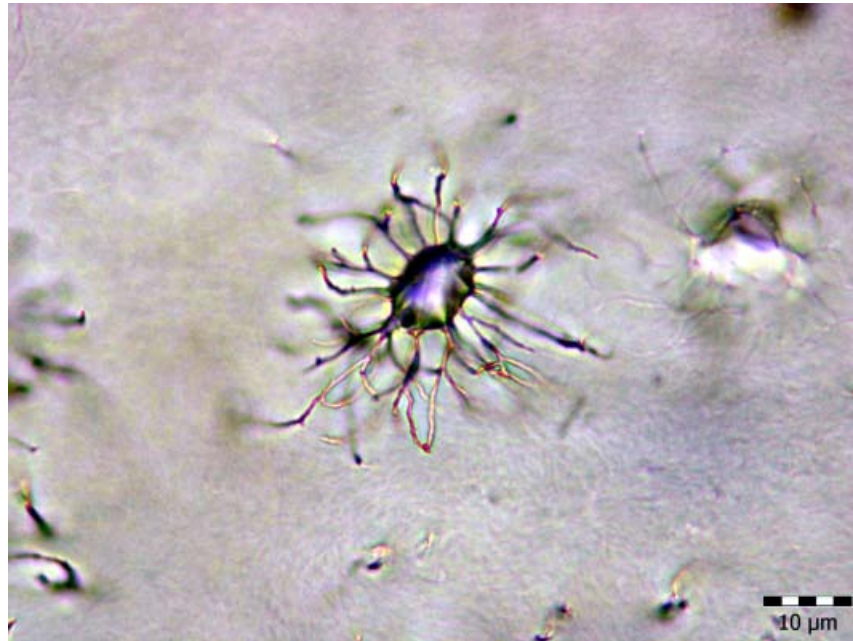


ÚSTAV HISTOLOGIE A EMBRYOLOGIE  
LÉKAŘSKÁ FAKULTA UK V PLZNI



# Atlas histologie tvrdých tkání

PŘÍRUČKA PRO STUDENTY

Lukáš Nedorost, Věra Tomanová, Lada Eberlová, Omid  
Moztarzadeh, Vladimíra Adlerová, Hana Hecová, Jitka Kočová,  
Pavel Fiala, Jaroslav Slípka, Zbyněk Tonar

prosinec 2009

Práce byla podporována grantem FRVŠ F3 1002/2009.

**Název:** Atlas histologie tvrdých tkání

**Autoři:** MUC. Lukáš Nedorost, Ústav histologie a embryologie LF UK v Plzni  
MUDr. et MDDr. Věra Tomanová, Stomatologická klinika FN v Plzni  
MUDr. Lada Eberlová, Ústav anatomie LF UK v Plzni  
MUDr. Omid Moztarzadeh, Ph.D., Stomatologická klinika FN v Plzni  
MUDr. Vladimíra Adlerová, Zubní praxe MUDr. D. Hrušákové, Plzeň  
MUDr. Hana Hecová, Stomatologická klinika FN v Plzni  
Doc. MUDr. Jitka Kočová, CSc., Ústav histologie a embryologie LF UK v Plzni  
Doc. RNDr. Pavel Fiala, CSc., Ústav anatomie LF UK v Plzni  
Prof. MUDr. RNDr. Jaroslav Slípka, DrSc., Ústav histologie a embryologie LF UK v Plzni  
MUDr. Mgr. Zbyněk Tonar, Ph.D., Ústav histologie a embryologie LF UK v Plzni

**Editor:** Zbyněk Tonar

**Počet stran:** ??

**Měsíc a rok vydání:** prosinec 2009

**Recenzent:** Prof. MUDr. Jan Kilian, DrSc.

**Vydala:** Lékařská fakulta v Plzni, Univerzita Karlova v Praze, Výukový portál MEFA-NET <http://mefanet.lfp.cuni.cz>

**ISSN:** 1804-4409

# 1 Slovo autorů na úvod

V praktické výuce normální histologie a embryologie na Lékařské fakultě UK v Plzni mají dosud studenti možnost seznámit se ze skupiny tvrdých tkání pouze s preparáty desmo- a chondrogenní osifikace, s fetálním vývojem zubu a s celoidinovým řezem odvápněného zubu sekundární dentice. Význam znalosti mikrostruktury tvrdých tkání však neodpovídá současné nabídce studijních materiálů dostupných všem studentům všeobecného i zubního lékařství. Na znalosti o mikrostruktuře kosti a zubu jsou studenti odkazováni v navazujících předmětech při studiu fyziologie (např. hormonální regulace rovnováhy mezi depozicí a mobilizací anorganické fáze kostí a zubů), farmakologie (ovlivnění téhož), preklinického zubního lékařství, radiodiagnostiky i vnitřního lékařství. Pro relativní náročnost zhotovení technicky kvalitních výbrusů nedemineralizovanou tkání je však ucelené a veřejně dostupné zpracování kvantitativní histologie v českém jazyce ve formě přístupné studentům morfologických oborů spíše vzácností, i když nabídka v poslední době slibně roste např. v rámci projektu MEFANET (MEDical FACulties NETwork), MedAtlas LF MU v Brně apod.

Z našich zkušeností vyplynula potřeba předložit studentům atlas, který by zahrnoval metodiku zpracování tvrdých tkání, a mikroskopickou vizualizaci teoreticky dobře známých jevů, jako jsou např. rozdíly mezi stavbou zubů primární a sekundární dentice, tvorba terciárního dentinu, interakce výplňových materiálů se stěnou preparované kavity zubu, vývoj kazu, distribuce a/celulárního cementu a variabilita jeho hranice s emailem v oblasti krčku, ukotvení dentálního implantátu v kosti apod. Fotografie takových preparátů bývají zpravidla pouze ve specializovaných zahraničních publikacích věnovaných histologii zubu, které nejsou většině našich studentů dostupné. Protože pro relativně vysoký obsah minerální složky ve sklovině, dentinu i kostní matrix je prakticky nemožné zachovat jejich charakter během dekalifikace, jeví se jako optimální vycházet z neodvápněných výbrusů. Pro příbuznost histologické metodiky se nabízí spojení atlasu zubu s atlasem kosti, což je cesta, kterou jsme se vydali v předloženém atlasu. Za rady ohledně zpracování tvrdých tkání děkujeme paní Doc. MVDr. Dr.med.vet. Kirsti Witter, Ph.D., z Institut für Histologie und Embryologie, Veterinärmedizinische Universität Wien, a paní RNDr. Aleně Němečkové z Ústavu histologie a embryologie LF UK v Plzni.

Atlas začíná úvodní textovou částí se základním popisem morfologie zubu a kosti. Tento text pochopitelně nenahrazuje anatomické a histologické učebnice nezbytné pro výuku studentů zubního i všeobecného lékařství. Jeho cílem je umožnit pochopení navazující obrazové části atlasu a učinit fotodokumentaci srozumitelnější pro event. čtenáře bez medicínského vzdělání, neboť díky volné dostupnosti elektronické formy atlasu počítáme mezi čtenářskou obec i odbornou či laickou veřejnost. V textové části nabízíme řadu původních i literaturou inspirovaných schémat. V části věnované mikrofotografiím reálných výbrusů dáváme přednost komentářům pod snímkem namísto kótování jednotlivých mikrostruktur s legendou přímo ve snímcích, protože u některých snímků by včlenění popisků při zachování velikosti obrázků a daného formátu atlasu vedlo k zneřehlednění fotografií. Pro hlubší studium odkazujeme na učební texty, jimiž jsme se inspirovali a uvedli je v seznamu literatury.

Doufáme, že z bohatší nabídky fotodokumentace histologie zubu a kosti budou profitovat pregraduální studenti morfologických oborů a že po zveřejnění výsledků na WWW stránkách LF UK v Plzni, umožněném díky dotaci FRVŠ, atlas poslouží i odborné veřejnosti. Na základě odezvy čtenářů bude možné tento atlas i nadále zkvalitňovat.

