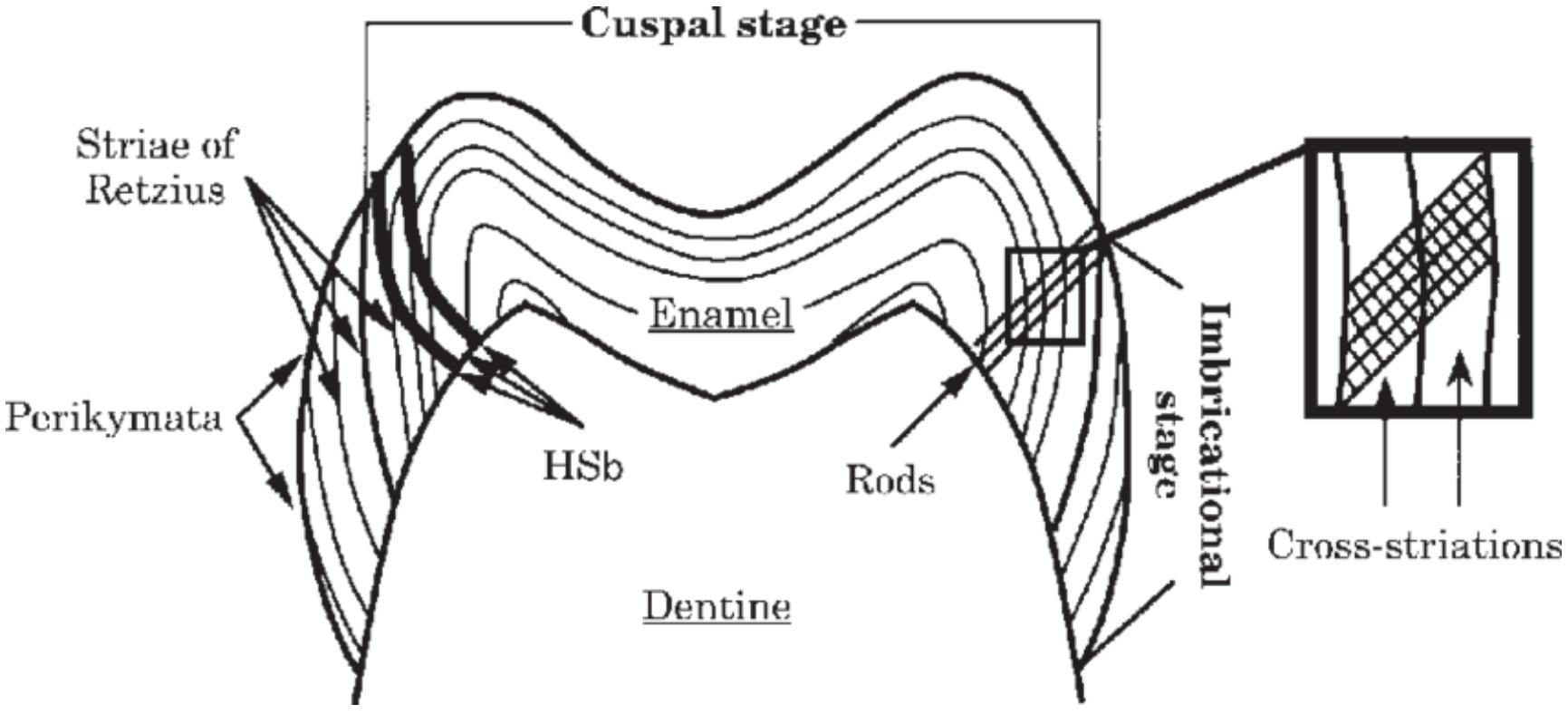
Retziusovy proužky

Perikymata

Hunterovy - Schregerovy proužky

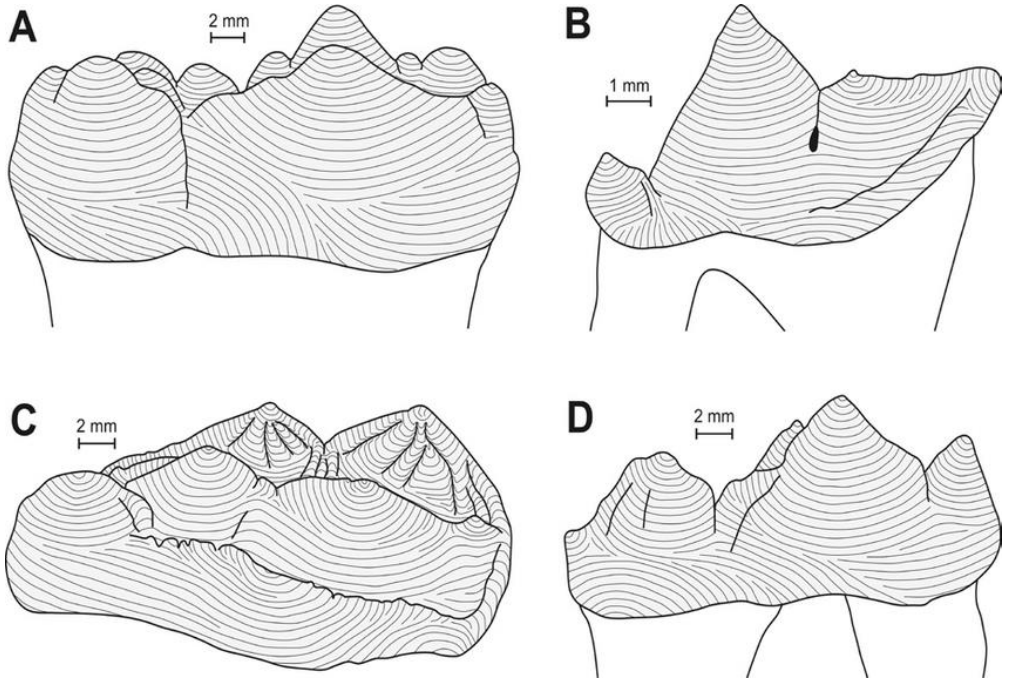
Neonatální linie

Enamel tuffs



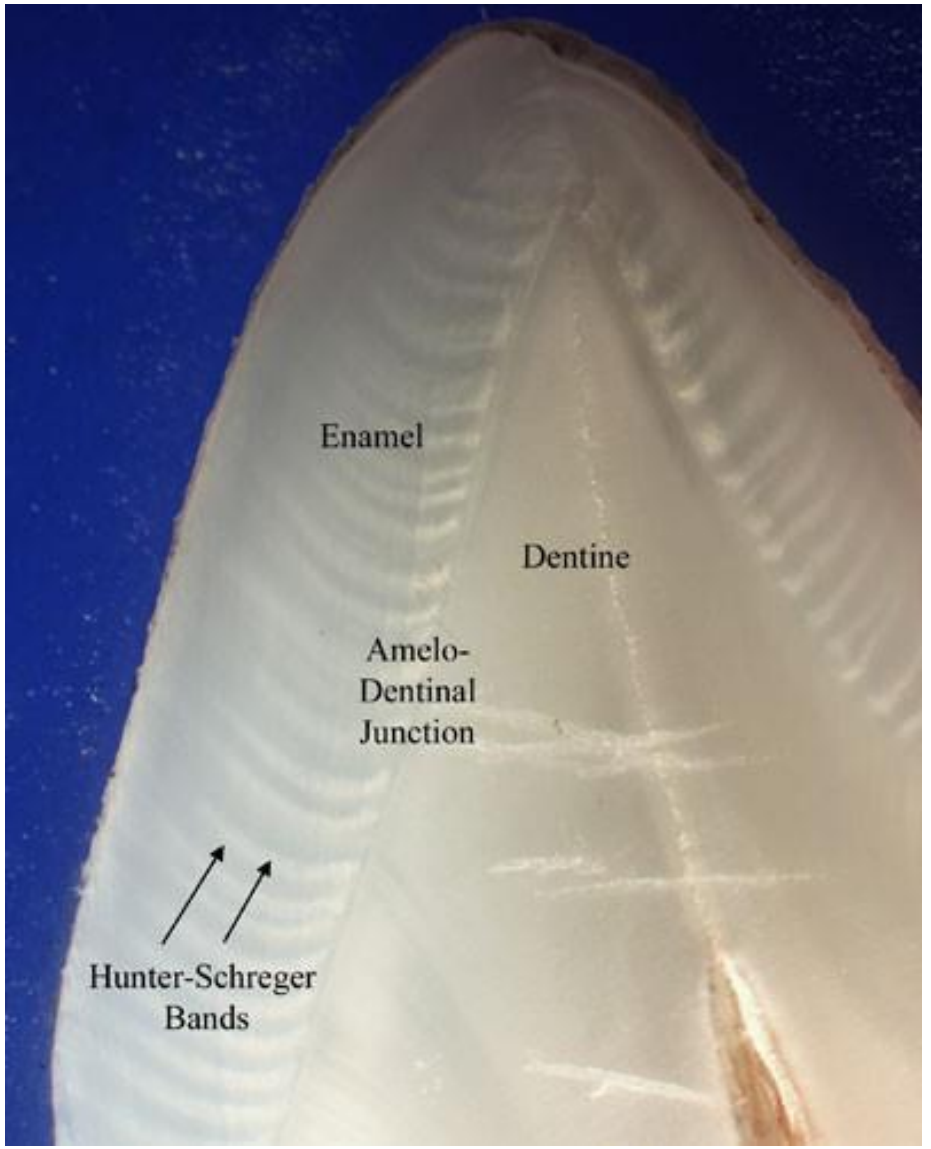
Hunterovy - Schregerovy proužky

- Důsledek **změn směru procházejících sklovinných prismat**
- Průběh sklovinných prismat se mění ve všech směrech, zejména u premolárů a molárů.
- Opticky se jeví jako střídající se světlé a tmavé proužky



Course of Hunter-Schreger bands (HSB) on: the buccal side of M 2 from Ursus spelaeus (A), the buccal side of P 4 from Felis catus (B), the U. wenzensis M 2 viewed from the lingual and occlusal side (C) and the buccal side of M 1 from U. wenzensis.

Nowakowski et al., 2010



Lynch et al., British dental journal, 2010

Inkrementální (přírůstkové) linie skloviny

Sklovina přirůstá periodicky: vliv **cirkadiálních rytmů**
Projev periodické aktivity ameloblastů nebo společné mineralizace většího počtu denních přírůstků
Na základě přírůstkových linií rozlišujeme charakteristické proužkování skloviny

a) Denní linie

- Způsobují příčné pruhování prizmat (cross-striation), velmi tenké 2,5 - 6 µm
- Střídání fáze intenzivní sekrece s fází odpočinkovou
- Souvisí s cirkadiálními rytmy

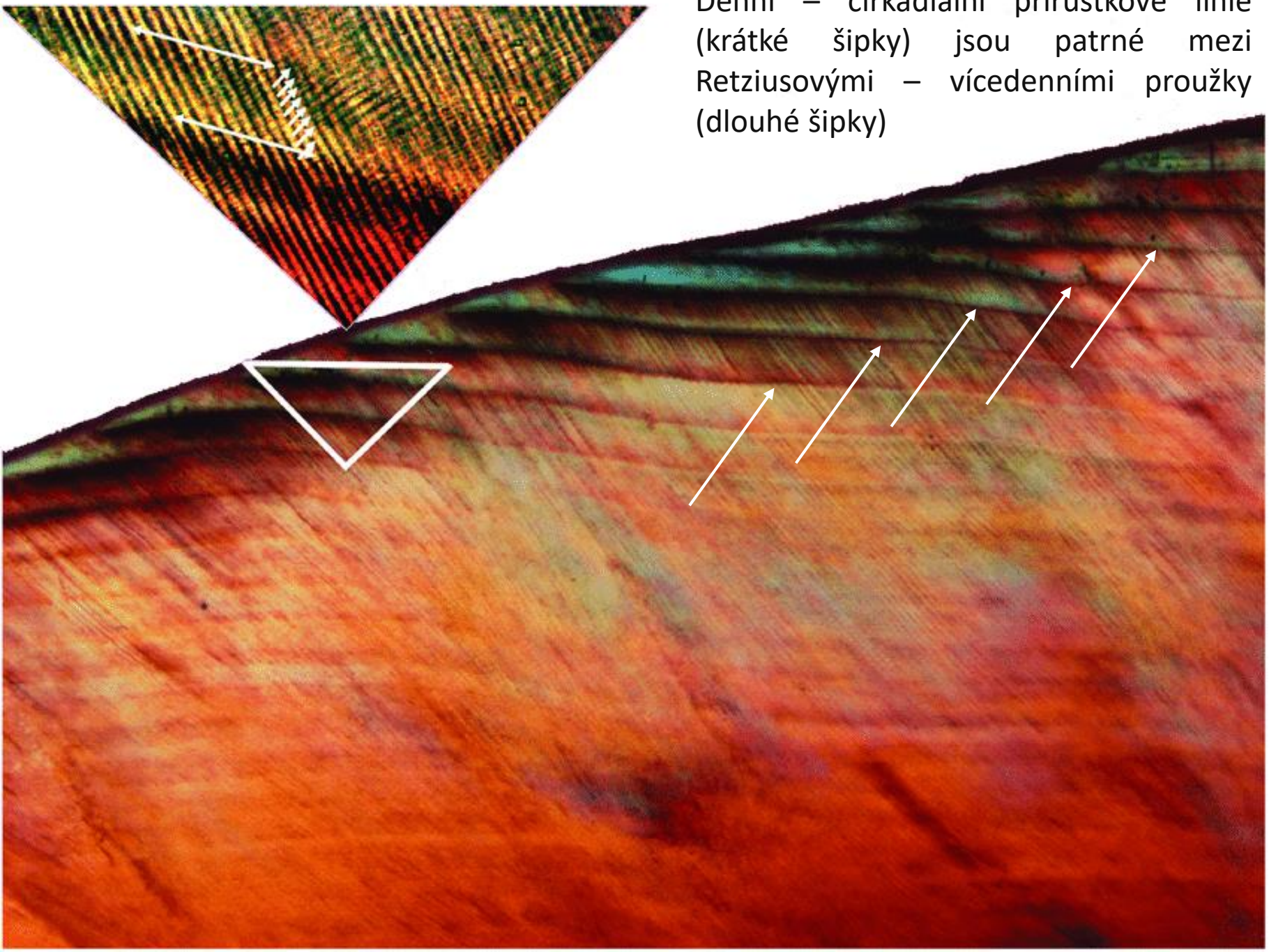
b) Retziusovy linie (sklovinné striae)

- Pozorovatelné v optickém mikroskopu na zubních výbrusech, vzdálenost 25-35 µm
- Od dentinosklovinné hranice k povrchu skloviny
- Tvoří perikymata (labiální plošky předních zubů - incisivi, caninus)

c) Neonatální linie

- Výrazný pruh méně mineralizované skloviny
- Vzniká v důsledku náhle změny příjmu potravy při narození
- U zubů primární dentice a M1
- Patří mezi Retziusovy linie