*V Plzni dne 20. 12. 2009*  
*Autoři*

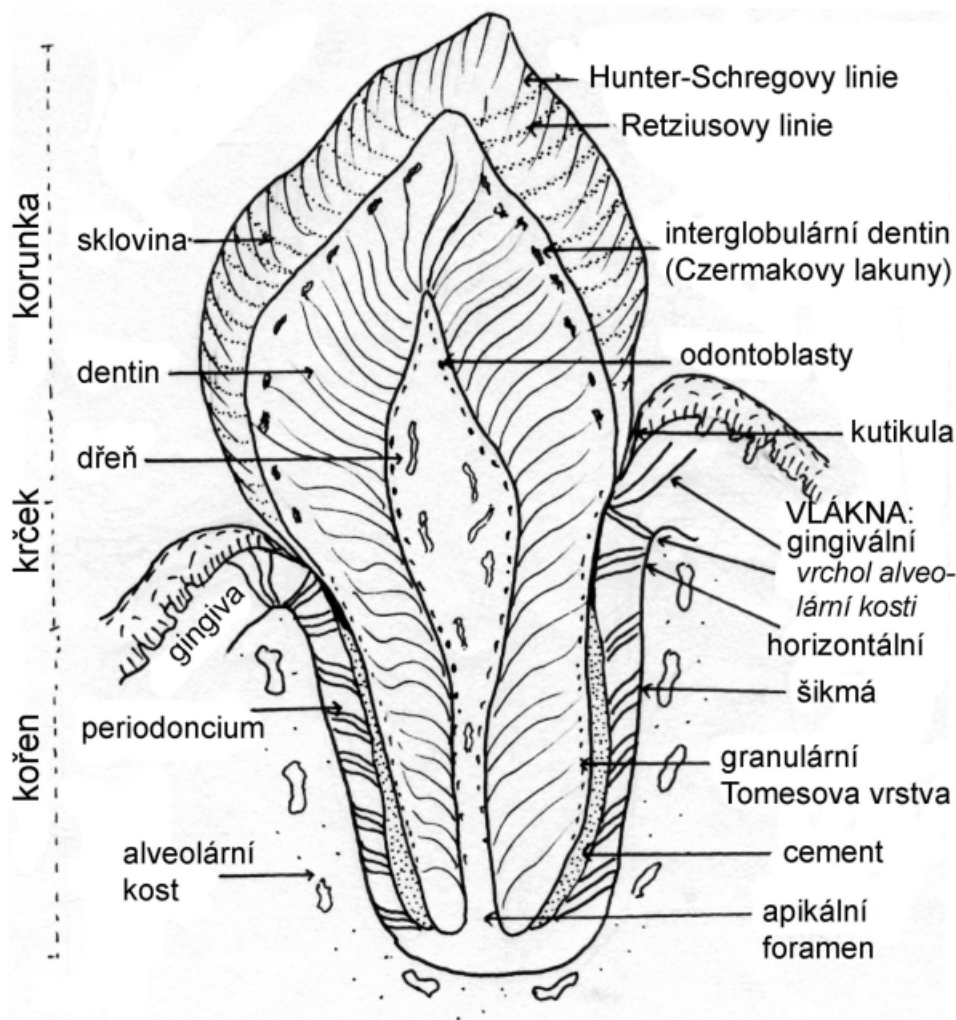
# Obsah

<b>1</b>	<b>Slovo autorů na úvod</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Přehled histologie zubu</b>	<b>4</b>
2.1	Sklovina . . . . .	5
2.1.1	Dentino-sklovinné spojení . . . . .	8
2.1.2	Cuticula dentis . . . . .	8
2.1.3	Klinické poznámky . . . . .	8
2.2	Dentin . . . . .	10
2.2.1	S věkem související a posteruptivní změny . . . . .	13
2.2.2	Výživa a inervace dentinu . . . . .	14
2.2.3	Klinické poznámky . . . . .	14
2.3	Cement . . . . .	17
2.3.1	Klinické poznámky . . . . .	18
2.4	Zubní dřev . . . . .	19
2.4.1	Klinické poznámky . . . . .	20
2.5	Periodontální ligamentum . . . . .	21
2.6	Alveolární kost . . . . .	22
2.7	Dáseň (gingiva) . . . . .	23
2.7.1	Gingivodentální uzávěr . . . . .	24
<b>3</b>	<b>Vývoj zubu</b>	<b>25</b>
<b>4</b>	<b>Přehled morfologie kostní tkáně</b>	<b>30</b>
4.1	Kostní tkáň . . . . .	30
4.2	Obecná stavba kosti . . . . .	30
4.3	Mikroskopická organizace kosti . . . . .	31
4.4	Klasifikace a terminologie . . . . .	32
4.5	Buňky kosti . . . . .	34
4.5.1	Osteocyty . . . . .	34
4.5.2	Osteoblasty . . . . .	34
4.5.3	Osteoklasty . . . . .	35
4.5.4	Buňky osteoprogenitorové . . . . .	35
4.5.5	Kost lemující buňky . . . . .	36
4.6	Kostní matrix . . . . .	36
4.6.1	Kolagen . . . . .	36
<b>5</b>	<b>Osifikace a růst kosti</b>	<b>37</b>
5.1	Intramembranózní, desmogenní osifikace . . . . .	37
5.2	Osifikace enchondrální . . . . .	38
5.2.1	Růstová, epifyzární ploténka . . . . .	39
5.3	Další vývoj a modelace kosti . . . . .	40
<b>6</b>	<b>Postup zpracování preparátů zubu a kosti</b>	<b>42</b>
6.1	Dekalcifikované řezy . . . . .	42
6.2	Příprava nedekalcifikovaných výbrusů . . . . .	42
6.2.1	Zalévání do media Technovit 9100 New . . . . .	43
6.2.2	Řezání a broušení . . . . .	44

6.2.3	Barvení a pokrývání . . . . .	47
<b>7</b>	<b>Preparáty zubů</b>	<b>49</b>
7.1	Primární dentice . . . . .	49
7.2	Sekundární dentice . . . . .	50
7.3	Ilustrace dentinové permeability . . . . .	57
7.4	Patologické stavy, záchovná stomatologie a protetika . . . . .	59
<b>8</b>	<b>Preparáty kosti</b>	<b>62</b>
8.1	Spongiózní kost . . . . .	62
8.2	Diploe . . . . .	63
8.3	Kompaktní kost . . . . .	65
8.4	Vláknitá kost . . . . .	68
8.5	Osifikace . . . . .	68
8.6	Oseointegrace dentálního implantátu . . . . .	70
8.7	Depozice tetracyklinových antibiotik v kostní tkáni . . . . .	72
8.8	Trojrozměrné hodnocení kostních výbrusů . . . . .	73
<b>9</b>	<b>Literatura</b>	<b>75</b>

## 2 Přehled histologie zubu

Zub se skládá ze tří rozdílných tvrdých tkání – skloviny, dentinu a cementu. Uvnitř zubu se nachází dřevná dutina, kterou vyplňuje zubní dřev. Vlastní upevnění zubu v alveolární kosti zajišťuje periodoncium, které je složeno z gingivy, epitelového úponu, periodontálního ligamenta, lamina dura zubního lůžka a z cementu, který pokrývá povrch kořene. Na zubu rozlišujeme korunku, kořen a krček. Zubní korunka je po prořezání zubu v dutině ústní, kořen kotví zub v zubním lůžku kosti. Přejít mezi korunkou a kořenem je tvořen zúženou částí zubu – krčkem. Poměr korunky a kořene je přibližně 1:2. Část zubu pokrytá sklovinou se nazývá anatomická korunka. Pokud jsou dodrženy všechny fyziologické podmínky, není korunka vidět v celé délce, asi 1–2 mm jsou překryty volnou gingivou. Část korunky, která je viditelná v dutině ústní, nazýváme klinická korunka. Její délka se během života mění, během erupce je klinická korunka o hodně kratší než anatomická. Po prořezání zubu je rozdíl asi 1–2 mm, kdy klinická korunka je o tuto vzdálenost kratší než anatomická. Může ale nastat i opak, kdy klinická korunka je delší než korunka anatomická a to v případě poškození parodontu jako je jeho atrofie, zánět nebo po některých léčebných výkonech, kdy je obnažena i část kořene.



Obr. 1: Zub (pro detailní rozkreslení morfologie zubů lze doporučit např. [5]).

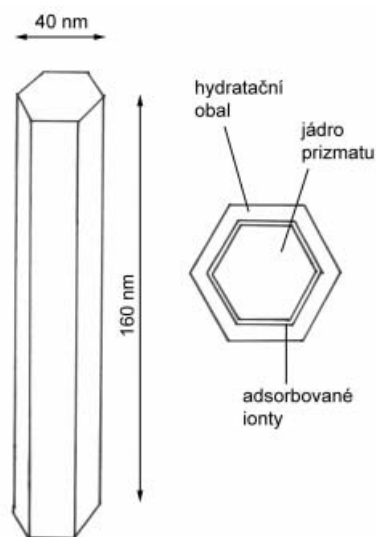
## 2.1 Sklovina

**Fyzikální vlastnosti** Sklovina kryje anatomickou korunku. Její vrstva je nejsilnější na hrbolcích premolárů a molárů a řezacích hranách řezáků a špičáků, kde dosahuje tloušťky až 2,5 mm, a nejslabší v krčkové oblasti, kde se ztenčuje až do podoby ostří nože. Sklovina je nejtvrďší mineralizovanou substancí lidského těla, neboť obsahuje vysoký podíl minerálních látek. Je proto odolná vůči vysokým tlakům, ke kterým dochází během žvýkání. Barva zubní korunky pokryté sklovinou se pohybuje od žlutobílé až po šedobílou. Je podmíněna rozdílnou průsvitností (translucencí) skloviny – čím je sklovina průsvitnější, tím více prosvítá žlutavý dentin, šedavé zbarvení je způsobeno opáknější sklovinou. Průsvitnost skloviny je nejspíš způsobena vysokým stupněm kalcifikace a homogenosti a závisí na tloušťce skloviny. Barva zubů je u jednotlivých osob různá, ale může se odlišovat i u zubů v jedné a téže dentici (např. korunka špičáku bývá o něco žlutější než korunky okolních zubů). Největší rozdíl je v barvě mezi dočasnými a stálými zuby. Sklovina dočasných zubů je zpravidla zbarvena do mléčného až modravého tónu. Je to způsobeno nižším obsahem minerálních látek a tím nižší translucencí. Barva stálých zubů se mění i během života jedince a to do žlutohnědého až šedavého odstínu. Tato změna souvisí se zvyšující se mineralizací skloviny a dentinu.

**Chemické vlastnosti** Sklovina se skládá převážně z anorganického materiálu (95–98 %). Druhou největší složkou skloviny je voda (2 % hmotnosti, 5–10 % objemu). Zbytek skloviny se skládá z organických součástí (1–2 %), mezi které patří proteiny a lipidy. Složení skloviny je ovlivňováno stravou, věkem a dalšími faktory (pro komplexní popis změn zubu a okolních tkání a jejich forenzní dopady viz [9]). Hlavními složkami jsou vápník, fosfor, uhličitany, hořčík, fluor a sodík. Doposud bylo ve sklovině prokázáno asi 40 stopových prvků. Některé se do dutiny ústní dostávají během stomatologického ošetření, jiné (olovo, stroncium) mohou být ukazateli míry znečištění prostředí. Na různých místech téhož zubu existují rozdíly ve složení skloviny způsobené kolísáním koncentrace jednotlivých prvků. Od povrchu skloviny se směrem k dentino-sklovinné hranici snižuje koncentrace fluoru, železa, cínu, chlóru, vápníku, uhličitánů, hořčíku a sodíku. Z vápníku a fosforu vznikají v poměru 1:1,2 malé krystalky apatitu. Nejedná se vždy o stechiometrické sloučeniny podle vzorce  $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$  (hydroxyapatit). Vlivem nedostatku vápníku, fosfátů a hydroxylových iontů a díky přítomnosti uhličitánů a hydrogenuhličitánů pak vznikají nestechiometrické apatitové krystaly. Vnitřními substitučními reakcemi se může tvořit také fluoroapatit  $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{F}$  nebo fluoridovaný apatit. Tyto mají stabilnější mřížku než hydroxyapatit. Do minerální složky může být zabudován i uhličitán, tento apatit je ale vůči kazu méně odolný než hydroxyapatit. Voda se ve sklovině vyskytuje ve dvou formách. Jedna část je vázána v krystalech jako hydratační obal, druhá část je volná, vázána převážně na organickou hmotu. Volně vázaná voda se může při zahřátí vypařit. Ve vlhkém prostředí ale může sklovina vodu i přijímat. Tím můžeme vysvětlit i některé fyzikální fenomény při vzniku a prevenci zubního kazu. Sklovina funguje jako molekulární síto, kterým mohou vstupovat i unikat ionty spolu s tekutinou. Zbývající malé množství organické matrix je tvořeno převážně z amelogeninů, proteinů bohatých na tyroxin. Enamelin je protein bohatý na kyselinu glutamovou, asparágovou a serin. Většina tohoto organického materiálu se nachází ve vnitřní třetině sklovinného pláště.

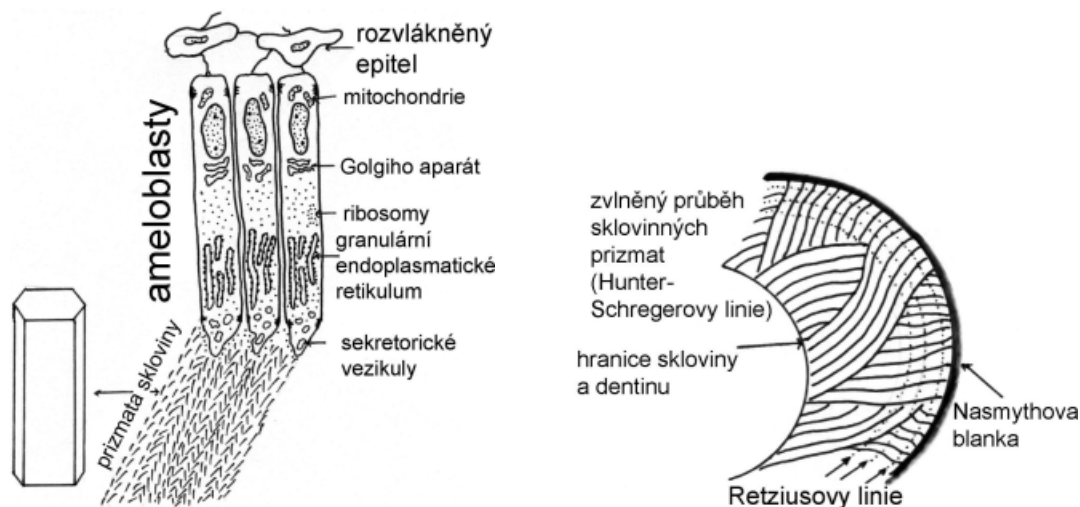
**Histologická stavba skloviny** Apatitové krystaly skloviny jsou na průřezu přibližně šestihranné (šesterečná, hexagonální soustava) a při pohledu ze strany připomínají drobné

tyčky. Charakteristické pro sklovinné krystaly, na rozdíl od jiných tvrdých tkání, je jejich délka. Jsou v průměru 160 nm dlouhé a 40–70 nm široké. Každý krystal má svůj hydratační obal, který se skládá z bílkovin a lipidů.



**Obr. 2:** Schéma krystalu hydroxyapatitu  $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{OH}$ . Přibližně šestihránné prizma je obklopeno adsorbovanými ionty, proteiny a hydratačním obalem.

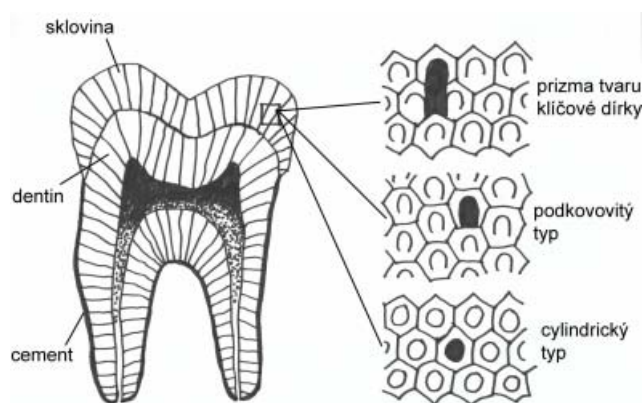
**Prizmatická sklovina** Sklovina je tvořena sklovinnými hranolky – prizmaty. Ta probíhají radiálně od dentino-sklovinné hranice až k povrchu skloviny. Sklovinné prizma se skládá z hustě uspořádaných krystalů hydroxyapatitu, které jsou uvnitř prizmatu orientovány podélně, paralelně s dlouhou osou prizmatu. Hranice mezi jednotlivými prizmaty se označuje prizmatická pochva, kterou tvoří interprizmatická substance. Interprizmatický prostor se liší od prizmat hlavně odlišnou orientací hydroxyapatitových krystalů. Na okraji prizmatu se krystalky orientují více šikmo k jeho ose a v interprizmatickém prostoru jsou uloženy kolmo na průběh prizmatu. Takto orientované svazky krystalů dvou sousedních prizmat se vzájemně překrývají a zapadají do sebe, což vede k pevnému spojení prizmat a větší mechanické odolnosti skloviny.



**Obr. 3:** Tvorba a mikrostruktura skloviny



Interprizmatická substance se od základní hmoty prizmatu liší ještě větším obsahem organických látek. Prizmata nesměřují od dentino-sklovinné hranice přímo k povrchu skloviny, ale jejich průběh je dosti komplikovaný. Prizmata jsou uspořádána ve svazky, které mají rovný, radiální průběh jen v okrajových částech skloviny, tj. v blízkosti dentinu a volného povrchu skloviny. Ve střední vrstvě skloviny se svazky prizmat různě ohýbají a spirálovitě stáčí kolem sebe. Tyto svazky se mohou rozdělovat a opět spojovat. Na podélných výbrusech sklovinou se tento průběh projevuje střídáním světlejších a tmavších proužků, které nazýváme Hunter-Schregerovy linie. Skupinky prizmat, které zastihneme na příčném řezu označujeme diazóny a odpovídají tmavším proužkům. Skupinky prizmat, které jsou na podélném řezu, parazóny, tvoří světlejší proužky. Hunter-Schregerovy linie probíhají většinou radiálně. Na průřezu mohou mít sklovinná prizmata tvar buď klíčové dírky, koňské podkovy nebo tvar cylindrický (obr. 4). Všechny tři tvary jsou pozorovány u lidské skloviny, ale převládá tvar klíčové dírky. Tvar cylindrický je hlavně v blízkosti dentino-sklovinného spojení a v blízkosti povrchu, protože tu vzniká sklovina pomalu. Sklovina mezi prizmaty se nazývá interprizmatická. Složení je podobné jako složení prizmat, ale má jiné optické vlastnosti, protože krystaly se vychylují pod úhlem 40–60° od okolních prizmat. Tvar klíčové dírky se skládá z oválné části (hlavičky, head), na kterou se připojuje úzká protáhlá část (nožka, tail). Nožka jednoho prizmatu leží mezi dvěma hlavičkami okolních prizmat a míří cervikálně. Hlavička směřuje okluzálním směrem. V hlavičce probíhají krystalky paralelně s dlouhou osou prizmatu, v nožce běží pod úhlem 65–70° k dlouhé ose.

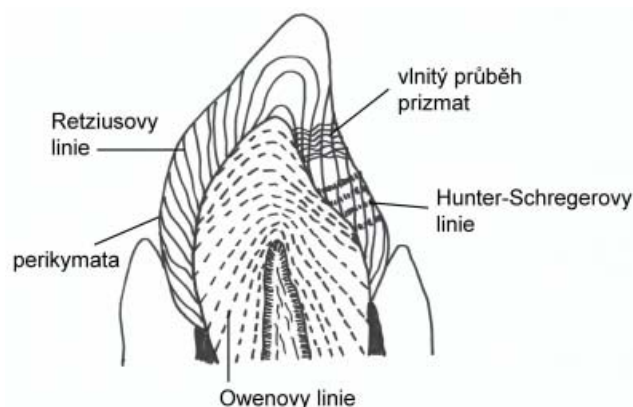


**Obr. 4:** Prizmata probíhají od dentinosklovinné hranice k povrchu zubu. Na výbrusu se jeví nejčastěji jako útvary s profilem klíčové dírky, podkovy nebo válce.

**Aprizmatická sklovina** Na povrchu korunky nově prořezaných dočasných zubů bývá 20–100  $\mu\text{m}$  silná vrstva skloviny bez prizmat. U nově prořezaných stálých zubů je tato vrstva silná asi 20–70  $\mu\text{m}$ . Tato vrstva je silně mineralizovaná a obsahuje i více fluoru. Aprizmatická zóna vzniká v poslední fázi amelogeneze, před ukončením sekreční aktivity ameloblastů.

**Růstové linie** Sklovina se tvoří postupně a tím dorůstá - střídají se období aktivity a období klidu. Tak vznikají růstové linie (obr. 5). Jsou dva typy – příčné linie (cross-striations, v krátkém časovém období) a sklovinné rýhy (enamel striae, delší perioda). Příčné linie běží přes sklovinná prizmata kolmo k jejich dlouhé ose. U řezů sklovinou, které běží rovnoběžně s prizmaty, jsou vidět linie, které vedou příčně přes prizmata

od blízkosti dentino-sklovinného spojení k povrchu korunky. Tyto linie nazýváme Retziusovy proužky (nebo také inkrementální linie) a jsou důsledkem postupné tvorby skloviny. Na začátku tvorby skloviny se k sobě prizmata přikládají volněji, později pak vznikají těsnější vazby. Retziusovy proužky vznikají nahuštěním prizmat ve sklovině. Na příčných výbrusech korunkou probíhají linie v kruzích a jsou připodobňovány letokruhům stromů. Na podélných výbrusech probíhají na laterální stěně korunky vertikálně a zahýbají se směrem zevním a okluzálním. Na hrotu korunky se zahýbají a přecházejí do linií na protilehlé ploše skloviny. V místě, kde se Retziusovy linie dostávají na povrch skloviny, se mohou manifestovat na zevní ploše korunky jako horizontální vroubkovité linie – perikymata. Tyto vroubky jsou nejvíce zřetelné u předních zubů stálé dentice na jejich labiální ploše.



**Obr. 5:** Retziusovy linie skloviny se na labiálním povrchu projevují jako rýhy - perikymata. Vlnitý průběh prizmat se na výbrusu jeví jako Hunter-Schregerovy linie. Owenovy linie jsou přírůstkové linie dentinu.

### 2.1.1 Dentino-sklovinné spojení

Spojení mezi sklovinou a dentinem není rovnou linií, ale probíhá arkádovitě (vroubkovaně), vypouklými trsy směrem k dentinu. Jednotlivé jamky jsou pozůstatky po ameloblastech, které tu nasedaly na bazální membránu dentální papily. Tato arkádovitá struktura zvyšuje spojení mezi sklovinou a dentinem. Z dentinu mohou pronikat výběžky odontoblastů směrem do skloviny. Jsou to buď sklovinná vřetenka, trsy nebo lamely.

**Sklovinná vřetenka** (enamel spindles) Mohou být úzká, kulatá, občas zakroucená a dosahují až do 25  $\mu\text{m}$  do skloviny.

**Sklovinné trsy** (enamel tufts) Nachází se ve vnitřní třetině skloviny a podobají se trsům trávy. Běží ve stejném směru jako prizmata. Jsou viditelné v tlustších řezech, kde vlnitě probíhají. Jsou hypomineralizované a opakují se asi v 100  $\mu\text{m}$  intervalech podél spojení. Nejlépe viditelné jsou u příčných řezů.

**Sklovinné lamely** (enamel lamellae) Jsou to jasné prasklinky (vady) ve sklovině, které probíhají celou její tloušťkou. Jsou také hypomineralizované, ale užší, delší a méně časté než sklovinné trsy. Jsou také lépe vidět na příčných řezech sklovinou. Podobný mikroskopický obraz může mít i preparace řezu. Od pravé sklovinné lamely ji můžeme odlišit při demineralizaci, kdy artefakt způsobený zpracováním zmizí.

### 2.1.2 Cuticula dentis

Povrch skloviny kryje asi 1  $\mu\text{m}$  silná blanka, která je tvořena proteiny a polysacharidy. Vzniká při prořezávání korunky splynutím primární a sekundární kutikuly a označuje se také Nasmythova membrána. Není přítomna na kousacích ploškách zubů a snadno podléhá abrazi. U dospělých zubů se proto nachází jen její zbytky v oblasti krčku.

### 2.1.3 Klinické poznámky

**Defekty ve sklovině** Průzkumy vývojových defektů skloviny potvrdily četnost asi 68–95 % v populaci. Defekt může být buď vnějšího původu nebo geneticky daný. Odchylky v počátečním vývoji skloviny mohou zapříčinit hypoplazii skloviny nebo její hypomineralizaci. Hypoplazie se nejčastěji projevuje jamkami a rýhami na povrchu skloviny. U hypomineralizace je povrch skloviny většinou intaktní, ale více opakní. U nadměrného příjmu fluoridů se stává povrch skloviny skvrnitý.

**Zubní kaz skloviny** Zubní kaz začíná v povrchových vrstvách skloviny. Tato časná léze se nazývá caries incipiens, kdy demineralizace dosahuje jen do poloviny tloušťky skloviny. Při produkci kyselin v zubním povlaku dochází k jejich průniku do povrchových vrstev skloviny. Zde rozpouští krystalky a minerální látky unikají do slin. V prvním stádiu zubního kazu zůstává zachována původní krystalická mřížka sklovinných prizmat, která slouží k remineralizaci. Při zvýšení pH dochází k přestupu kalciových a fosfátových iontů ze slin do povrchových vrstev skloviny a usazují se na vysoce reaktivních površích krystalků. Při přítomnosti fluoridových iontů probíhá remineralizace rychleji, do krystalů je vložen fluor a ty jsou pak větší a odolnější vůči působení kyselin. U časné léze můžeme mikroskopicky rozlišit čtyři vrstvy.

**Translucentní zóna** je uložena nejhluběji. V této vrstvě jsou vytvořeny póry a štěrbiny kolem prizmat. V polarizačním světle se jeví jako průhledné, transparentní, zcela bez jakékoliv struktury. Celkový objem pórů translucentní vrstvy je 1 %, tj. 10× vyšší než u zdravé skloviny.

**Tmavá zóna** v polarizačním mikroskopu nepropouští světlo. Je to způsobeno přítomností mnoha pórů, které jsou naplněny vzduchem nebo parami a to jim dodává opakní vzhled. Celkový objem pórů je 2–4 %. Tmavá zóna je oblastí, kam se ukládají minerály uvolněné z translucentní zóny a těla léze.