Denní linie

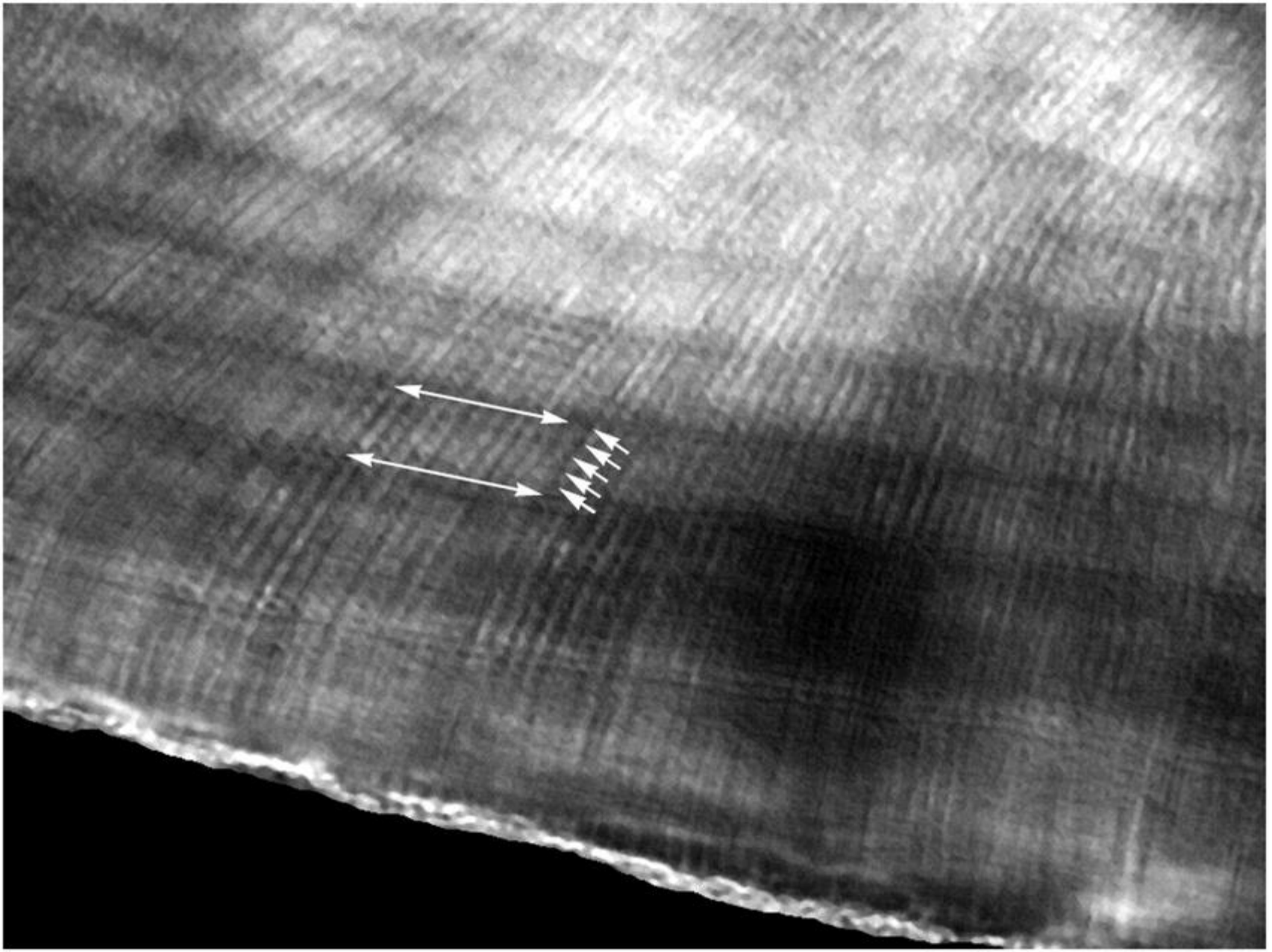


Denní – cirkadiální přírůstkové linie (krátké šipky) jsou patrné mezi Retziusovými – vícedenními proužky (dlouhé šipky)

Počet příčných proužků mezi sousedními Retziusovými liniemi se nazývá „repeated period“. U lidského moláru je to 5-10 proužků.

(Timothy G. Bromage et al., 2015, American Journal of Physical Anthropology; Hard Tissue Biology, Metabolomics, and Life History)

Denní linie

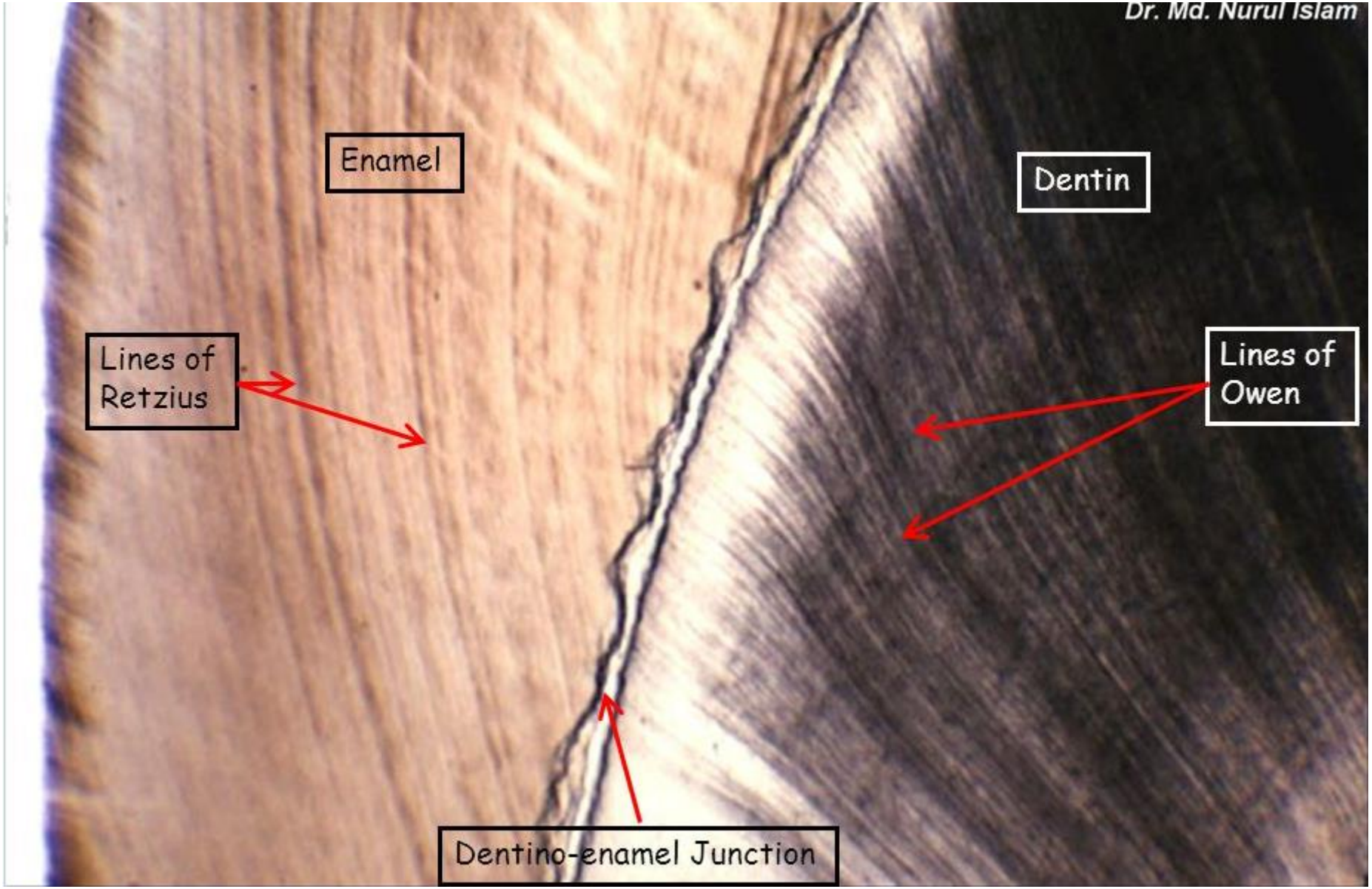


Denní – cirkadiální přírůstkové linie (krátké šipky) jsou patrné mezi Retziusovými – vícedenními proužky (dlouhé šipky)

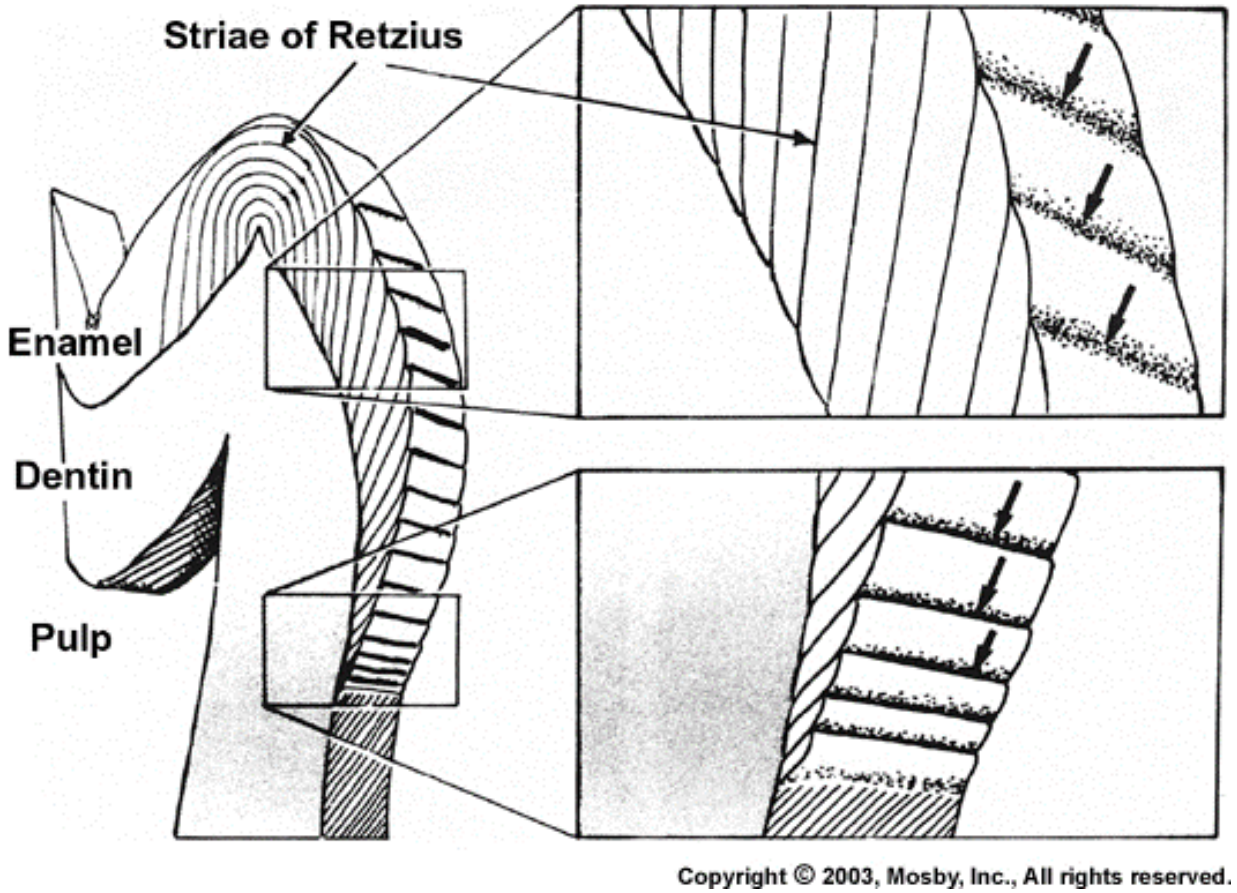
Prasečí sklovina

(Timothy G. Bromage et al., 2015, American Journal of Physical Anthropology; Hard Tissue Biology, Metabolomics, and Life History)