**Tělo léze** tvoří největší část počínajícího kazu. Objem pórů se pohybuje od 5 % na povrchu až po 50 % v centru těla. Retziusovy linie jsou tu velmi zřetelné a jsou pravděpodobně cestou, kudy kaz nejprve penetruje do skloviny. Může zde být i malé množství bakterií, které procházejí do skloviny mezi prizmaty.

**Povrchová zóna** není ve větší míře postižena kazivým procesem a její radioopacita se podobá zdravé sklovině. Tato vrstva slouží jako bariéra před bakteriální invazí. Ve chvíli, kdy proces překročí dentino-sklovinnou hranici a tím vzniká kavitace, se intaktní povrchová vrstva spontánně poruší. Tím dochází k masivní invazi bakterií do skloviny a později i do dentinu.

Počáteční kaz skloviny je reverzibilní proces, který lze vyhojit vhodnou fluoridovou terapií a úpravou hygieny a stravovacích návyků.

**Struktura skloviny a zachovná stomatologie** Mnoho sklovinných poškození je odkázáno na konzervativní ošetření. Pro preparaci kavit u zubního kazu má velký význam

znalost průběhu sklovinných prizmat. Obecně platí, že prizma směřuje kolmo k povrchu dentinu. Při preparaci nesmíme ponechat prizmata, která nejsou podložena dentinem, protože se snadno odlamují a může tak dojít ke vzniku sekundárního kazu.

Tyto skutečnosti lze zohlednit při použití adhezivních systémů (obr. 6). Vazba ke sklovině je způsobena mikroretencí po jejím naleptání kyselinou. Toto umožňuje hermetický uzávěr kavity výplňovým materiálem. Leptáním kyselinou se rozruší interprizmatická i intraprizmatická struktura skloviny a z jejího povrchu se tím odstraní látky bílkovinného původu. Původně nereaktivní povrch tak získá vyšší povrchovou energii a stává se smáčivým. Touto mikroretenční úpravou se zvětší reaktivní povrch skloviny 10-20krát. To umožňuje průnik adhezivních látek do členitých vyleptaných prostor s mnoha ultramikroskopickými podsekřivami. Mikroskopický vzhled skloviny po naleptání 32–37 % kyselinou fosforečnou je odvozen od histologické struktury. Podle Silverstona rozlišujeme tři typy naleptání: 1. typ (centrální intraprizmatický), kdy v centru prizmat vzniká vyleptaný kráter, 2. typ (periferní interprizmatický), kdy centra prizmat zůstávají neporušena a dochází ke vzniku mikroprostor na jejich periferii a 3. typ (kombinovaná centrální a periferní demineralizace).



**Obr. 6:** Schéma mikroskopického spojení kompozita s naleptaným povrchem skloviny pomocí adheziva.

## 2.2 Dentin

Lidský zub je z největší části tvořen dentinem, který kryje zubní dřeň. V korunkové části zuby je kryt sklovinou, v kořenové části cementem. Jedná se o pevnou, ale elastickou tkáň, která je tvořena velkým množstvím paralelních tubulů, které jsou uloženy v mineralizované kolagenní matrix. Dentin spolu se sklovinou tvoří pevnou a tvrdou strukturu, která je schopná odolávat velkým žvýkacím tlakům a brání abrazi a frakturám. Cement, který obklopuje dentin v kořenové části, umožňuje kotvení zuby pomocí periodontálních vláken v zubním lůžku. Od skloviny odlišují dentin dvě hlavní vlastnosti – citlivost a jeho vytváření během celého života.

**Fyzikální vlastnosti** Dentin je světle žlutý a dává částečně barvu zuby, protože prosvítá přes průsvitnou sklovinu. Je tvrdší než kost, ale není tak tvrdý jako sklovina. Díky organické matrix a tubulům je elastičtější než sklovina. Nižší obsah minerálních látek

než u skloviny způsobuje vyšší radiolucenci. Dentin je permeabilní, permabilita závisí na velikosti a prostupnosti lumina tubulů, která s věkem klesá.

**Chemické vlastnosti** Dentin se skládá převážně z anorganických látek (70 % hmotnosti, 50 % objemu). Další složkou jsou látky organické (20 % hmotnosti, 30 % objemu) a zbytek tvoří voda (10 % hmotnosti, 20 % objemu). Anorganická část je tvořena krystaly kalciumhydroxyapatitu. Krystaly jsou menší než u skloviny a nachází se na kolagenních fibrilách a mezi nimi.

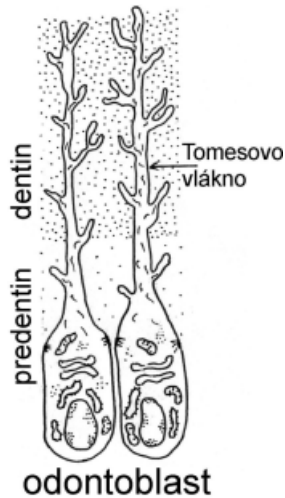
**Organická matrix** Organická matrix dentinu, ve které jsou ukotveny krystalky, má podobné složení jako u kosti. Skládá se z fibril, které leží v amorfní základní hmotě. Jedná se v 90 % o kolagenní fibrily.

- Hlavním typem kolagenu v dentinu je typ I. Většina kolagenních vláken probíhá paralelně s povrchem zubní dřevě. Ve srovnání s kolagenem, jsou ostatní nekolagenní proteiny zastoupeny jen v malém procentu. Přesto mají důležité biologické funkce. Patří sem dentinové fosfoproteiny, proteoglykany, Gla-proteiny, další kyselinové proteiny a růstové faktory.
- Fosfoproteiny jsou nejvíce zastoupené nekolagenní proteiny různých typů, z čehož nejčastější je fosfoforin.
- Proteoglykany jsou důležitou součástí nekolagenních proteinů. V dentinu jsou to hlavně menší typy jako biglykan a dekorin. Z glykosaminoglykanů je to hlavně chondroitin-4-sulfát a chondroitin-6-sulfát. Jejich nejdůležitější funkcí je buněčná adheze, migrace, proliferace a diferenciacce.
- Gla-proteiny v dentinu poutají krystalky v hydroxyapatitu.
- Lipidy Tvoří asi 2 % z organické matrix dentinu a mají vliv na mineralizaci dentinu. Fosfolipidy se nacházejí jak v predentinu, tak v mineralizovaném dentinu.

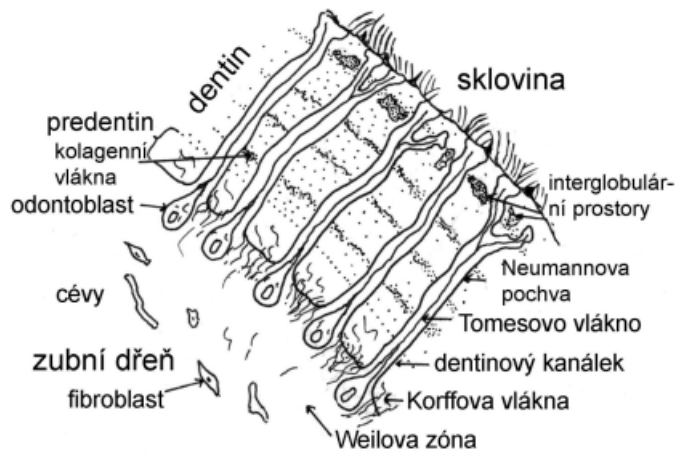
**Dentinové tubuly** Celý dentin je prostoupený dentinovými tubuly, které probíhají od pulpálního povrchu směrem k dentino-sklovinné hranici v korunkové části a dentino-cementové hranici v kořenové části zubu. Průběh tubulů v dentinu není rovný, ale různě zprohýbaný. Lze rozlišit dva typy prohnutí – primární (hrubé) a sekundární (jemnější). Primární, esovité zakřivení tvoří dva oblouky, kdy první směřuje konvexitou ke kořeni a druhý je obrácen konvexitou ke korunce. Tento průběh kanálků je zřetelný na podélných výbrusech, hlavně v polarizovaném světle. Jsou zde vidět světlejší a tmavší linie, **Schregerovy linie**. Jsou hlavně v korunkové části. V oblasti kořene a pod hrbolky zubů je průběh tubulů spíše rovnější. Na příčném řezu jsou tubuly kruhové, protože obraz je závislý na rovině, kudy řez probíhá. Dentin mezi tubuly nazýváme intertubulární. Sekundární ohnutí kanálků jsou menší (asi 200 záhybů na jeden kanálek) a způsobují jejich vlnovité kontury.

**Průběh mineralizace dentinu** není plynulý, ale probíhá periodicky v intervalech, čímž vznikají **růstové (inkrementální) linie**. Na podélných výbrusech zubem jsou čáry probíhající paralelně s dřevnou dutinou. Málo zřetelné jsou **Ebnerovy linie**, které odpovídají přírůstku dentinu cca 4–8  $\mu\text{m}$ , výraznější jsou pak **linie Owenovy**, které odpovídají cca čtyřnásobnému přírůstku dentinu. Tato struktura odpovídá cirkumpulparnímu (Ebnerovu) dentinu. Poměrně tenká povrchová vrstva dentinu, která sousedí s dentino-sklovinnou hranicí se nazývá **plášťový (Korffův) dentin**. Je méně mineralizovaná a obsahuje drobné svazky radiálně orientovaných fibril. Dentinové tubuly se větví, což je nejvíce vidět na periférii u dentino-sklovinného spojení. Některé větvičky končí slepě, jiné se spojují s větvičkami ostatních tubulů. V dentinových

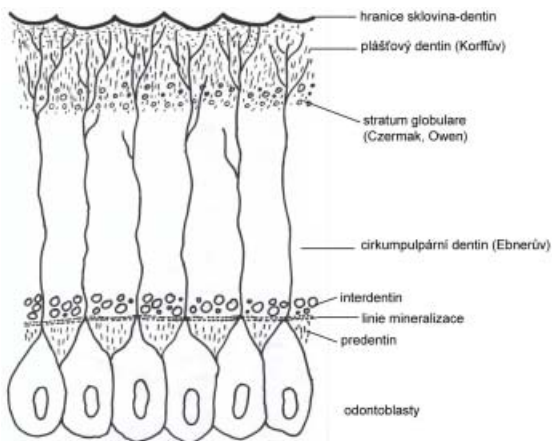
kanálcích (tubulech) jsou výběžky odontoblastů obklopeny tekutinou a organickými strukturálními elementy (periodontoblastický prostor). Nervová vlákna lze nalézt jen v některých tubulech predentinu, v periferním dentinu nervová zakončení nenacházíme.



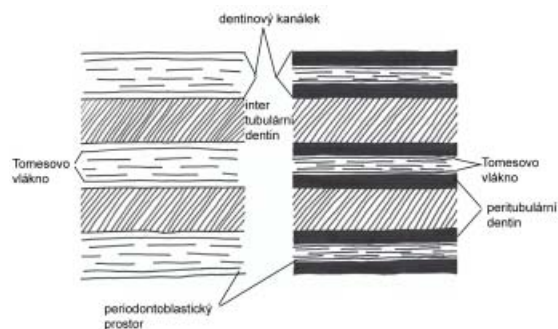
Obr. 7: Odontoblasty



Obr. 8: Dentin



Obr. 9: Uspořádání vrstev dentinu v oblasti korunky.



Obr. 10: Vlevo mladý zub, kde je vytvořen pouze intertubulární dentin. Vpravo starší zub, u něhož vytvoření peritubulárního dentinu vede ke zmenšení průměru dentinových tubulů.