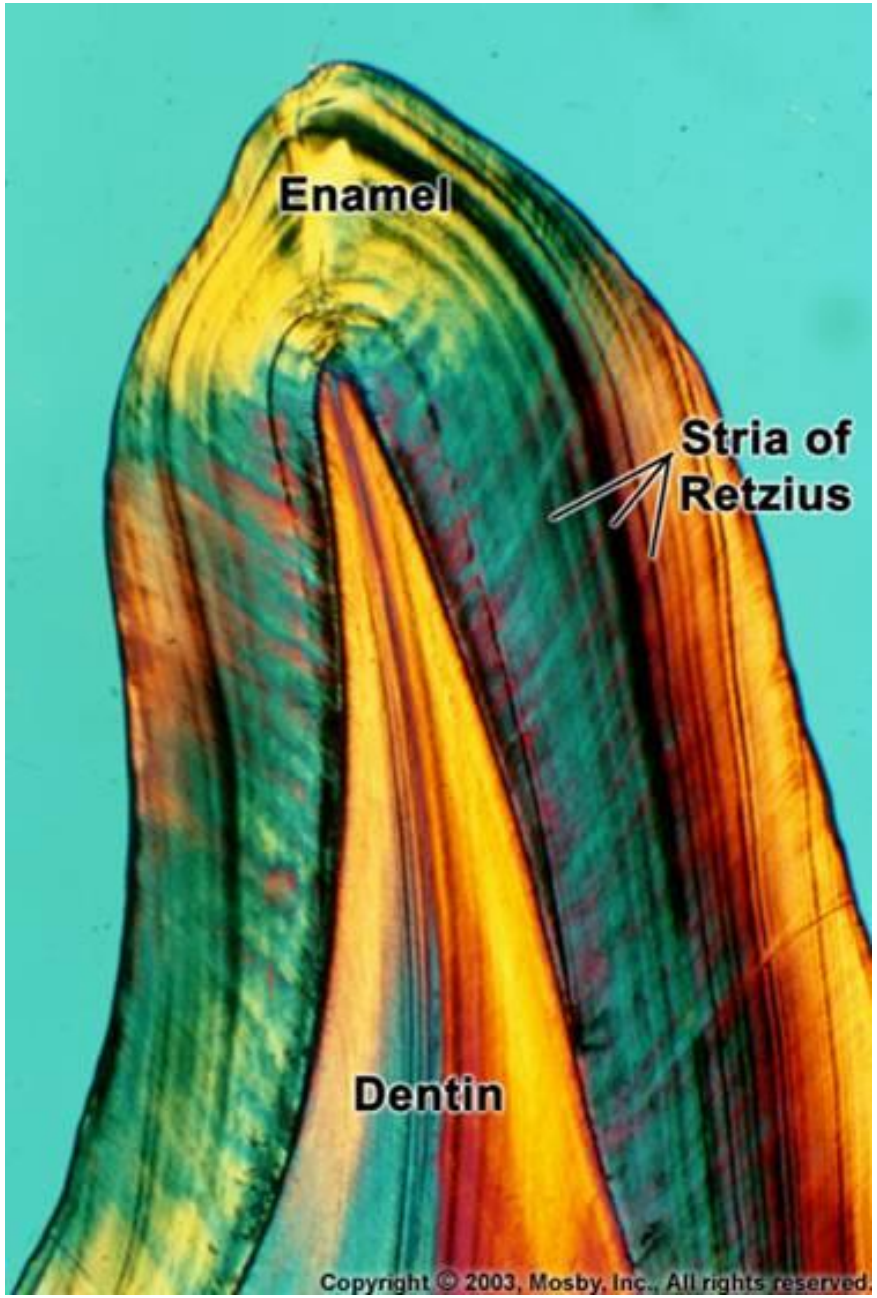
Retziusovy linie



Retziusovy linie

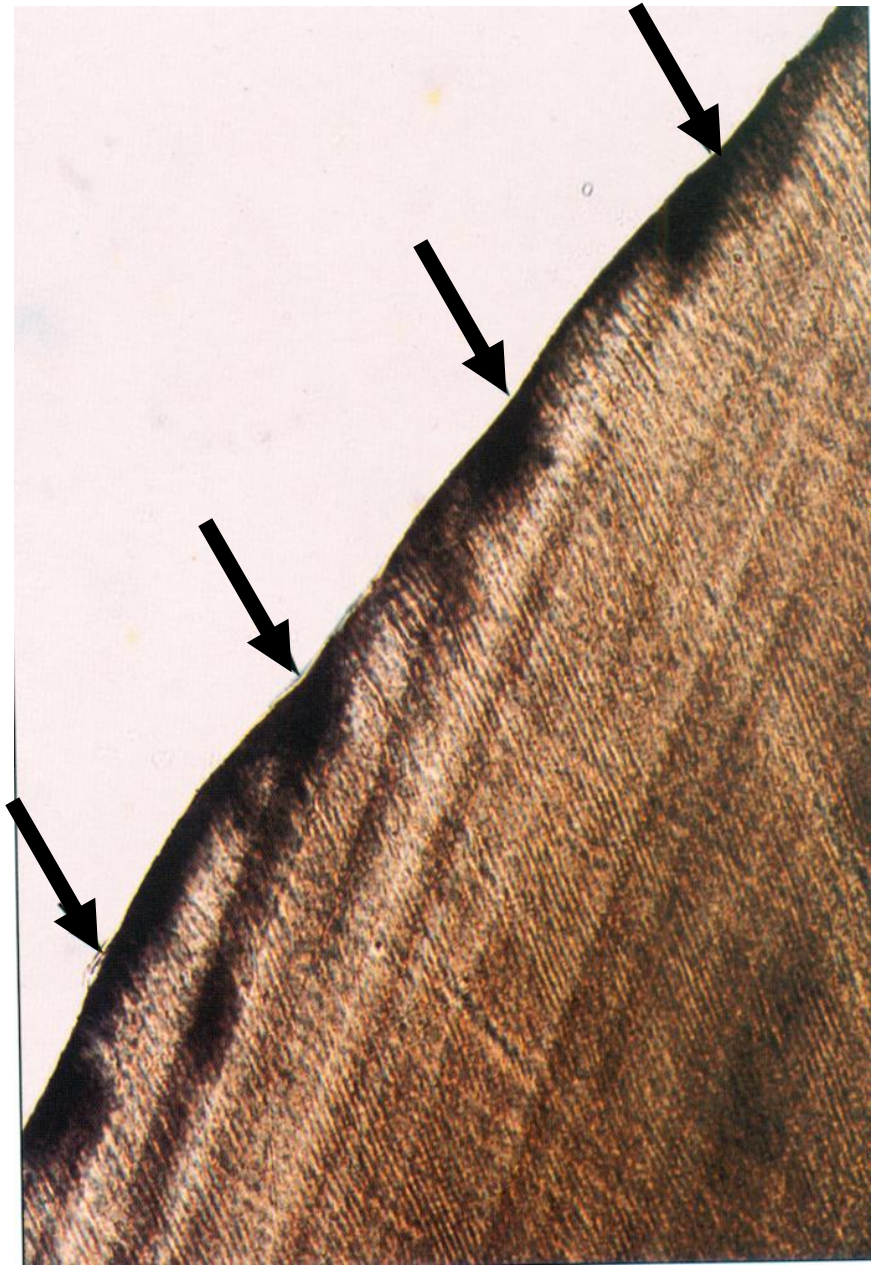


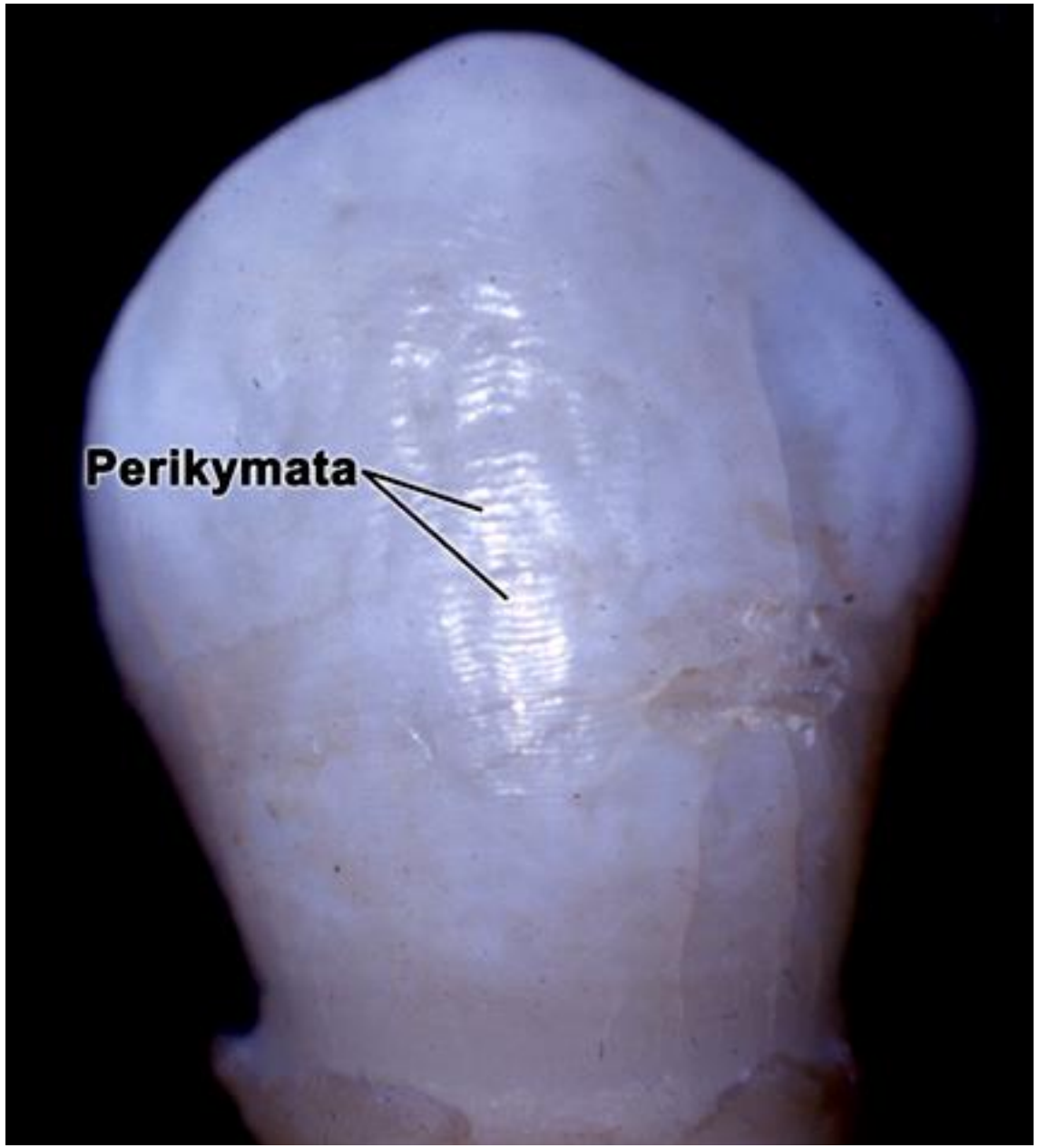
Copyright © 2003, Mosby, Inc., All rights reserved.



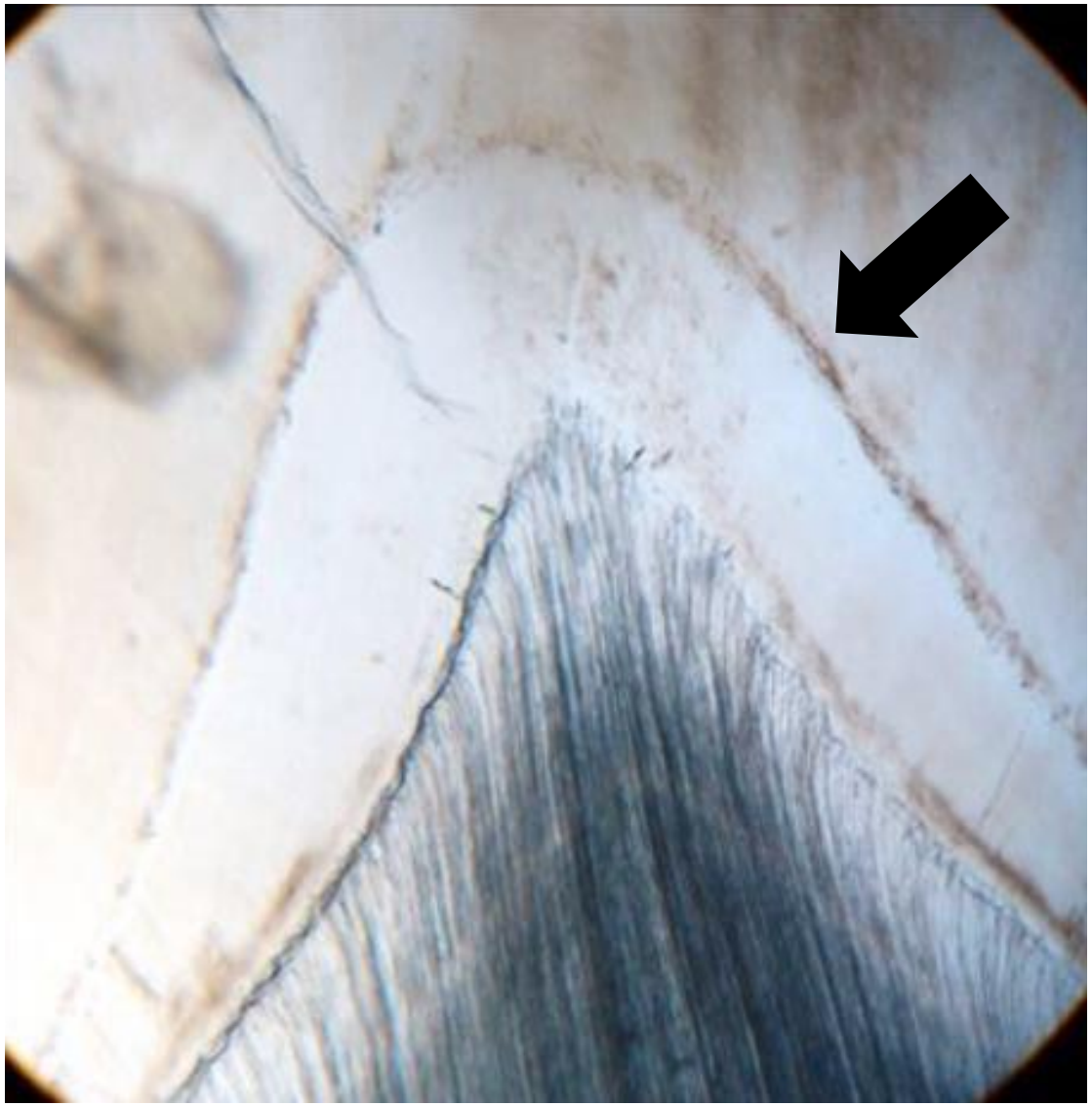
Copyright © 2003, Mosby, Inc., All rights reserved.

Perikymata

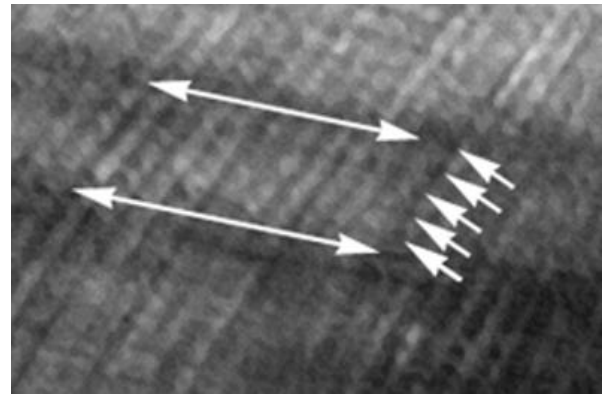




Neonatální linie

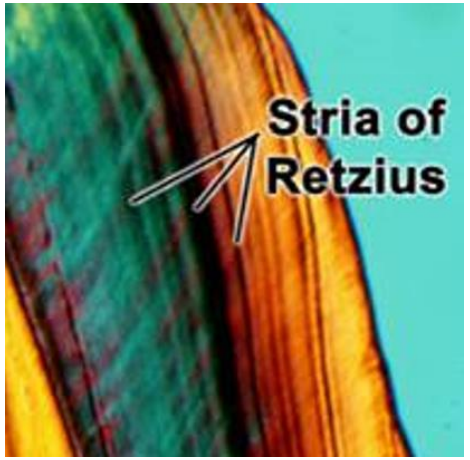


Inkrementální (přírůstkové) linie skloviny



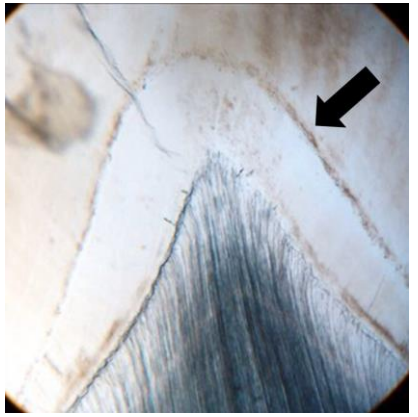
projev periodické aktivity ameloblastů nebo společné mineralizace většího počtu denních přírustků prizmat

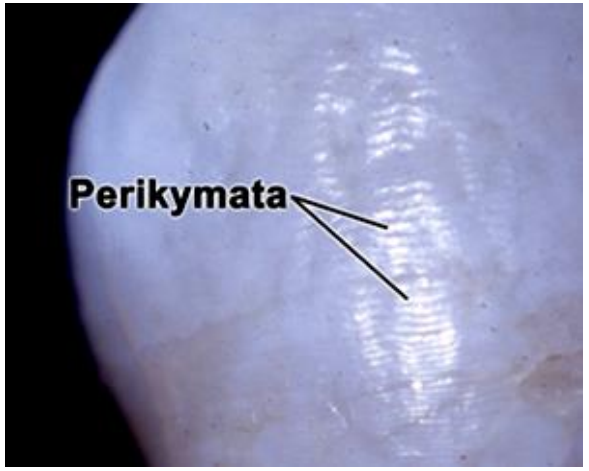
a) Denní linie
- Způsobují příčné pruhování prizmat (cross-striation), velmi tenké 2,5 - 6 µm
- Střídání fáze intenzivní sekrece s fází odpočinkovou
- Souvisí s cirkadiálními rytmy



b) Retziusovy linie (sklovinné striae)
- Pozorovatelné v optickém mikroskopu na zubních výbrusech, vzdálenost 25-35 µm
- Od dentinosklovinné hranice k povrchu skloviny
- Tvoří perikymata (labiální plošky předních zubů - incisivi, caninus)

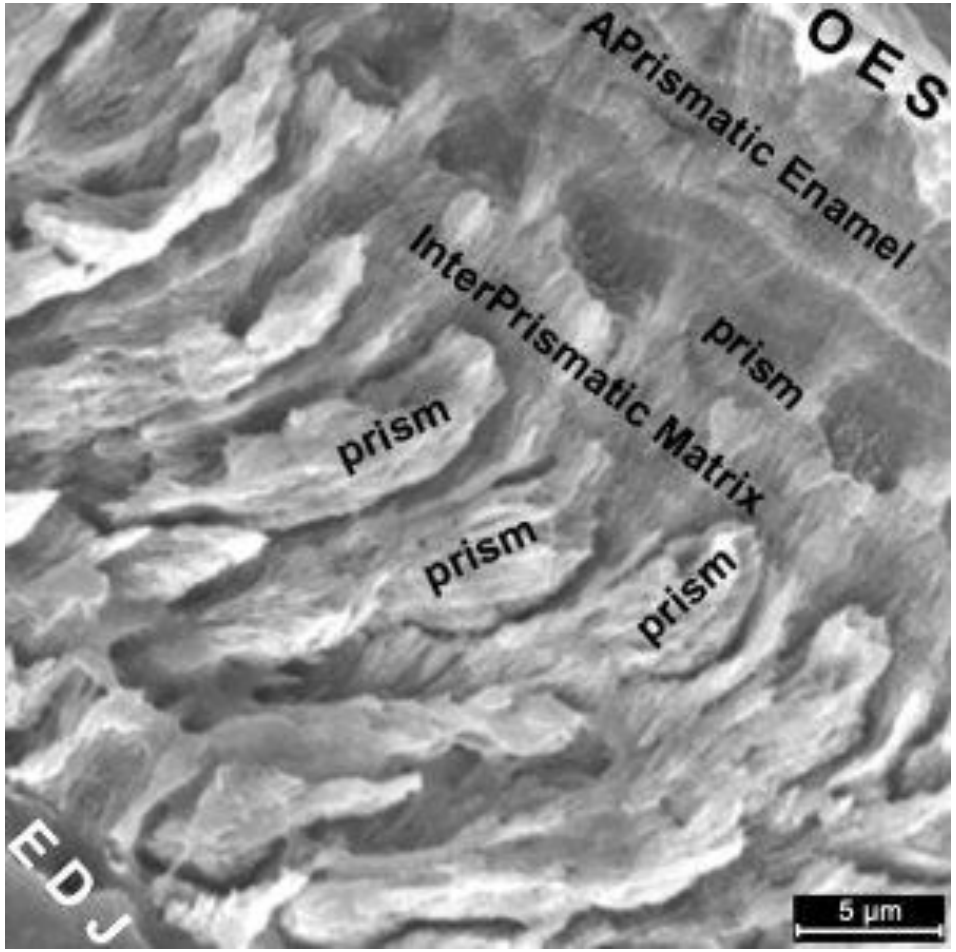
c) Neonatální linie
- Výrazný pruh méně mineralizované skloviny
- Vzniká v důsledku náhle změny příjmu potravy při narození
- U zubů primární dentice a M1
- Patří mezi Retziusovy linie

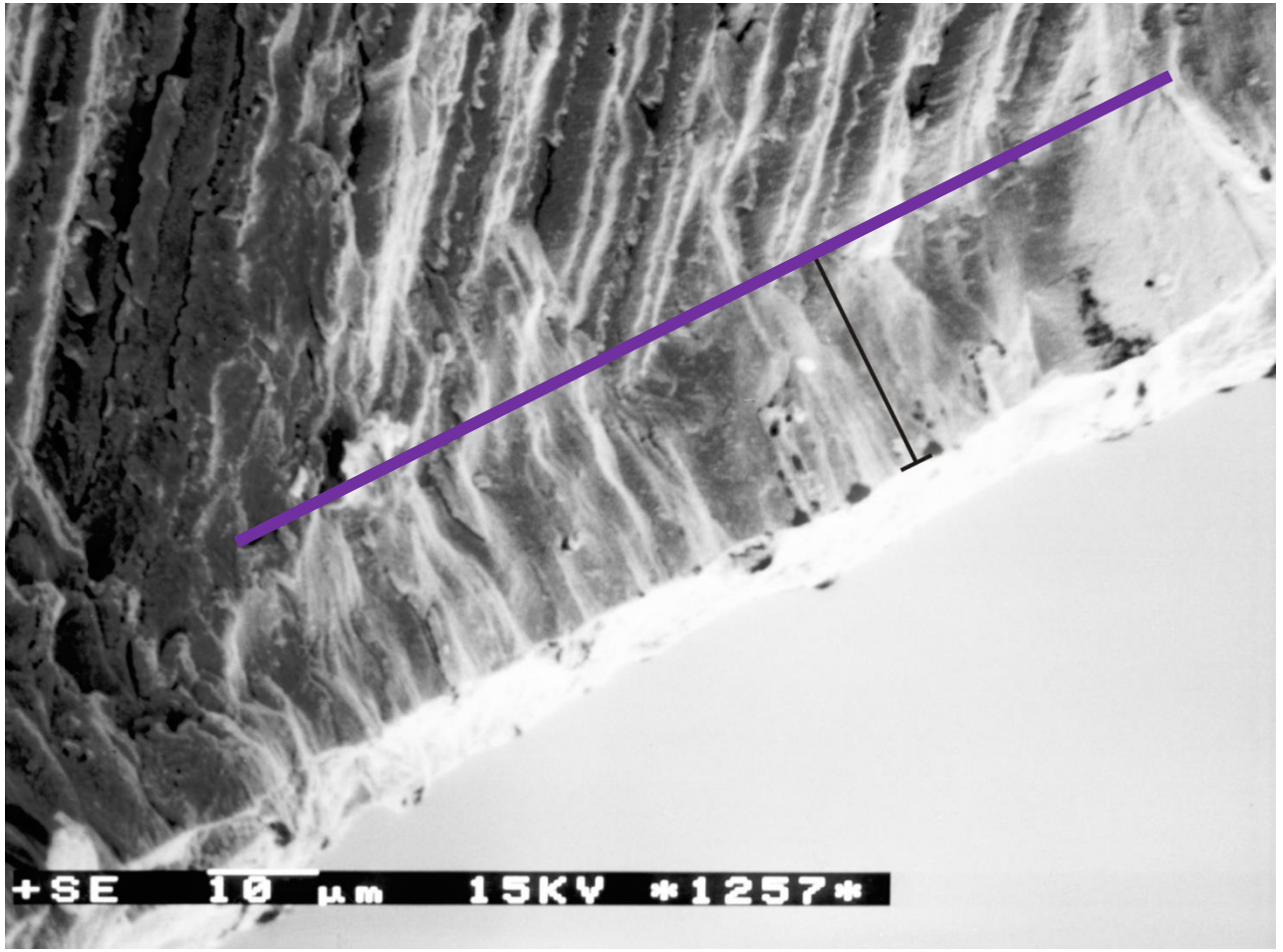


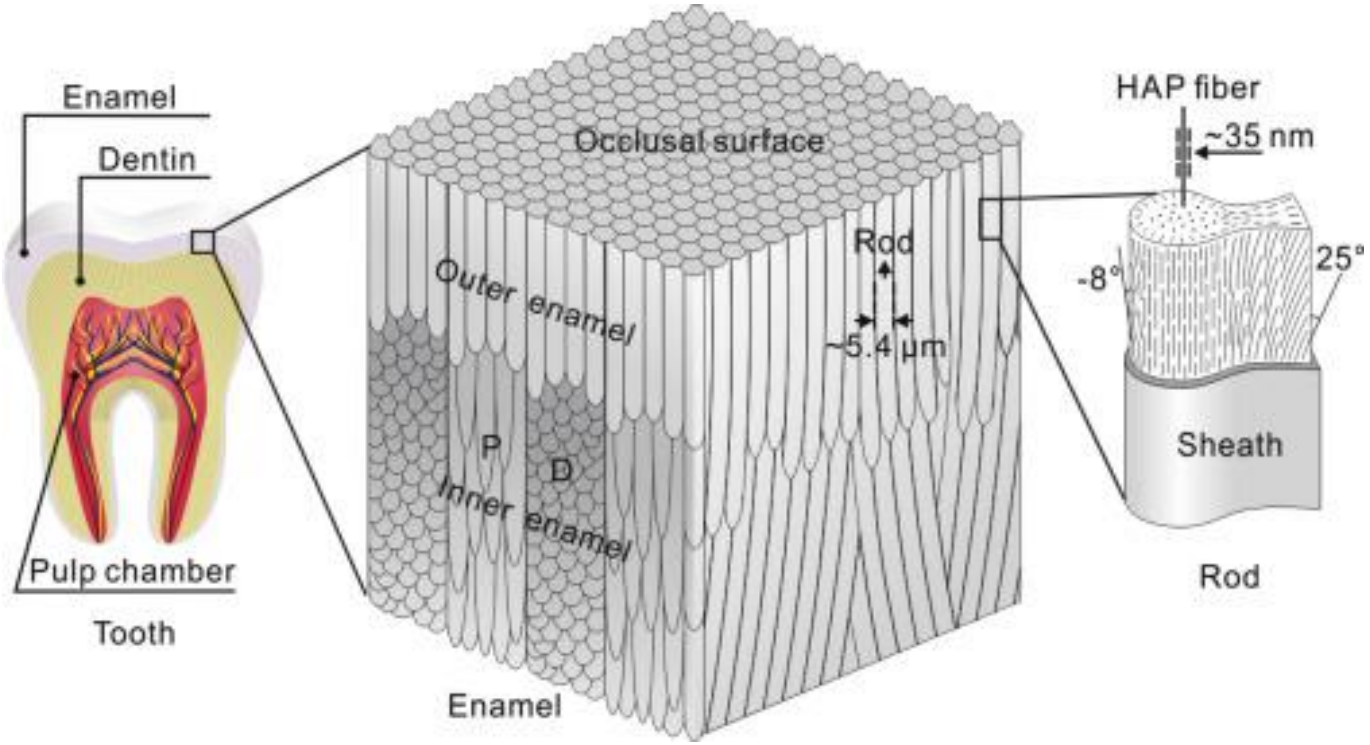


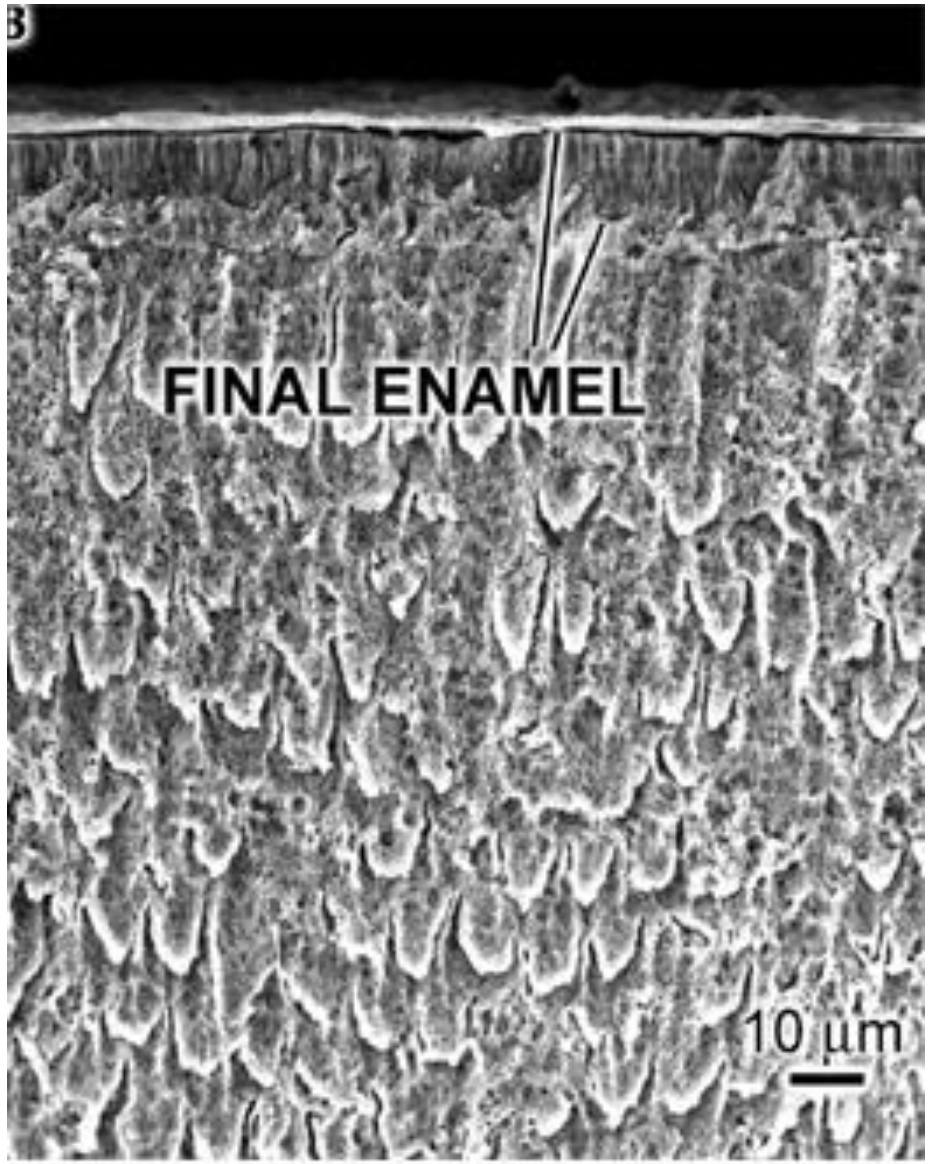
Aprizmatická sklovina

- 20-70 um tlustá vrstva na povrchu korunky bez prizmat
- Tvrdší a více mineralizovaná, obsahuje více fluoru,
- Tvoří se před ukončením aktivity ameloblastů
- Krystaly hydroxylapatitu uspořádány souběžně a kolmo k povrchu emailu