**Intratubulární (peritubulární) a intertubulární dentin** Vrstva dentinu, která ohraničuje dentinové tubuly, se označuje jako intratubulární (peritubulární) dentin. Tento dentin je velmi tvrdý a silně mineralizovaný, protože je tvořen zejména krystaly hydroxyapatitu. Hydroxyapatit je i zde v apozici ke kolagenním fibrilám, zastoupení fibril je však v tomto typu dentinu nižší. Naproti tomu je v prostorech mezi tubuly je tzv. dentin intertubulární, který je měkčí a obsahuje relativně menší zastoupení hydroxyapatitových krystalů a větší podíl kolagenních fibril. Intratubulární dentin může s přibývajícím věkem zesilovat a tím vzniká sklerotický dentin.

**Predentin** Predentin tvoří vrstvu nemineralizovaného dentinu těsně nad povrchem odontoblastů. Skrz něj prochází počáteční silnější části Tomesových výběžků. Tvoří jej pouze organická matrix, která je produkována sekreční činností odontoblastů.

**Interdentin** Tento termín označuje přechodnou zónu mezi predentinem a mineralizovaným dentinem. Je to oblast, kde dochází k postupné mineralizaci s tvorbou krystalitů a kalcisféritů (dentinových globulí). Vrstvy predentinu i interdentinu zůstávají zachovány i v dospělosti u vitálních zubů, takže může dále docházet k tvorbě sekundárního, popř. i terciárního dentinu.

**Interglobulární dentin** V povrchové vrstvě dentinu se vyskytuje úzká vrstvička, kde nedošlo k úplnému spojení kalcisféritů, takže mezi nimi zůstaly prostory, které jsou vyplněny méně mineralizovanou matrix. Toto nazýváme interglobulárním dentinem. V odvápněných řezech, které jsou barveny běžnou metodou, má tato vrstva mramorovaný vzhled, protože dentinové globule se barví tmavě modře a interglobulární matrix je růžová.

### 2.2.1 S věkem související a posteruptivní změny

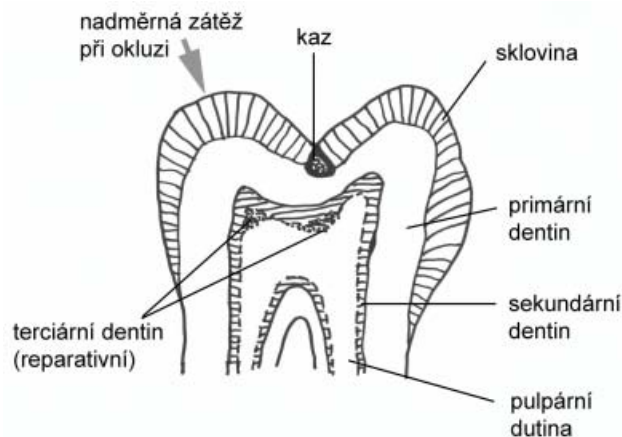
**Primární dentin** Dentin vytvořený do ukončení vývoje kořene představuje primární dentin. Po úplném prořezání zubu prodělává dentin řadu změn, které souvisejí s věkem nebo jsou odpovědí na vnější vlivy jako kaz nebo atrice. Za tyto fyziologické změny můžeme považovat sekundární dentin a translucenční dentin. Jako reakci na různé vnější stimuly můžeme považovat dentin terciární, sklerotický dentin a zónu mrtvých traktů.

**Sekundární dentin** Tvorba sekundárního dentinu je asi nejnápadnější změnou související s věkem. Vzhledem k podobné struktuře je někdy obtížné odlišit primární dentin od sekundárního. Tvorba sekundárního dentinu začíná až po dokončení vývoje kořene a probíhá po celý život. Neukládá se rovnoměrně, rychleji se tvoří na stropě a dně dřeňové dutiny a v oblasti odstupu kořenového kanálku. Tím dochází k asymetrické redukci velikosti a tvaru dřeňové dutiny během života. S fyziologickým stárnutím dochází k tvorbě translucenčního dentinu tím, že se dentinové tubuly úplně uzavřou intratubulárním dentinem. S věkem přibývá translucenční dentin hlavně v oblasti apexu a lineárně přirůstá s věkem. Toto pomáhá i při soudním určování stáří zubů.

**Terciární dentin** Zubní dřeň je někdy nucena mimo normální tvorbu primárního a sekundárního dentinu tvořit i dentin terciární, který vzniká reakcí dřeně na postupující zubní kaz, preparaci nebo úraz. Tento dentin je také nazýván reaktivní, reparativní, obranný, osteodentin nebo iregulární sekundární dentin. V pulpě vznikají po působení vnějších nox (vlivů) buňky podobné odontoblastům, které také vytvářejí mineralizované tkáně. Právě terciární dentin vzniká nejčastěji působením těchto nově diferencovaných mezenchymálních buněk. Tyto nově vzniklé buňky pro tvorbu terciárního dentinu jsou podobné původním odontoblastům, produkují kolagen typu I, dentinový sialoprotein a specifické dentinové proteiny. Termín reakční dentin vzniká po zničení některých odontoblastů jako reakce na jejich poškození, později se zbylé odontoblasty zotaví a začnou znovu produkovat dentin. Tím vznikají nepravidelnosti v tvorbě a nepravidelný dentin s menším množstvím tubulů. Termín reparativní dentin znamená dentin, který vzniká po úplném poškození odontoblastů a mineralizovaná tkáň je tvořena nově vzniklými, odontoblastům podobnými buňkami.

**Sklerotický dentin** S postupujícím věkem se dentinové tubuly plní intratubulárním (peritubulárním) dentinem jako reakce na vnější noxy, jako např. pomalu postupující hluboký kaz nebo lokálně zvýšený žvýkací tlak. Stejně jako translucenční dentin je bez struktury a transparentní.

**Mrtvé trakty** (dead tracts) Pokud jsou primární odontoblasty zničeny působením vnějších vlivů nebo před vyplněním tubulů intratubulárním dentinem, zůstávají tubuly volné. Jejich pulpární konec může být uzavřen novotvořeným terciárním dentinem. Na mikroskopických řezech se během přípravy preparátu do uzavřených tubulů nedostane mounting medium a vyplní se vzduchem. Pod mikroskopem pak vidíme tubuly tmavě zbarvené.



**Obr. 11:** Primární, sekundární a terciární dentin. Tvorba sekundárního dentinu redukuje pulpární dutinu. Terciární dentin vzniká jako reakce na kaz, atypickou zátěž apod.

### 2.2.2 Výživa a inervace dentinu

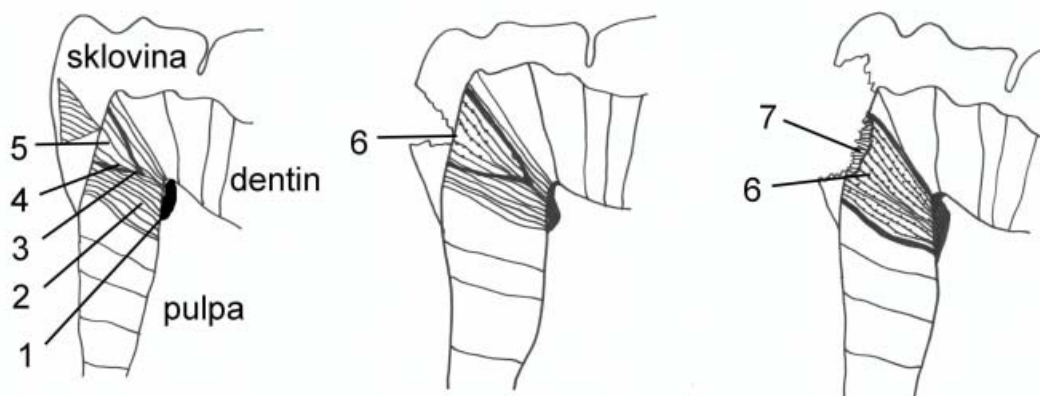
Dentin je bezcévný, odontoblasty živí kapiláry v zubní dřeni (subodontoblastický kapilární plexus) a výživu dentinové matrix zajišťují Tomesova vlákna. Z nervové pleteně v subodontoblastické vrstvě (plexus Raschkowi) vycházejí nemyelinizovaná nervová vlákna, která probíhají mezi odontoblasty, procházejí přes predentin a vstupují spolu s Tomesovými vlákny do počátku některých dentinových tubulů. Do střední a povrchové vrstvy dentinu nervová vlákna nezasahují.

### 2.2.3 Klinické poznámky

**Kaz dentinu** Vzhledem k odlišné struktuře skloviny a dentinu se kaz šíří jinak než ve sklovině. Dentin je mnohem méně mineralizován a obsahuje dentinové tubuly, které umožňují průnik kyselin dovnitř dentinu a naopak únik minerálních látek z dentinu. Dentino-sklovinné spojení je oblast s nejmenší odolností vůči kazu a umožňuje jeho rychlé šíření. Kaz dentinu má zpravidla tvar písmene V, kdy se směrem od široké baze u dentino-sklovinné hranice směrem k pulpě zužuje. V dentinu kaz postupuje rychleji než ve sklovině; odpovědí na to může být demineralizace, remineralizace a bolest. V časně fázi poškození dentinu se může objevit krátká bolest, která je způsobena posunem tekutiny v dentinových tubulech a tím stimuluje zubní dřeň. Pulpodentinový komplex reaguje na kaz remineralizací, která vede k uzavření dentinových tubulů a tím brání v dalším postupu kazu. Dentin je v této oblasti hypermineralizovaný a nazývá se také sklerotický, protože dochází k ukládání krystalů nejen v tubulech, ale i v intertubulárním prostoru. Tato reakce na kaz vzniká většinou u kazů s pomalým postupem a dentin je zde tmavší a tvrdší. V zóně demineralizace se ukládají minerály do dentinových tubulů, naopak v intertubulárním dentinu nastává demineralizace.



Po uzavření tubulů minerálními látkami lze na histologickém preparátu odlišit zónu transparentního dentinu, který se jeví jako průhledný. Translucentní dentin je měkčí než normální dentin. U většího kazu dochází k bakteriální invazi do dentinu, čímž se do něj dostávají také proteolytické enzymy a velké množství kyselin. Toto působí na odontoblasty, které odumírají. Skupiny prázdných dentinových tubulů s odumřelými výběžky odontoblastů nazýváme **mrtvé trakty**. Ty umožňují rychlý průnik bakterií do dřeňové dutiny. Dochází také k tvorbě terciárního (reparativního) dentinu po stimulaci zubní dřeně kazivým procesem. Pokud je ale mikrobiální invaze tak silná, že postupuje velmi rychle, nestihne zubní dřeň reagovat a dochází k její infekci a poté i ke ztrátě vitality.



**Obr. 12:** Schéma vrstev kazu v dentinu v závislosti na hloubce kazu. Vlevo – kaz dentinu před kavitací skloviny. Uprostřed – po kavitaci skloviny. Vpravo – po kavitaci skloviny v pokročilém stadiu (caries pulpae proxima). 1 – terciární dentin, 2 – normální dentin, 3 – sklerotický dentin, 4 – mrtvé trakty, 5 – zóna demineralizace, 6 – zóna bakteriální invaze, 7 – zóna infikovaného dentinu.

Při kazu dentinu dochází ke třem pochodům – demineralizaci dentinu způsobenou organickými kyselinami, rozpuštění organických látek dentinu (hlavně kolagenu) a ztrátě strukturální integrity spolu s bakteriální invazí. Podle Schroedera lze rozlišit sedm vrstev kazivého dentinu, které jsou zřetelné převážně u chronických kazů. Postupujeme směrem od zubní dřeně na povrch dentinu.