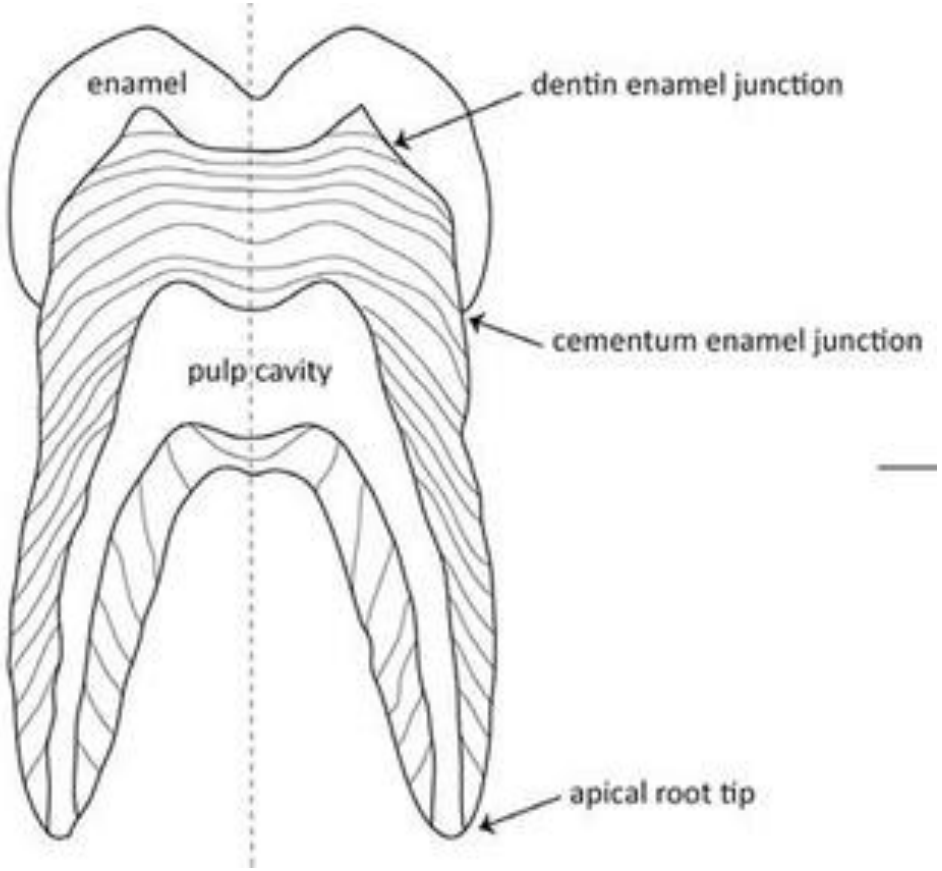


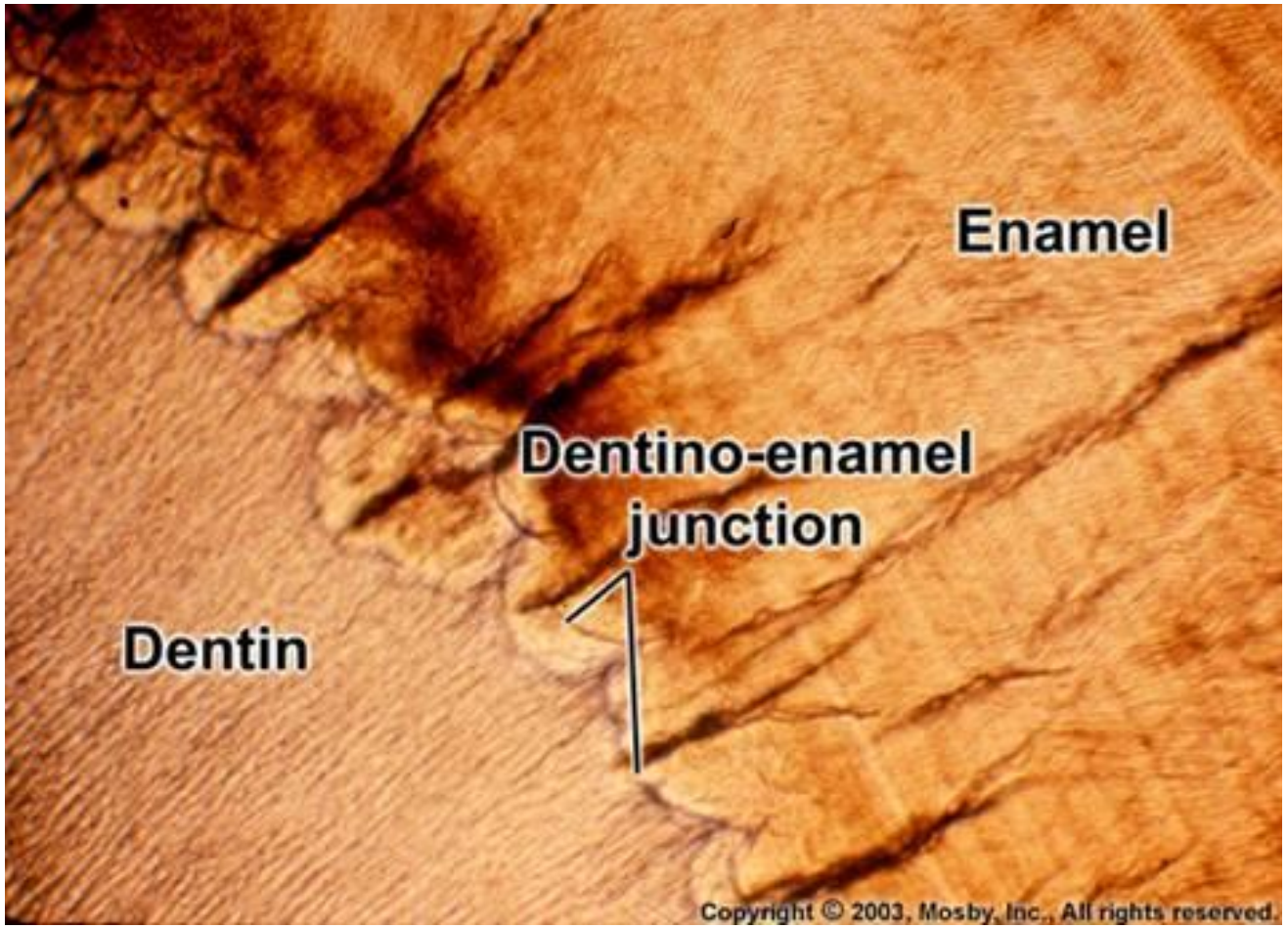


Copyright © 2003, Mosby, Inc., All rights reserved.

Dentinosklovinná hranice

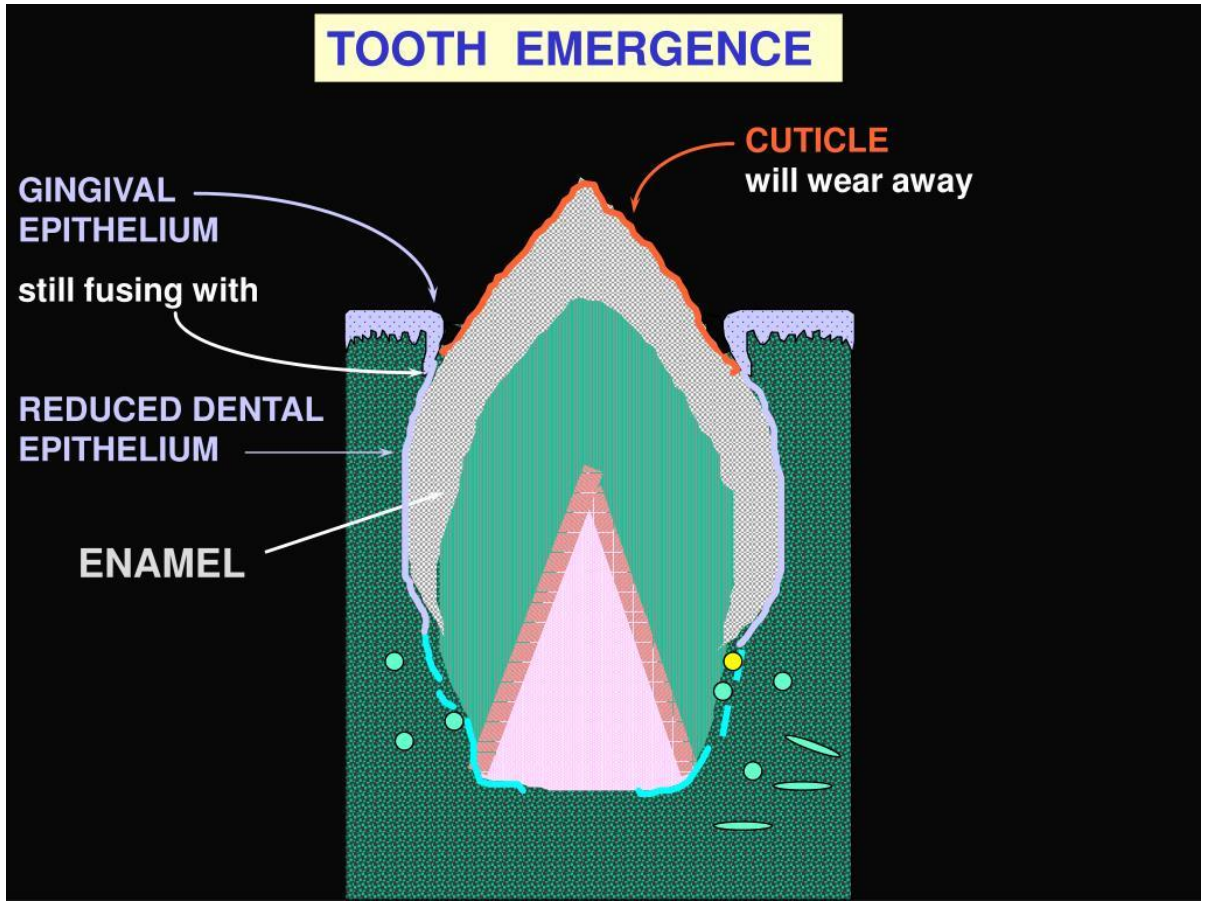
- Hranice mezi sklovinou a dentinem, tvoří funkční napojení těchto dvou tvrdých tkání.
- Vývojově se nachází v místě bývalé bazální membrány ameloblastů
- Na podélných preparátech má vroubkovaný průběh (girlandy)
- Sklovinná prizmata

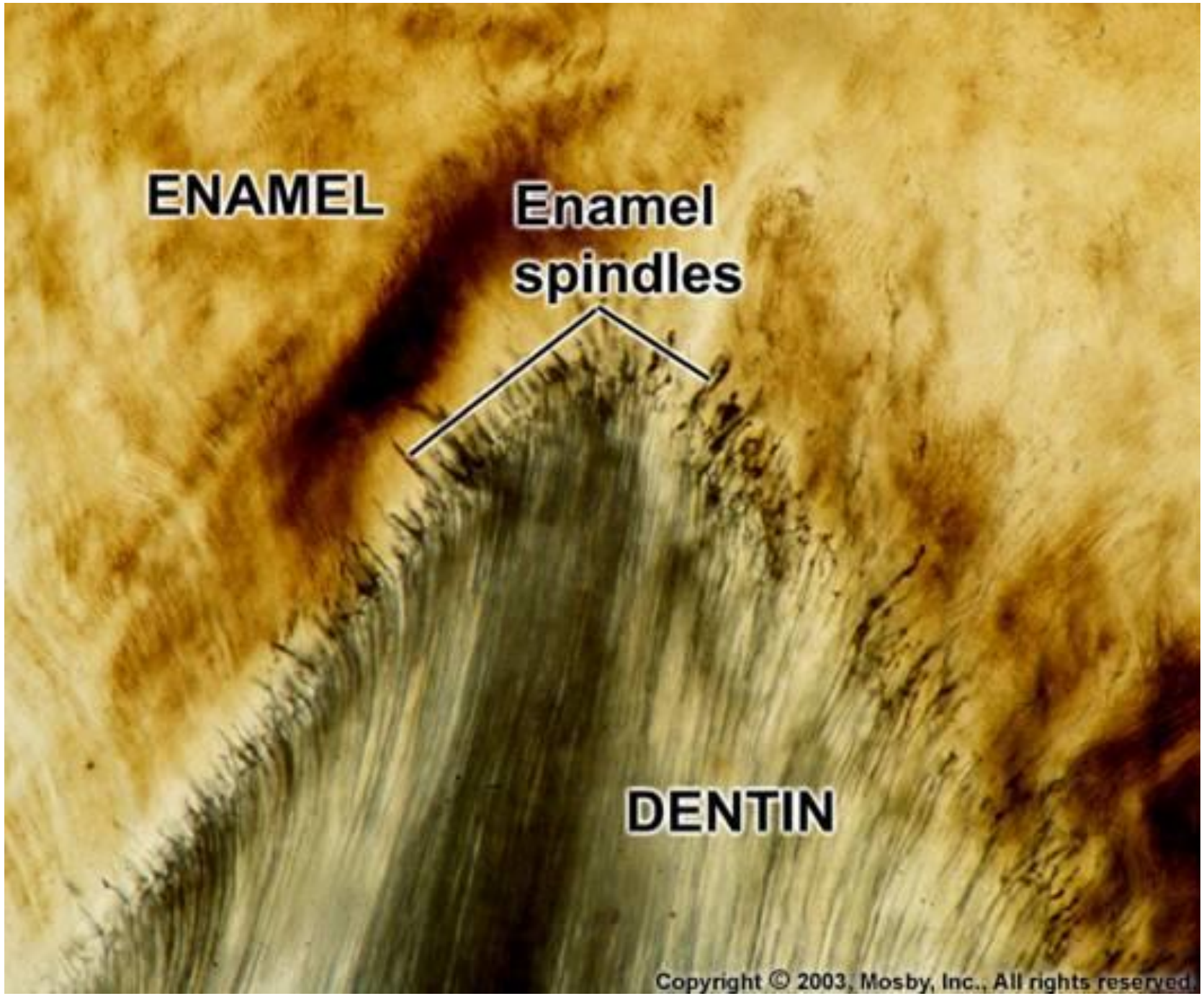




Cuticula dentis (Nasmythova blanka)

- Kryje nově prořezaný zub
- Vzniká při prořezávání korunky splynutím primární a sekundární kutikuly za vývoje zubu
- Snadno podléhá abrazi – mizí z kousacích plošek zubů
- Asi 1 um tlustá blanka, tvořena proteiny a polysacharidy
- Po prořezání její zbytky můžou být patrné pouze v blízkosti zubního krčku





Sklovinná vřeténka

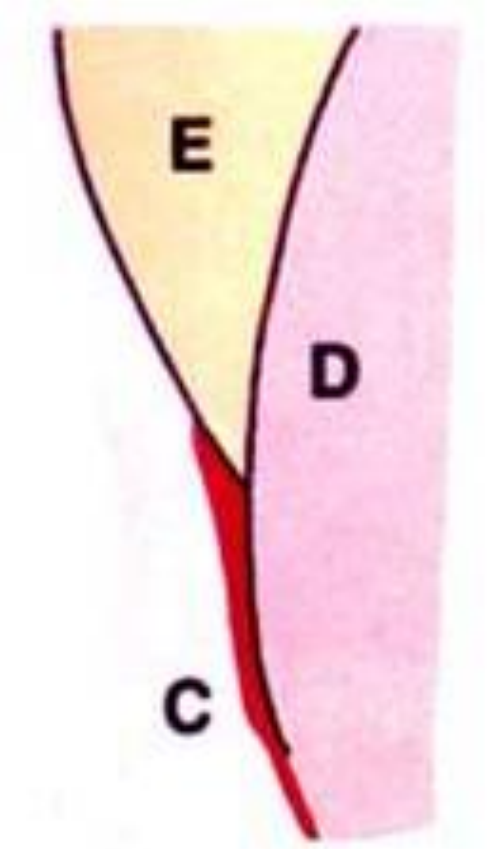
(fuzus enameli)

až 100 um dlouhá prodloužení dentinových tubulů do skloviny

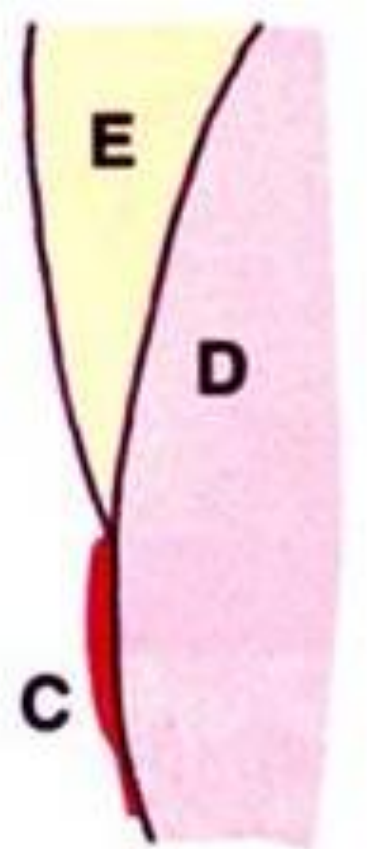
Cemento-sklovinná hranice

3 typy:

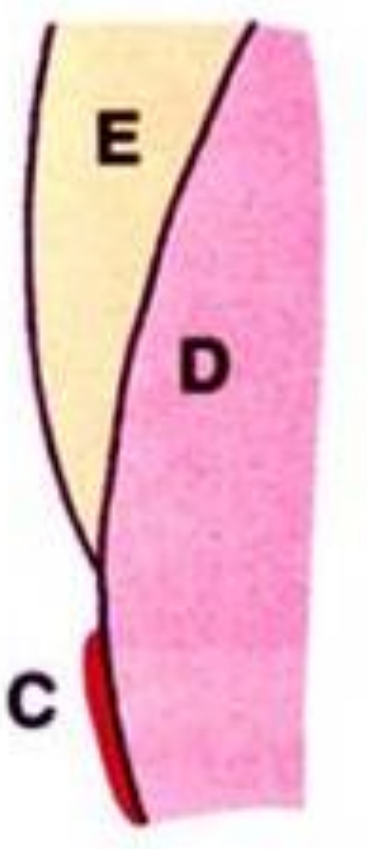
přesah cementu na sklovinu
15 %



v ostré linii
52 %



s mezerou
33 %



Regenerace skloviny

Sklovina neregeneruje!
Ameloblasty zanikají během erupce

Reparace skloviny

Dochází ke zpětné remineralizaci poškozené skloviny působením slin

Hypoplazie skloviny

Sklovina je měkká a drobivá
etiologie:

- Poškození ameloblastů a předčasné ukončení jejich činnosti
- Genetické příčiny *(amelogenesis imperfecta)*
- Dlouhodobě zvýšený přísun fluoridů (5 násobné zvýšení fluoridů v pitné vodě)
- Tetracyklinová antibiotika - inkorporována do skloviny během kalcifikace
- Horečnaté stavy během amelogeneze

Věkové změny skloviny

- **Obrušování –** v pokročilejších stádiích může dojít až k expozici dentinu
- **Změna chemického složení** – zvyšování obsahu fluoridů, snižování obsahu vody a organických sloučenin
- **Změna pigmentace skloviny –** inkorporace organického materiálu do skloviny, tloustnutím dentinu a jeho tmavnutí
- **Změny permeability –** s věkem se snižuje, krystaly během života rostou a zmenšují se póry mezi nimi

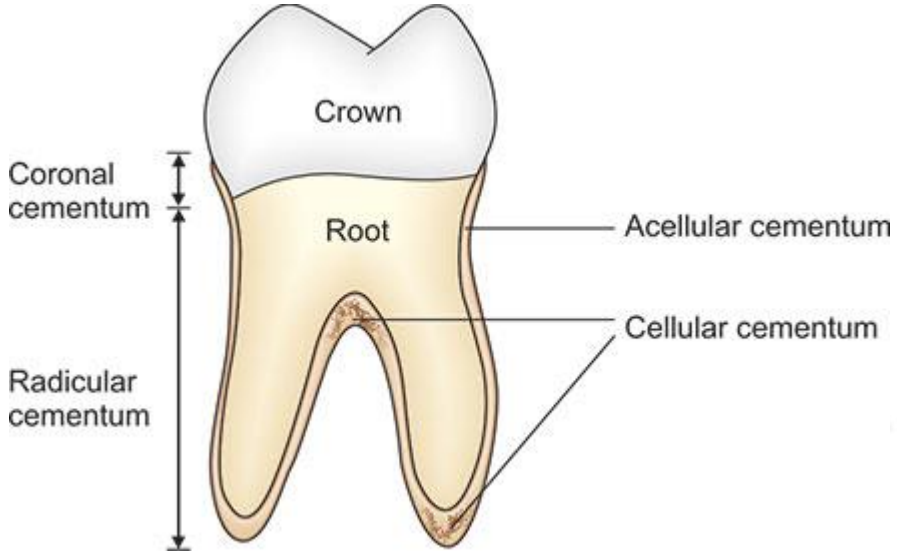
Zubní cement

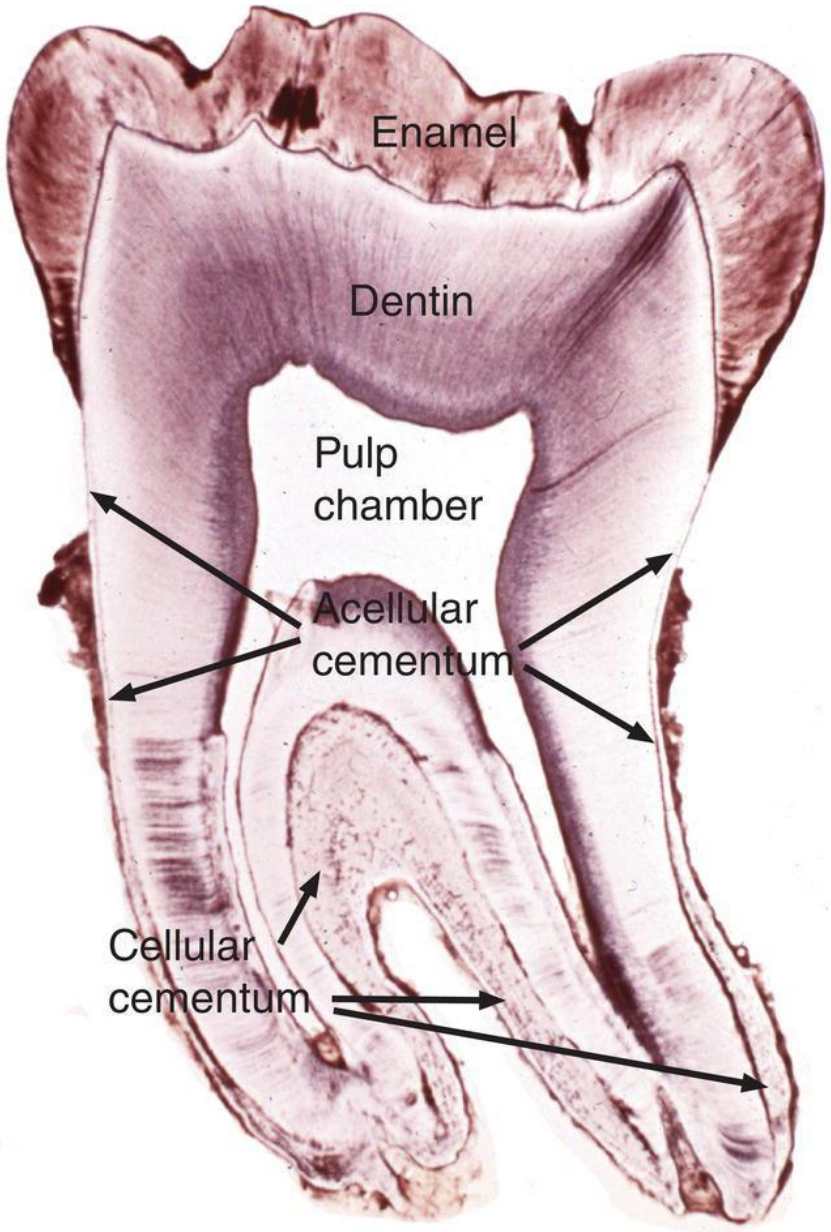
(cementum, substantia petrosa)

Zubní cement

- Tvrdá, kosti podobná tkáň, kryjící kořen zubu
- Nažloutlá barva
- **Avaskulární** hmota
- **Nedochází v něm k přestavbě** (na rozdíl od kostní tkáně)
- Může být resorbován **cementoklasty** - v období výměny zubů
- Je tvořen stále v průběhu života **apozicí nových vrstev** vitální tkáně. Přirůstání probíhá periodicky – inkrementální linie.
- Vývojově pochází z ektomezenchymu

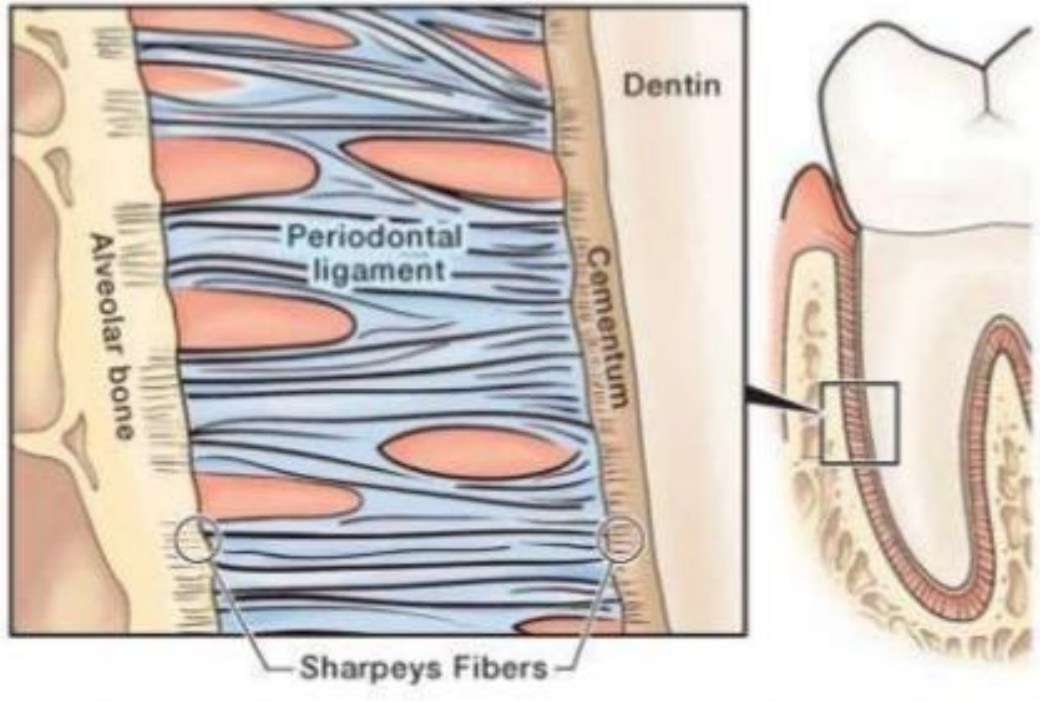
- Tvoří ho:
  - Buněčná hmota
  - ECM

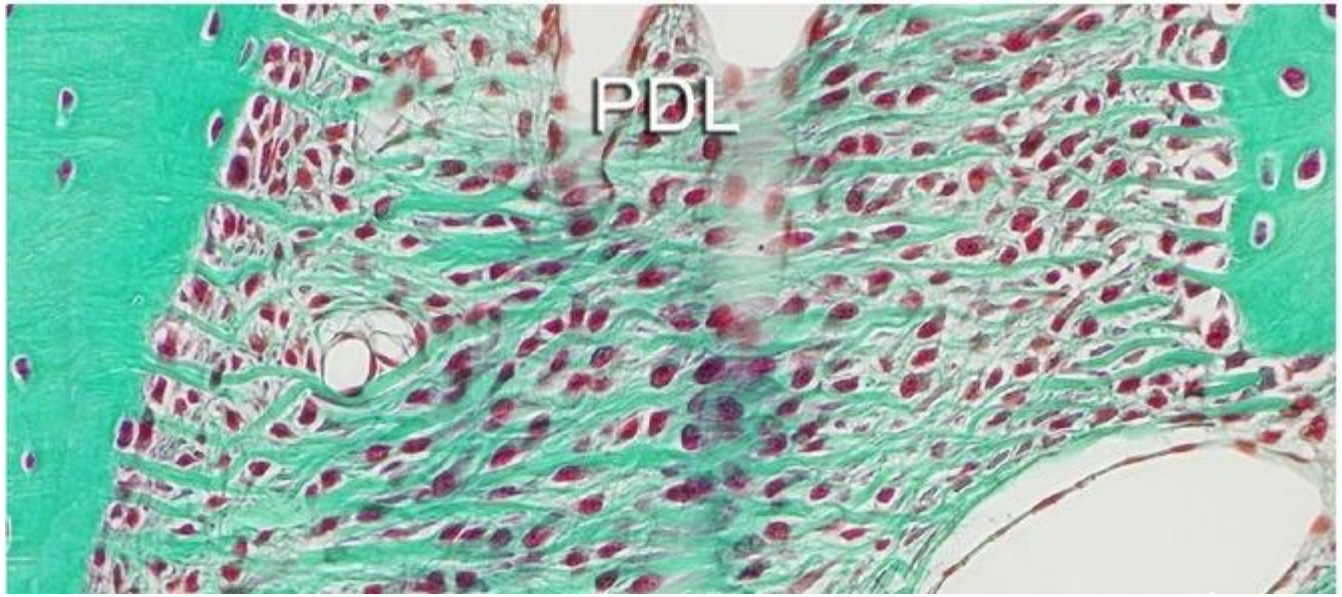




Sharpeyova vlákna

- Kolagenní vlákna (zejména kolagen 1) periodontálních ligament, která jsou zanořena na jedné straně v cementu a na straně druhé v periostu alveolární kosti
- Tvoří funkční uchycení zubu v zubního alveolu
- Probíhají až do acelulárního cementu, kde plně mineralizují





Mikroskopická stavba cementu

Cementocyty, Cementoblasty, Cementoklasty (výměna zubů)

Mezibuněčná hmota (ECM) = Cement

Podle typu ECM

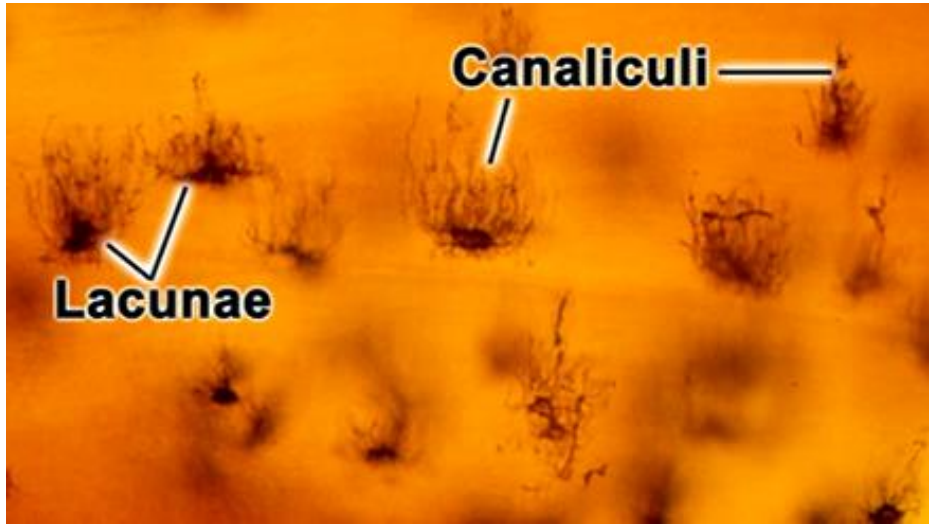
- **Acelulární (primární)**
- **Celulární (sekundární)**