- I. terciární dentin. Vzniká jako reakce zubní dřeně na kaz, aby zabránil jeho šíření do dřeňové dutiny. Obsahuje málo tubulů a má charakter fibrodentinu.
- II. normální dentin. U kazů, které nezasahují tak hluboko, je nad vrstvou terciárního dentinu zachována vrstvička normálního nepoškozeného dentinu.
- III. sklerotický dentin. Je také nazýván dentinem transparentním nebo translucentním. Probíhají zde pochody demineralizace i remineralizace. Tento dentin je měkčí než normální zdravý dentin. Nejsou zde přítomny bakterie a struktura kolagenních vláken zůstává zachována a slouží jako síť pro remineralizaci intratubulárního dentinu. Pokud zůstane zachována vitalita zubní dřeně, může dojít k vyhojení procesem remineralizace.
- IV. mrtvé trakty. Tato vrstva se s postupným průnikem bakterií zmenšuje, až úplně vymizí.
- V. zóna demineralizace. Zde dochází k odvápnování dentinu (normálního i sklerotického) působením organických kyselin, které produkují bakterie. Při histologickém vyšetření se tato vrstva jeví jako strukturálně nezměněná.

VI. zóna bakteriální invaze. V této oblasti jsou v dentinových tubulech přítomny mikroorganismy, zde se množí a produkují množství toxických látek. To způsobuje zvyšování intratubulárního tlaku a tím se tubuly v určitých místech ampulovitě rozšiřují. Takto vytvořené prostory jsou později vyplněny bakteriemi a rozpuštěným dentinem.

VII. zóna infikovaného dentinu, zóna nekrózy. Je to nejvrchnější zóna zubního kazu se zcela rozloženým, infikovaným dentinem, jehož původní stavbu nelze rozeznat. Je zde ořítomno velké množství bakterií.

Zóna I. a II. bývají někdy označovány jako zóna vitálních reakcí.

**Adhezivní systémy** Oproti sklovině je dentin živá tkáň s metabolismem, která je prostoupena tubuly s výběžky odontoblastů a tubulární tekutinou. Zajistit vazbu dentinu s materiálem kompozitní pryskyřice není snadné, protože dentin vzhledem k přítomnosti vody v jeho struktuře je hydrofilní, naopak kompozitní pryskyřice jsou převážně hydrofobní. Proto je nutná úprava povrchu, aby se dentin změnil na hydrofobní, např. vytvořením vhodné mezivrstvy. Po preparaci ve vypreparované kavitě zůstává vrstvička preparační drtě (smear layer), což jsou jak organické, tak i mineralizované částičky rozdrcené dentinové hmoty. Tato vrstva pevně ulpívá na povrchu a zakrývá ústí obnažených tubulů. Adhezivní látka se musí vázat jak k organické, tak k anorganické složce dentinu. Vazba na anorganickou složku, tj. vápenaté ionty hydroxyapatitu, je umožněna pomocí fosfátů, derivátů karboxykyselin atd. Vazba na organickou složku (kolagen) je zajištěna pomocí reakce karboxylových, hydroxylových, amidových a aminových skupin kolagenu s reaktivními skupinami adheziva, v němž jsou zastoupeny komponenty s chloridy, aldehydickými skupinami, anhydridy karboxykyselin atd.



**Obr. 13:** Schéma řezu dentinem po preparaci, po totálním leptání kyselinou fosforečnou a po nanesení adhezivního systému.

Adhezivních systémů již byla vyvinuta celá řada a stále jsou vyvíjeny další. V poslední době se nejčastěji doporučuje metoda totálního leptání (total etching), kdy 37% kyselinou fosforečnou ve formě gelu neleptáme jen sklovinu, ale v kratším časovém intervalu též dentin. Aplikace kyseliny na povrch vypreparované kavitě v dentinu způsobí během několika sekund rozpuštění vrstvičky preparační drtě. Poté dochází též k rozpuštění minerálních komponent dentinu (za dobu 15 s asi do hloubky 10–15  $\mu\text{m}$ ). Tímto se zvětší vchodový průměr dentinových kanálků, povrchové bílkoviny se denaturují a obnaží se síť kolagenních vláken. Zbylá organická složka zůstává při dodržení tohoto intervalu (10–15 s) neporušena. Působením leptacího gelu dochází

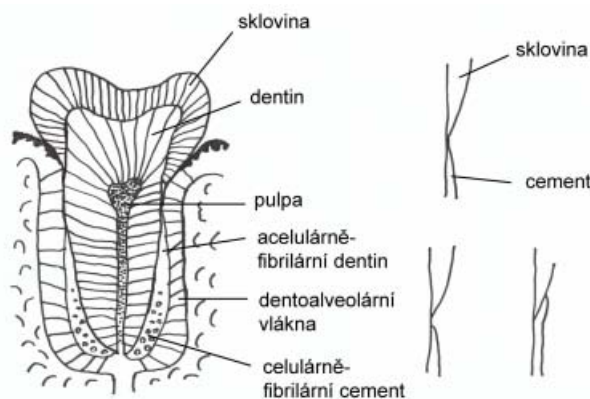
tedy k obnažení sítě kolagenních vláken; ta je nutno uchovat rozvinutá tím, že je za-fixujeme. K tomuto používáme primer, který zajistí smáčivý povrch dentinu a udrží kolagenní vlákna napřímená a rozložená v prostorovou síť. Do této sítě pak může zatéci kompozitní nebo kompomerní materiál.

**Endodoncie** Tvorba sekundárního a terciárního dentinu během života může negativně ovlivnit endodontické ošetření tím, že se zmenšuje průměr dřeňové dutiny a kořeno-vých kanálků. Endodoncie spočívá v čištění, rozšiřování a plnění kořenových kanálků. Toto ošetření může být ztíženo v případě velké tvorby dentinu, který postupně uza-vírá kořenové kanálky tkání tvrdší než původní, primární dentin.

## 2.3 Cement

Cement je tenká, kalcifikovaná vrstva, která pokrývá dentin v kořenové části. Patří k závěs-nému aparátu zubu, protože se podílí na ukotvení zubu v zubním lůžku. Spolu s ním mezi tkáně periodontia patří také periodontální vlákna a alveolární kost. Cement je na povrchu zubu různě silný, nejsilnější vrstva se nachází na kořenovém apexu a u vícekořenových zubů v interradiální oblasti (50–200  $\mu\text{m}$ , někdy může přesáhnout až 600  $\mu\text{m}$ ) a nejtenší vrstva cementu je v krčkové části (10–15  $\mu\text{m}$ ). Vnější povrchem cement naléhá na periodontální vlákna a svým vnitřním povrchem se přikládá k dentinu. Jeho funkcí je umožnit navázání periodontálních vláken a tím napomoci pružnému ukotvení zubu v zubním lůžku. Cement se postupně tvoří během celého života a to umožňuje opětovné uchycení periodontálních vláken. Stejně jako u dentinu, je na povrchu malá vrstvička, která není kalcifikovaná. Na-zýváme ji **precement**. Cement je bez cév a bez inervace. Cement má mnohem menší metabolickou aktivitu než kost, takže při modelaci postavení zubů ortodontickými zásahy dochází k přestavbě a remodelaci hlavně v kostní tkáni alveolu a cement se na těchto proce-sech prakticky nepodílí. Příčina těchto vlastností je neznámá, ale existuje několik hypotéz: rozdíly v biologických a chemických vlastnostech oproti kosti, vlastnosti precementu, zvy-šující se denzita Sharpeyových vláken, zbytky epitelových buněk na povrchu kořene. Lze pozorovat tři druhy vztahu mezi cementem a sklovinou (obr. ??).

1. cement překrývá část skloviny (asi v 60 %),
2. cement přímo nasedá na sklovinu (asi v 30 %),
3. mezi cementem a sklovinou zůstává nepokrytá část dentinu (asi 10 %).



**Obr. 14:** Celulární a acelulární fibrilární cement na povrchu zubu. Cement nasedá přímo na sklovinu nebo nechává malou oblast dentinu nekrytou nebo přechází na sklovinu.

**Fyzikální vlastnosti** Cement je světle žlutý a má matný povrch. Je měkčí než dentin. Permeabilita kolísá s věkem a typem cementu, buněčný cement je propustnější. Celkově je cement permeabilnější než dentin a jako u ostatních zubních tkání, permeabilita klesá s věkem.

**Chemické vlastnosti** Cement se skládá z anorganické složky (65 %), organické komponenty (23 %) a z vody (12 %). Hlavní anorganickou složkou je hydroxyapatit. Jeho krystalky jsou tenké a obdobně uspořádané jako u fibrilární kosti. Organickou složku tvoří převážně kolagen typu I.

**Klasifikace cementu** Podle přítomnosti nebo nepřítomnosti buněk lze rozlišit **acelulární cement**, který kryje nejčastěji oblast v blízkosti dentinu, zatímco celulární cement je především v apikální a interradikulární oblasti a zčásti překrývá acelulární cement (obr. ??). Samozřejmě mohou být i různé odchylky od tohoto rozložení. Jako první je tvořen acelulární cement, který někdy bývá nazýván také **primární**. Naproti tomu následovně tvořený **celulární cement** je označován jako cement **sekundární**. Většina strukturálních rozdílů mezi oběma typy cementu je způsobena rychlejší tvorbou hmoty u celulárního cementu. Největším rozdílem je přítomnost buněk u celulárního cementu – cementocytů.

Cement je tvořen nepravidelně a tím vznikají nerovnoměrné přírůstkové linie. U acelulárního cementu jsou tyto linie spíše tenké a rovnoměrné. U rychleji tvořeného celulárního cementu jsou více oddělené, hustší a více nepravidelné. V koronární třetině kořene se tedy nachází acelulárně-fibrilární cement, který obsahuje pouze četná kolagenní vlákna. Ta probíhají téměř kolmo k povrchu dentinu. Jsou to v podstatě prodloužená vlákna paradontu, která se k cementu upínají (Sharpeyova vlákna). Tato vlákna mohou měnit směr průběhu mezi jednotlivými růstovými liniemi. Kolmo na upínající se vlákna paradontu probíhají vlastní vlákna cementu. Tím zpevňují úpony paradontálních vláken. Povrch acelulárně-fibrilárního cementu je mineralizován více než střední vrstvy cementu. Leží tu také 3–8  $\mu\text{m}$  široká vrstva – **cementoid**, kde se mohou vyskytovat cementoblasty. V apikální části kořene a ve furkacích vícekořenových zubů je cement prostoupen vlákny, které probíhají kolmo k povrchu kořene – zde je nižší mineralizace. Kolmo na tato Sharpeyova vlákna opět probíhají svazky vláken cementu, které běží paralelně s kořenem a upevňují vazbu periodontálních vláken k cementu. V tzv. lakunách se nachází buňky – **cementocyty**, jejichž výběžky probíhají do všech směrů. Tento typ cementu nazýváme celulárně-fibrilární a mohou se tu střídát vrstvy více či méně mineralizované. Na periferii cementu opět nacházíme cementoid s cementoblasty.

**Dentinocementová hranice** Je poměrně rovná, nevytváří se zde girlandovité výběžky jako mezi sklovinou a dentinem. Je tvořena přikládáním vrstvy acelulárního cementu na povrch kořenového dentinu, odkud mohou do cementu zasahovat i dentinové tubuly. Někdy je tato hranice nezřetelná a je tvořena jen přechodnou vrstvou, ve které se spojují morfologické znaky cementu i dentinu.

### 2.3.1 Klinické poznámky

**Reparace a novotvorba cementu** Pokud je u resorpce stálého zubu odstraněna její příčina, může docházet k její reparaci pomocí zvýšené tvorby celulárního cementu. Zlomeniny kořene mohou být někdy zhojeny pomocí cementového svalku (cemental callus), který vzniká tím, že defekt je překryt silnější vrstvou cementu. Ten však

většinou nezachovává původní tvar zubního kořene. Při ztrátě kontaktu dvou antagonistických zubů může docházet k „vyrůstání“ zubu z alveolu, což je způsobeno kompenzační tvorbou cementu v oblasti apexu. Cement se postupně tvoří po celý život. Může docházet i k **hypercementóze**, což znamená nadměrnou tvorbu cementu při silném okluzálním zatížení nebo jako následek chronického zánětu periodontia. Toto může působit potíže při extrakci zubu.

**Cementikly** jsou malá, mineralizovaná kulovitá tělíska, která těsně naléhají na povrch cementu nebo se nacházejí volně v periodonciu. Mohou být např. následkem mikrotraumat, kdy dojde k trhlinkám Sharpeyových vláken, nebo mineralizace degenerovaných zbytků epitelu či trombotizovaných cév. Nejčastěji je nacházíme v apikální a střední třetině kořene a v oblasti kořenových furkací.

**Kaz cementu** Tento kaz se může vytvořit v případě, že se posune epitelový úpon zubu apikálně a tím se odhalí kořen zubu, což je nejčastější u starších osob s atrofií parodontu, u parodontitidy nebo po některých léčebných výkonech na parodontu. Kaz vzniká nejčastěji na koronární části kořene, která je obvykle pokryta acelulárním cementem. Proces začíná demineralizací cementu a na povrchu se vytváří velmi tenká vrstvička, která je hypermineralizovaná. Pod touto vrstvičkou je demineralizovaná zóna, kde chybí asi 50 % minerálních látek. Baktérie se do acelulárního cementu dostávají hlavně podél částečně demineralizovaných Sharpeyových vláken, kolmo k povrchu cementu. Tento prostup se většinou na určitou dobu zastaví u cemento-dentinové hranice. Protože je v kořenové části dentinu mnohem méně tubulů než v části korunkové, velmi rychle nastává tvorba ochranného sklerotického dentinu, který brání dalšímu průniku kazu. Kaz v oblasti kořene bývá většinou plošný, šíří se laterálně a může pokračovat cirkulárně kolem celého zubu. V případě rychlého odstranění kazu se může kořenový kaz vyhojit remineralizací.

## 2.4 Zubní dřev

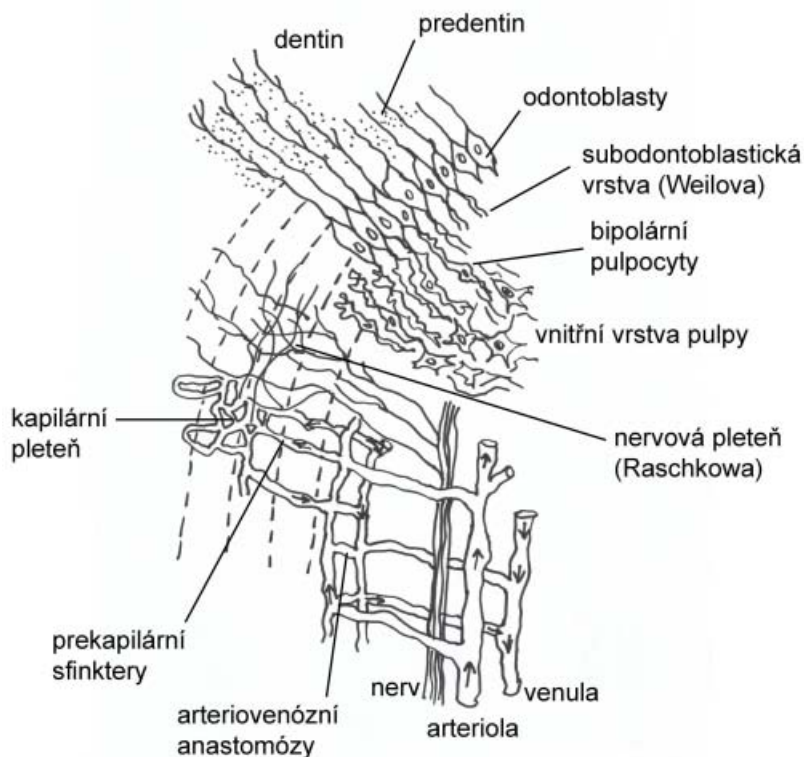
Zubní dřev je tkáň zodpovědná za tvorbu dentinu. Je obsažena v dřevné dutině zubu a kořenových kanálcích. Zubní dřev je důležitá nejen během vývoje a prořezávání zubu, ale její funkce pokračuje během celého života jak tvorbou sekundárního dentinu, tak tvorbou terciárního dentinu jako reakce na vnější vlivy (zubní kaz, trauma). Zubní dřev je specializovaná pojivová tkáň se specifickým anatomickým uspořádáním uvnitř dutiny obklopené tvrdou tkání, na jejíž tvorbě se podílí. Odontoblasty, které formují dentin, jsou uloženy na povrchu zubní dřev. Jsou zde uložena nervová zakončení nervus trigeminus a specializované antigen-prezentující buňky. Kapiláry a nervová vlákna vstupují a vystupují do zubní dřev přes foramen apicale, které je na kořenovém hrotu. Některé zuby mají jeden kořenový kanálek, jiné mohou mít více kanálků. V apikální třetině kořene také dochází k odstupům bočních **akcesorních kanálků** a jejich větvení (ramifikace).

**Složení** Zubní dřev se skládá z buněk ukotvených v extracelulární matrix, vláken a polotekutého gelu. Obsahuje 75 % vody a 25 % organické hmoty. Jako ostatní pojivové tkáně obsahuje více matrix než buněk. Extracelulární hmota je tvořena složkou vláknitou (retikulární vlákna) a amorfní (zejména proteoglykany).

**Odontoblasty** tvoří dentin. U plně vyvinutého zubu pokračují odontoblasty v tvorbě sekundárního dentinu po celý život a přežívají, dokud zůstává zub vitální. Při působení vnějších nox, jako je zubní kaz nebo úraz, schopnost odontoblastů tvořit sekundární dentin klesá. U odontoblastů nedochází k dělení a tak postupně odumírají

vlivem vnějšího působení. Naštěstí buňky, které leží pod odontoblasty, se dokáží vlivem těchto okolností přeměnit na odontoblastům-podobné buňky, které tvoří terciární dentin. Plně vyvinuté odontoblasty jsou sloupcovité buňky s jednoduchým výběžkem, který zasahuje až do predentinu a dentinu. Odontoblasty v korunkové části zubu jsou zřetelně sloupcovité, v kořenové části jsou většinou kubické. Z odontoblastů vybíhají směrem do dentinu tenké výběžky – **Tomesova vlákna**, která jsou uložena v dentinových tubulech. Vrstva odontoblastů poskytuje kontrolní bariéru mezi zubní dřeví a dentinem. Tato vrstva chrání zubní dřeví před vnějšími poškozeními.

**Vrstvy zubní dřevě** Pokud budeme postupovat směrem z vnější strany, mezi predentinem a vrstvou odontoblastů se nachází **supraodontoblastická vrstva**. Nacházíme zde neopouzdržené axony, které jsou popisovány jako **predentinální plexus (Bradlaw)**. Není to nerová pletěň v užším slova smyslu, ale místa, kde se axony shromažďují. Většina jich pravděpodobně pokračuje do dentinových tubulů. Tyto axony jsou v ideální pozici, aby mohly vnímat změny v tlaku tekutiny, která proudí v dentinových tubulech a reaguje na vnější podněty. Přítomny jsou i dendritické antigen prezentující buňky. Tato oblast tedy slouží k prvotnímu rozeznání vnějších stimulů působících na zubní dřeví. Další vrstvou je vrstva odontoblastů. Pod ní následuje subodontoblastická **Weilova zóna**. Tato vrstva je bezbuněčná a je tvořena převážně cytoplazmatickými výběžky bipolárních vazivových buněk. Je zde také uložena bohatá kapilární pletěň a **nervový plexus Raschkowův**. Další vrstva je tvořena bipolárními fibroblasty (pulpocyty), které vysílají jeden cytoplazmatický výběžek do Weilovy vrstvy a druhý do vnitřní vrstvy pulpy (obr. 14). Vnitřní vrstva pulpy je tvořena vazivem, kde jsou nepravidelné hvězdicovité fibrocyty. Mezi nimi probíhají v amorfní základní hmotě kolagenní a retikulární vlákna. Dále jsou zde také histiocyty, lymfocyty a plazmatické buňky. Tyto elementy se mohou aktivovat při zánětlivých procesech. V kořenové části zubní dřevě převažují kolagenní vlákna a probíhají tudy krevní cévy a nervy.



### 2.4.1 Klinické poznámky

V zubní dřeni může docházet i k tvorbě **dentiklů**. Rozlišujeme pravé a nepravé. Pravé dentikly jsou vzácné a skládají se z dentinu, na který nasedají odontoblasty. Nepravé dentikly jsou složeny z kalcifikované, koncentricky uspořádané hmoty a vyskytují se buď jednotlivě nebo mnohočetně. Mohou být ve dřeni volně (volné dentikly) nebo připojené k dentinové vrstvě zubu nebo mohou být zcela v dentinu. Dentikly mohou dráždit nervová vlákna a vyvolávat záněty. Pokud jsou umístěny v ústích kořenových kanálků, mohou zabraňovat endodontickému ošetření.

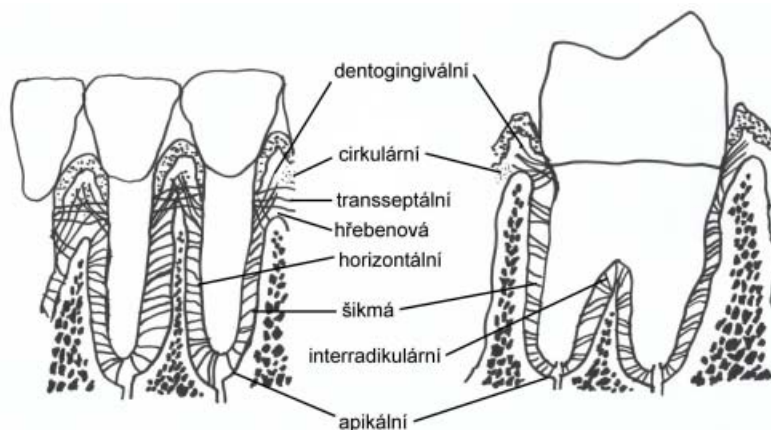
## 2.5 Periodontální ligamentum

Periodontální ligamentum je vazivová tkáň, která obklopuje kořen zubu a připojuje ho k zubnímu lůžku. Průměrná šířka periodontálního prostoru je asi 0,2 mm. Je tvaru přesýpacích hodin, nejužší ve střední oblasti. Šířka periodontálního prostoru závisí na funkčním stavu periodontálních tkání. Prostor je zredukován u nefunkčních a neprořezaných zubů a zvětšen u zubů s vysokým žvýkacím zatížením. S přibývajícím věkem se prostor mírně zužuje. U dočasných zubů je tento prostor širší než u jejich trvalých nástupců.