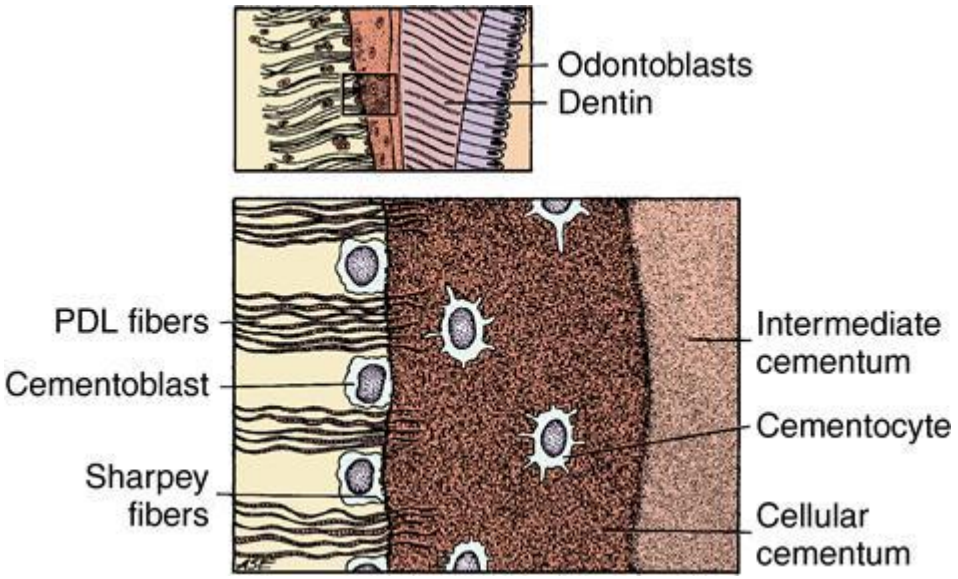
Buňky

Cementoblasty
Buňky, které se aktivně podílí na tvorbě ECM

Cementocyty
Buňky obklopené cemenózní tkání, těla uložena v dutinkách (*lacunae*), výběžky v chodbičkách (obdoba osteocytů v kosti) – *canaliculi cementi*

Cementoklasty
Podílí se na resorbci cementu dočasných zubů





Cementová matrix

Tvoří ji kolagenní vlákna a zvápenatělá amorfní extracelulární hmota

Kolagenní vlákna probíhají ve snopečcích jejichž orientaci určují síly, které za zub působí

Cement podle vzniku dělíme na:

Primární (acelulární)

Neobsahuje cementocyty

V rozsahu celého zubního kořene

Nasedá přímo na zubovinu

Tloušťka: **10 do 200 um**

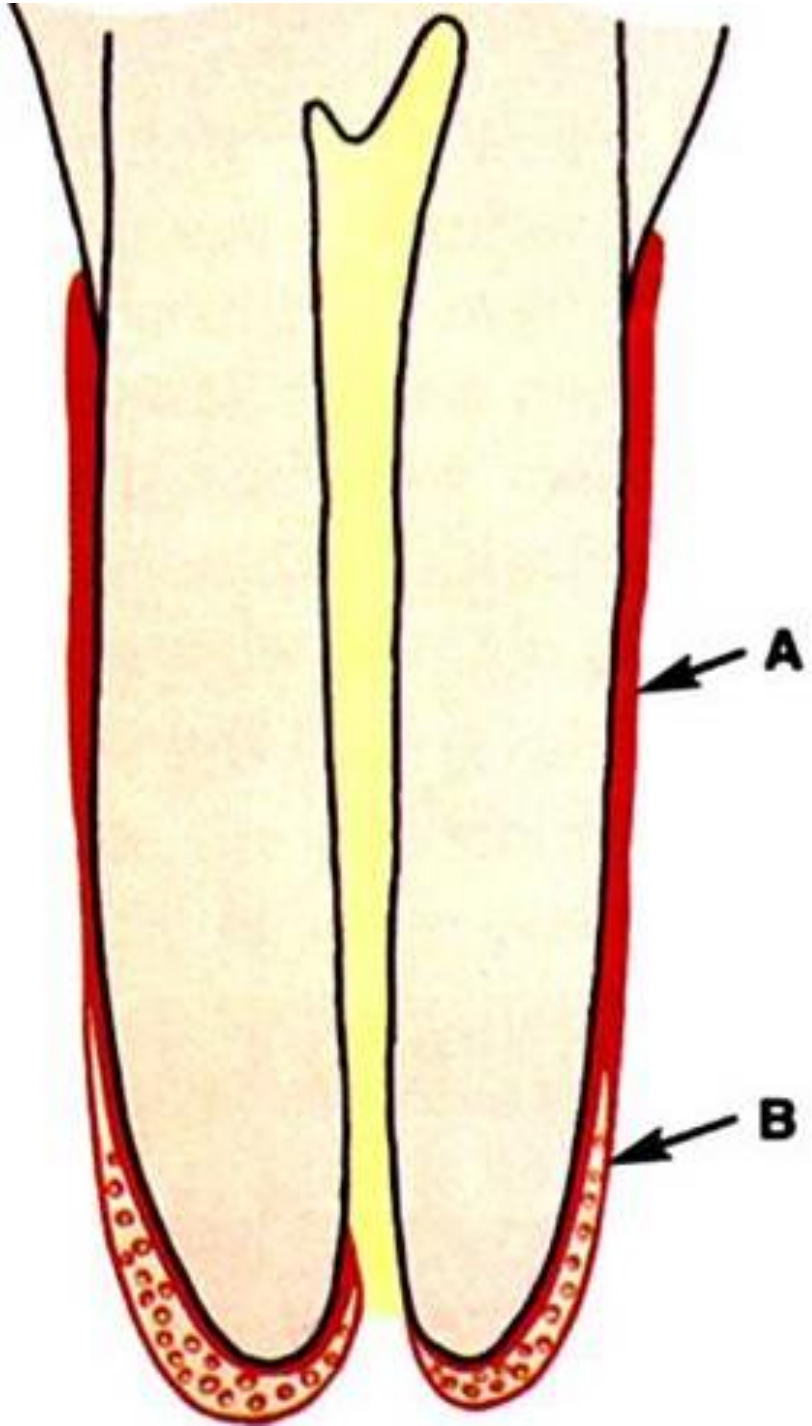
Sekundární (celulární)

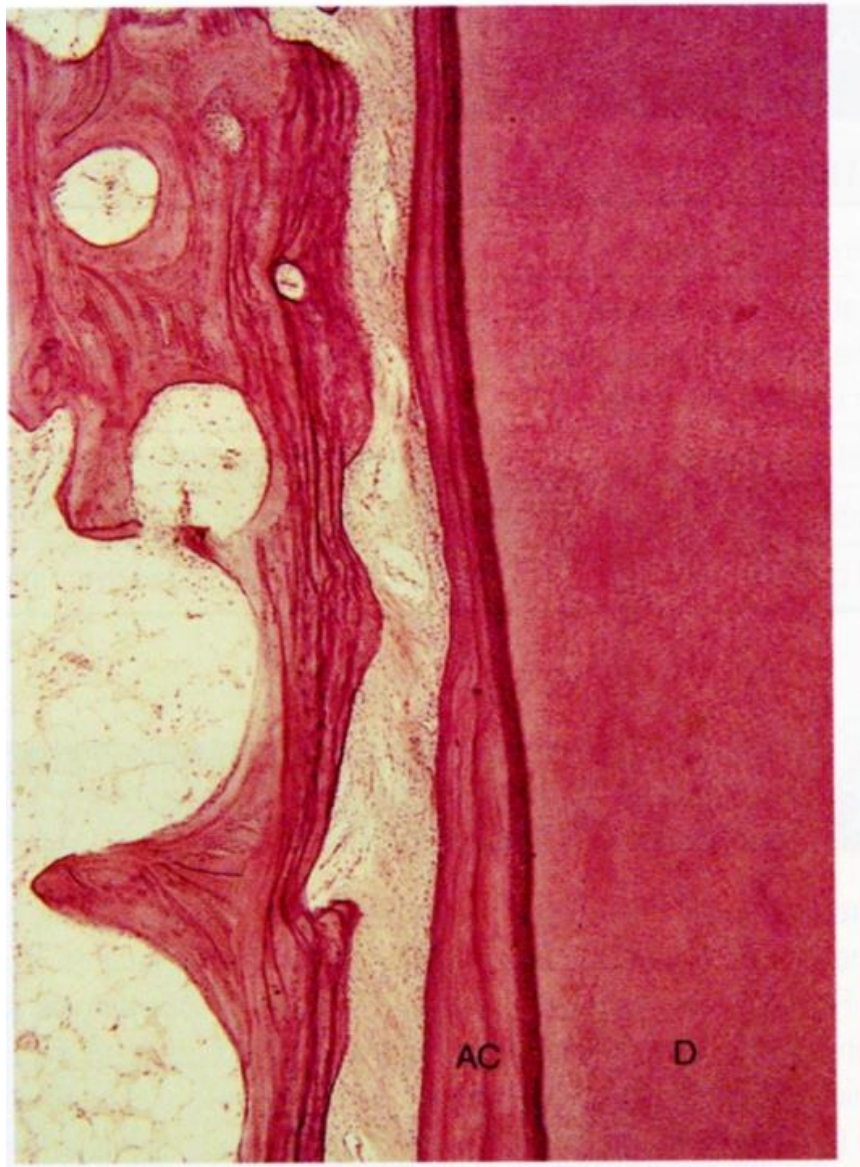
Obsahuje cementocyty

V místech zatížení nebo v důsledku stárnutí

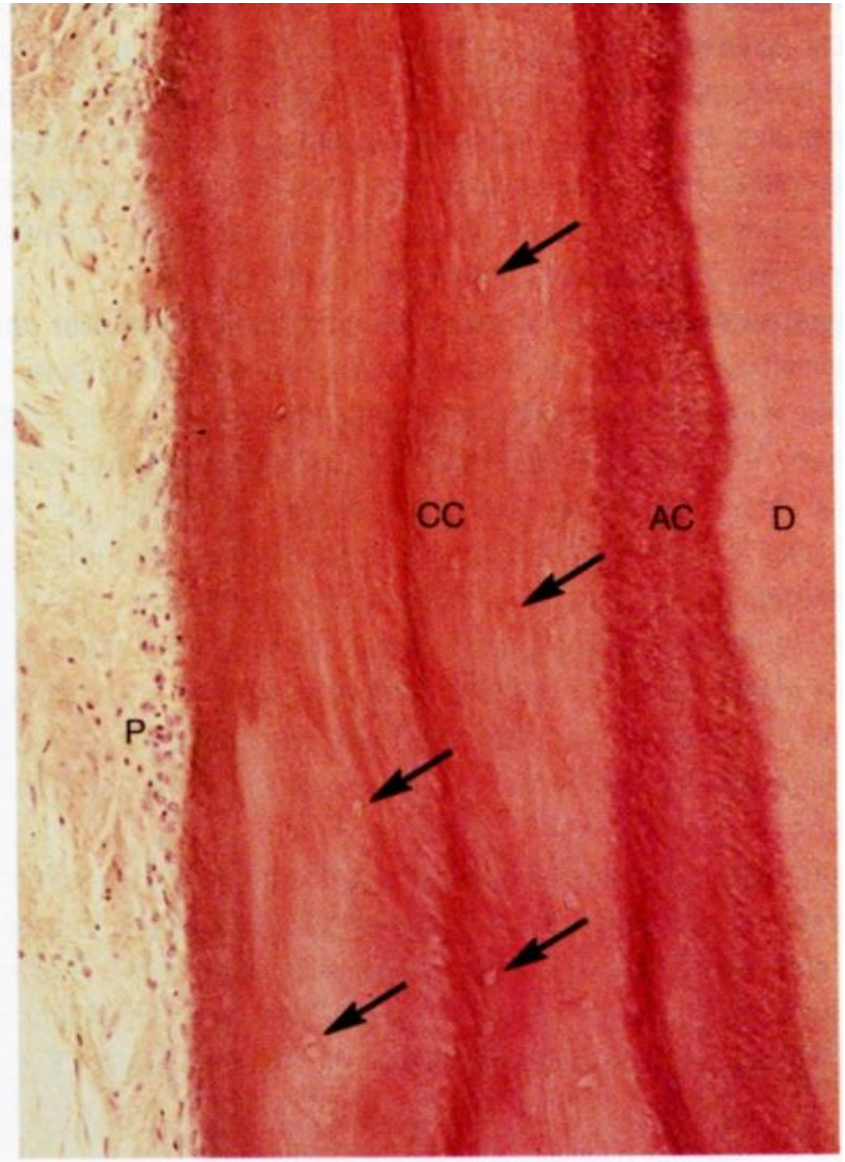
Zejména na zubních apexech

Dorůstá až do tloušťky **500 um**





A



B

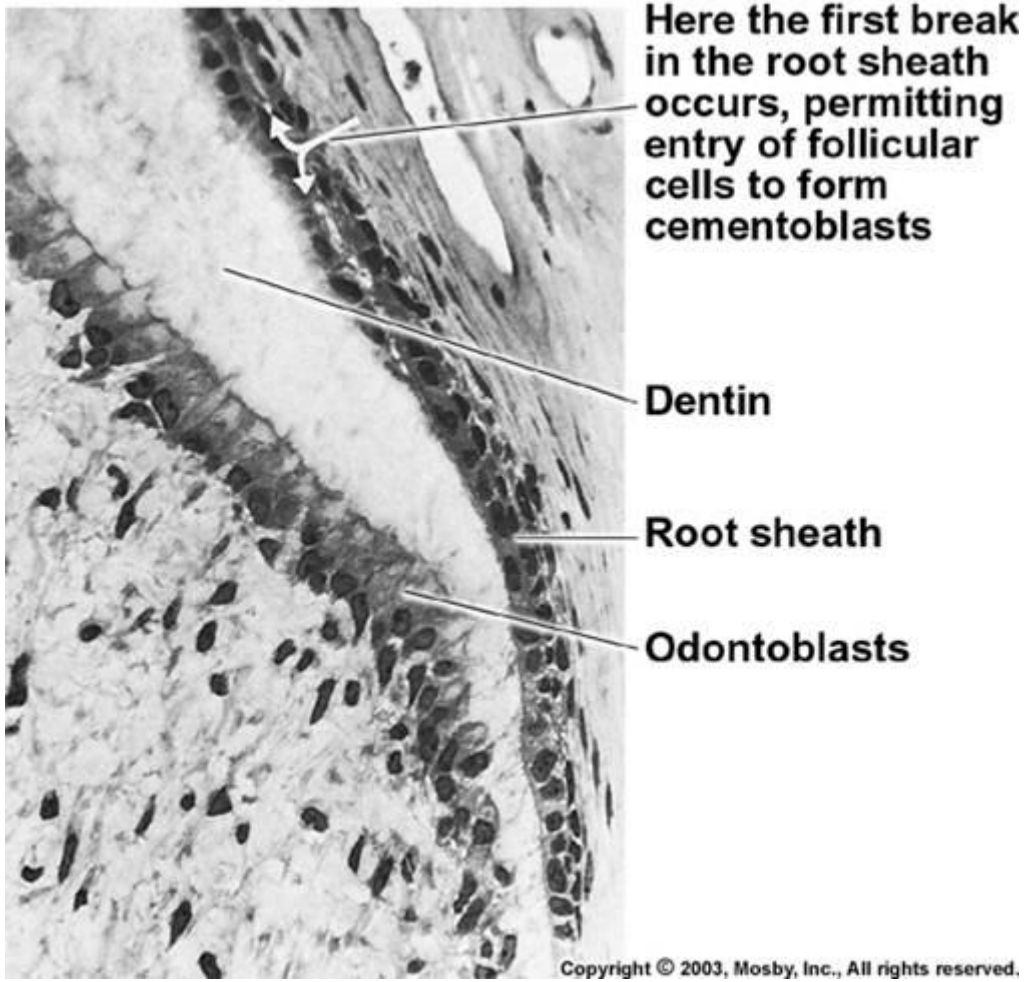
Cementogeneze

Začíná až po zániku a rozpadu Hertwigovy epitelové pochvy
Její místo zaujmou ektomezenchymové buňky, které kolem dentinového základu kořene vytvoří **cementogenní plášť**

Diferenciací ektomezenchymu pláště vzniknou cementoblasty

Zpočátku je ukládání cementózní matrix velmi pomalé, takže cementoblasty se stačí přemístit do povrchnějších vrstev
→ **acelulární (primární) cement**

V období těsně před prořezáváním zubu, produkují cementoblasty základní hmotu rychle a v takovém množství, že buňkám znemožňuje únik a po jejím zvápenatění v ní zůstanou trvale zality
→ **celulární (sekundární) cement**



Copyright © 2003, Mosby, Inc., All rights reserved.

Hyperplasie cementu
(hypercementóza)

Abnormální ztluštění cementu

Vyskytuje se buď izolovaně, nebo u všech zubů dentice (Pagetova choroba)

Nejčastější příčinou hypercementózy bývá dlouhodobé a nadměrné zatěžování zubů

Cementikly – v PDL

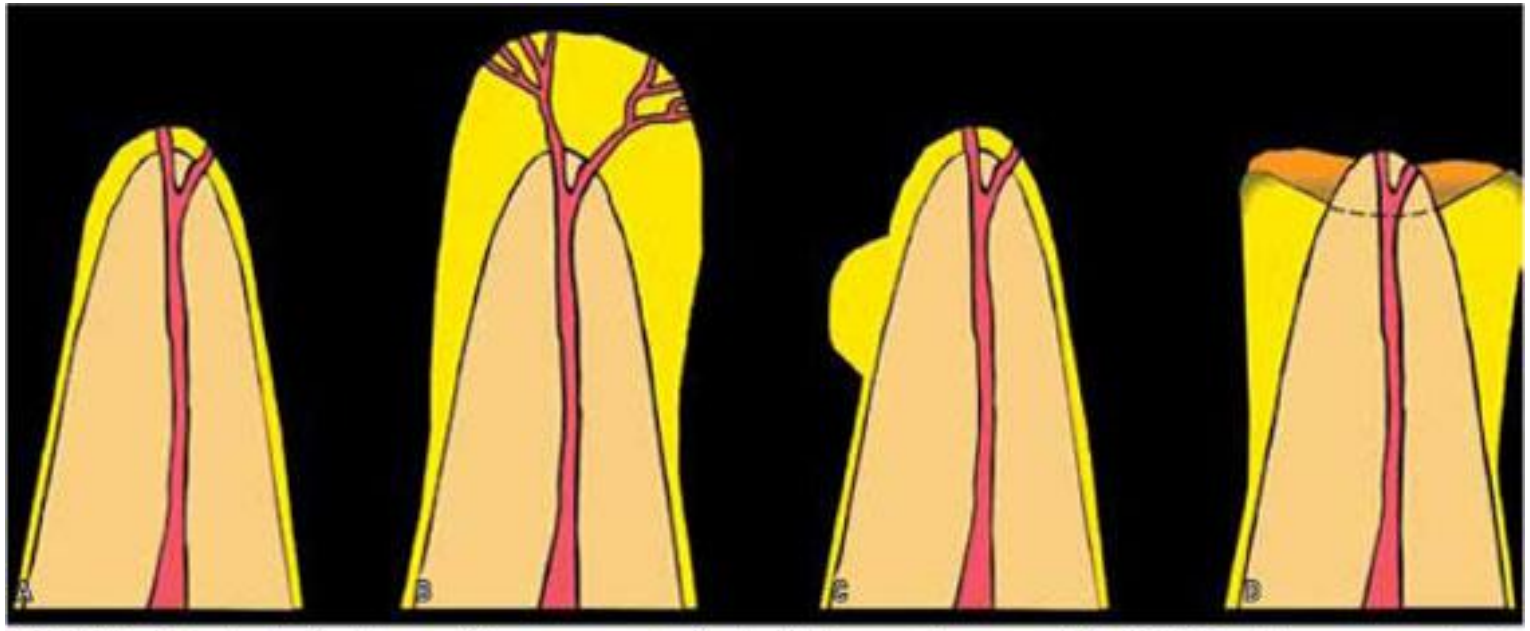
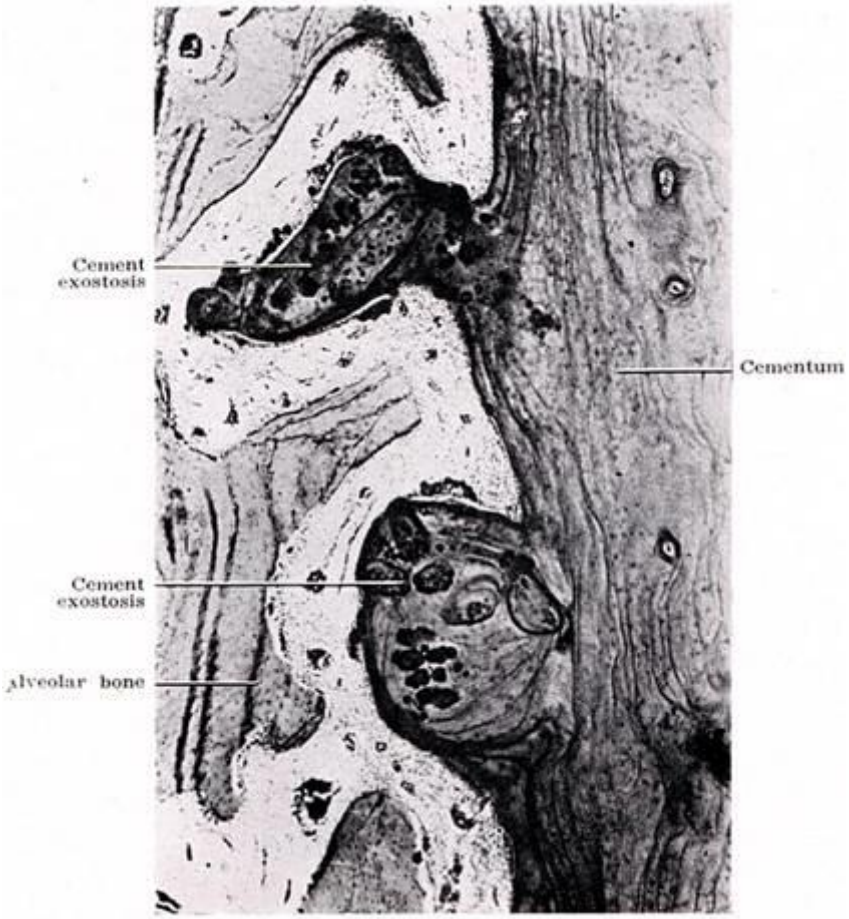
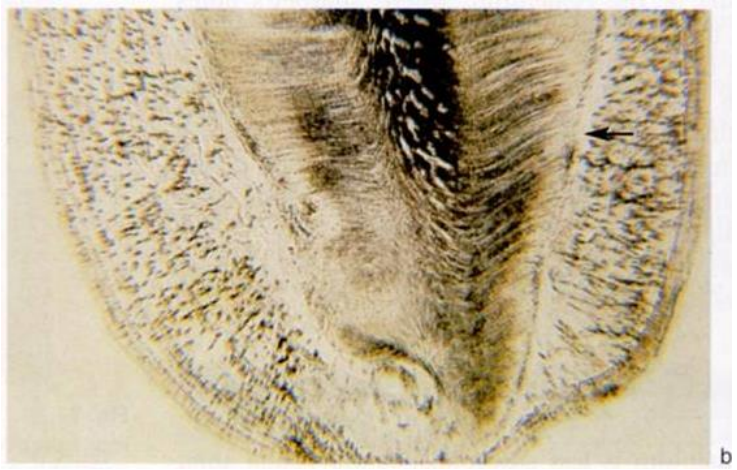


FIGURE 1 - Morphological types of hypercementosis: In (**A**) the root is normal; in (**B**) diffuse hypercementosis, when the root assumes a club shape. In (**C**) focal or localized hypercementosis, which is restricted to an isolated root surface; in (**D**) hypercementosis in the shape of a shirt sleeve cuff, which does not involve the most apical part and occurs on the periphery, as result of chronic periapical lesion (Source: Pinheiro[75]).





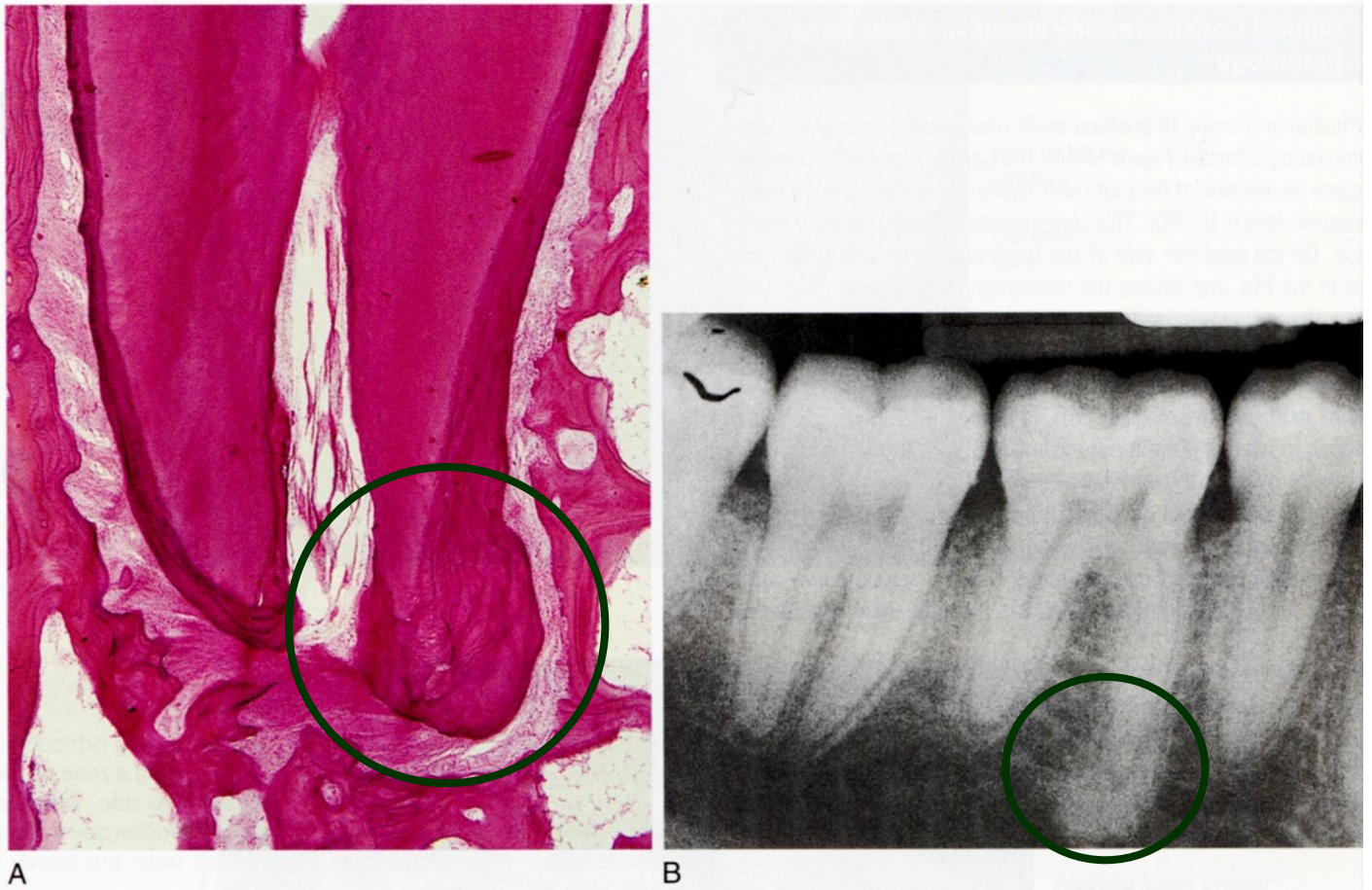


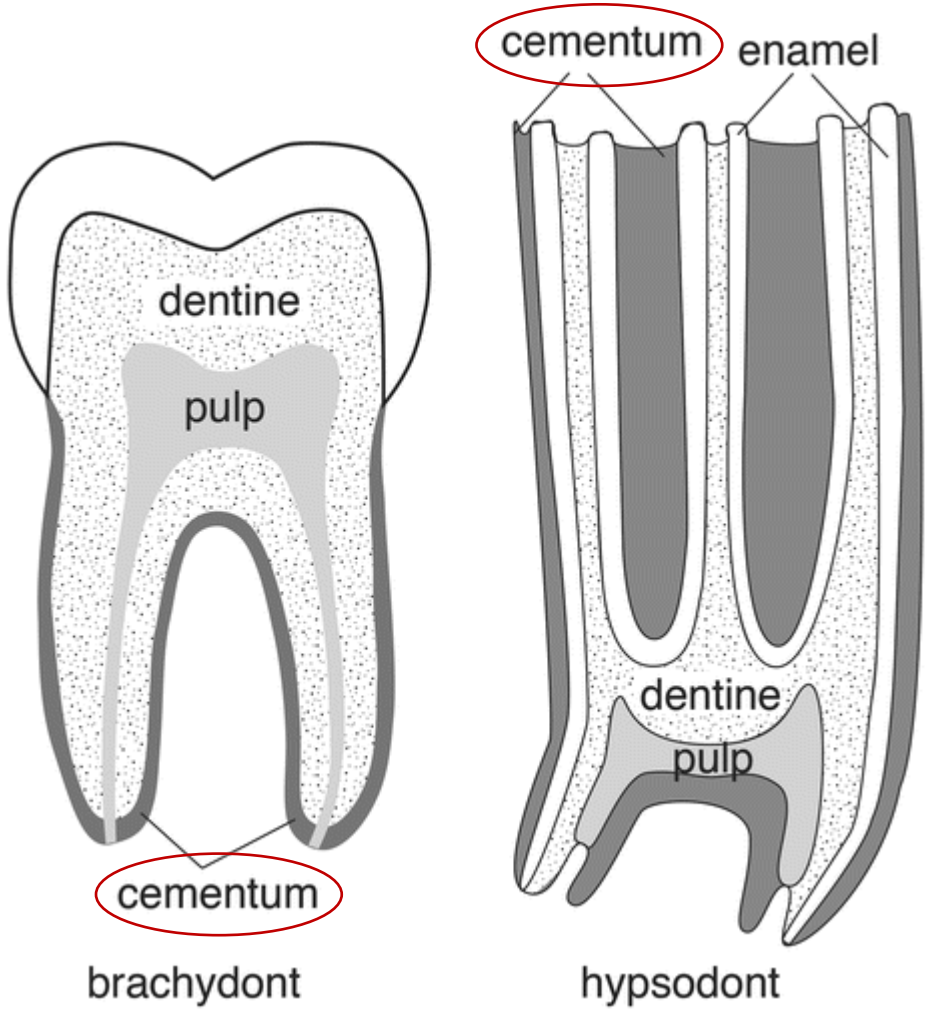
FIGURE 14-12 Hypercementosis at the root apices due to traumatic occlusal forces on mandibular molar teeth. **A:** Microscopic view with dentin (*D*), cementum (*C*), and radicular pulp tissue (*P*). **B:** Radiograph. (***A*** *courtesy of James McIntosh, PhD, Assistant Professor Emeritus, Department of Biomedical Sciences, Baylor College of Dentistry, Dallas, TX.)*

Uchycení hypsodontních zubů v čelisti

Vývoj hypsodontních zubů o živočichů s vysoce abrazivní dietou.

Postupné, nerovnoměrné obrušování „korunkové“ části.

Co je to korunka?



Nízká „korunka“

Vysoká „korunka“