**Funkce** Tato tkáň spojuje zub s alveolární kostí. Tím odolává silám, které by mohly vést k posunu zubu a chrání zubní tkáň před poškozením při nadměrném žvýkacím tlaku. Jeho buňky tvoří, udržují a obnovují alveolární kost a cement. Periodontální ligamenta jsou přirovnávána k vazivovému kloubu. Jako ostatní vazivové pojivové tkáně se periodontální ligamentum skládá ze snopců kolagenních vláken, mezi kterými jsou jen ojedinělé fibrocyty a malé množství amorfní základní hmoty, krevních cév a nervů. Jejich konce se upínají jako Sharpeyova vlákna na jedné straně do zubního cementu a na straně druhé do kosti lamina dura (lamina cribriformis) zubního alveolu. Mezi jednotlivými ligamenty jsou malé intersticiální prostory, kde se nachází řídké kolagenní vazivo, které obsahuje větší množství základní hmoty (glykosaminoglykany a glykoproteiny) a buňky. Tyto buňky jsou nediferencované mezenchymové a mohou se podílet na funkční přestavbě periodoncia, ale i přilehlých tkání jako je alveolární kost a v menší míře i zubní cement. V případě potřeby se diferencují na **blasty**, tj. elementy, které syntetizují matrix (fibroblasty, osteoblasty, cementoblasty) nebo na **klasty**, tj. elementy, které vedou odbourávání a resorpci (fibroklasty, osteoklasty, cementoklasty). V intersticiálním vazivu se nachází i volné vazivové buňky - histiocyty, lymfocyty, plazmatické buňky. Dále v tomto intersticiálním prostoru probíhají krevní a lymfatické cévy a nervy. Krevní cévy vstupují do periodoncia třemi směry - v oblasti apexu se oddělují od větví, které jdou do pulpy, dále v alveolu vstupují přes lamina dura a také v horní části z arterií, které zásobují gingivu. Tyto větve navzájem anastomozují a v intersticiálních prostorech se větví na kapilární síť. Lymfatické cévy sledují průběh krevních cév. Inervace je tvořena četnými senzitivními nervy, které vytvářejí síť mezi periodontálními ligamenty. Senzitivní zakončení jsou trojího typu - knoflíková zakončení a kličky kolem ligament (ty zprostředkují vnímání taktilních podnětů a dotyku na zub a tlaku při kousání) a volná zakončení (ty zprostředkují bolestivé podněty).

**Průběh periodontálních ligament** Vláčna, která tvoří periodontální vazy, probíhají různými směry a podle jejich uspořádání je rozdělujeme do několika skupin (obr. 15).

1. Gingivální vlákna upevňují gingivu k zubu v oblasti krčku a probíhají dvěma směry:
  - (a) dentogingivální vlákna jdou radiálně z cementu v krčkové oblasti do volné i připojené gingivy,
  - (b) cirkulární gingivální vlákna prstencovitě obkružují krček zubu a jsou uložena ve volné gingivě, kterou tím přidrží k povrchu zubu.
2. Transseptální vlákna spojují krčky sousedních zubů, probíhají mesiodistálně mezi jednotlivými zuby těsně nad interalveolárními septy. Při snižování tohoto septa dochází k jejich novotvorbě. Mezi premoláry a moláry probíhají šikmo. Tvoří podklad interdentální papily.
3. Alveolární vlákna tvoří největší skupinu periodontálních vazů a probíhají mezi cementem a alveolární kostí. Dále se dělí:
  - (a) hřebenová vlákna probíhají z cementu v oblasti krčku šikmo. Upínají se do periostu hřebene interalveolárního septa. Svým tahem působí proti šikmým vláknům a zabraňují vysouvání zubu směrem nahoru,
  - (b) horizontální vlákna jsou v horní třetině kořene a probíhají kolmo k podélné ose zubu. Brání horizontálním (laterálním) pohybům zubu,
  - (c) šikmá vlákna jsou nejpočetnější a nachází se ve střední a dolní třetině kořene; Probíhají šikmo vzhůru od kořene do kostního alveolu a vyrovnávají okluzální tlaky,
  - (d) apikální vlákna běží od hrotu kořene šikmo dolů a upínají se do dna zubního lůžka; Brání vytahování zubu z lůžka,
  - (e) interradiální vlákna jsou u vícekořenových zubů a probíhají od bifurkace kořenů ke hřebenům mezikořenových sept; brání vytahování zubu a jeho rotaci.



Obr. 16: Průběh periodontálních ligament.

## 2.6 Alveolární kost

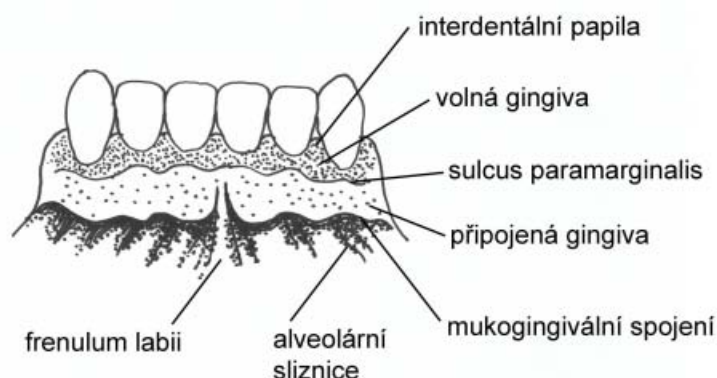
Stěna zubního lůžka je tvořena ploténkou – os alveolare, kterou také nazýváme **lamina cribriformis**, protože je proděravěna otvory, kterými prostupují krevní cévy a nervy nebo **lamina dura** podle kontrastu na RTG snímcích. Je to kompaktní kost s Haverskými systémy, kam se upínají jako Sharpeyova vlákna svazky kolagenních periodontálních vláken.



Mezi jednotlivými alveoly jsou kostěné přepážky – interalveolární septa, u vícekořenových zubů jsou ještě i mezikořenová septa. Alveolární kost má velkou schopnost přestavby. Není na povrchu kryta periostem, tuto funkci přebírá periodoncium, které obsahuje progenitorové buňky. Proto zde mohou probíhat procesy resorpce i novotvorby. Toto má velký význam při ortodontické terapii, kdy pod vlivem tahu dochází k posunu zubu, což je dáno resorpcí kosti na jedné straně a novotvorbou na straně opačné.

## 2.7 Dáseň (gingiva)

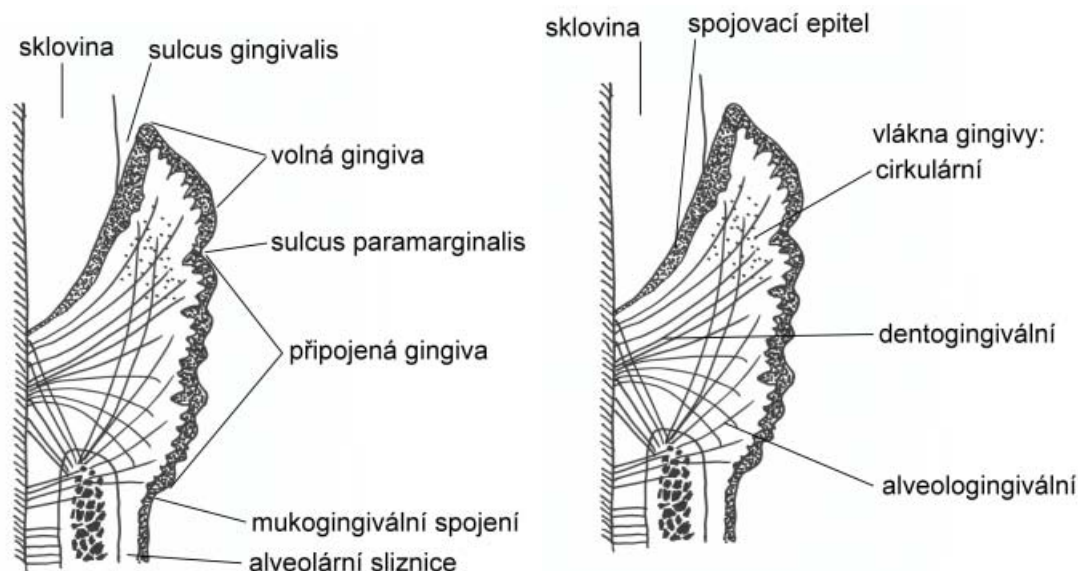
Dáseň je část orální sliznice, která pokrývá horní část alveolárních výběžků, oblast zubního krčku a dolní část anatomické korunky zubu. Má bledorůžovou barvu a od ostatní alveolární sliznice (červená) ji odděluje ostrá hranice, mukogingivální spojení (linie). Rozdíl mezi těmito dvěma druhy sliznice je v tom, že gingiva je tvořena mechanicky odolným, mastikačním typem sliznice a je kryta rohovějícím epitelem, který je k periostu připojen bez submukózy (mukoperiost). Naopak ostatní alveolární sliznice je tvořena základním typem krycí sliznice dutiny ústní (nerohovějící vrstevnatý dlaždicový epitel, který nasedá na podslizniční vazivo).



Obr. 17: Jednotlivé části gingivy.

Topograficky se gingiva rozděluje na volnou a připojenou a tyto dvě odděluje mělký žlábek, **sulcus paramarginalis**. **Volná gingiva** (marginální) je široká asi 0,5–1,5 mm a tvoří horní okraj gingivy. Má hladký zevní povrch a od vlastního zubu je oddělena úzkým žlábkem, **sulcus gingivae** (hluboký asi 1–2 mm). **Připojená gingiva** je část gingivy mezi sulcus paramarginalis a mukogingiválním spojením, široká asi 3–9 mm. Povrch je nerovný, s dolíčky a hrbolky, což je způsobeno pevným připojením snopečků kolagenních vláken do vazivových papil, které vybíhají do epitelu. Lamina propria vybíhá proti epitelu v podobně různě vysokých papil, nejvíce jsou zastoupené v připojené gingivě, kde do nich vybíhají svazky kolagenních vláken, což tvoří nerovný povrch gingivy. Ve volné gingivě jsou papily menší a méně četné.

Lamina propria obsahuje velké množství svazků kolagenních vláken, která pevně připojují gingivu k podkladu pomocí vazů. Probíhají různým směrem a některá již byla zmíněna v popisu periodontálních vláken (dentogingivální, alveologingivální a cirkulární).



**Obr. 18:** Členění gingivy (schéma podélného řezu).

**Obr. 19:** Průběh svazků kolagenních vláken pojících gingivu k zubu a alveolárnímu výběžku.

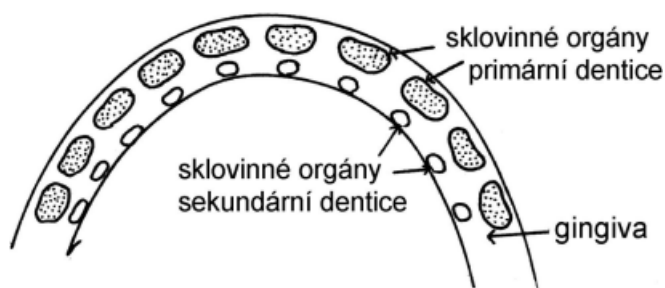
### 2.7.1 Gingivodentální uzávěr

V oblasti krčku zubu je pevné spojení epitelu gingivy s tvrdými zubními tkáněmi (sklovinou nebo cementem). Toto tvoří pruh epitelu, který je pokračováním epitelu v sulcus gingivalis a jde od jeho dna na krček zubu. Značíme ho jako **spojovací** nebo **úponový epitel** (obr. 18) a cirkulárně obkružuje celý krček zubu jako těsnicí epitelová manžeta. Dosahuje šířky asi 0,25–1 mm, je tenčí než ostatní epitel gingivy a směrem ke krčku se dále ztenčuje. Epitel manžety je tvořen oploštělými buňkami vrstevnatého dlaždicovitého epitelu, který nasedá na rovnou bazální membránu. Buňky běží paralelně s povrchem zubu a spojení s povrchem skloviny zajišťují hemidesmosomy. Jsou zde přítomny mnohé leukocyty včetně monocytů, které přecházejí z vazivové tkáně do gingiválního žlábků. Buňky spojovacího epitelu jsou málo diferencované a mají velkou regenerační schopnost, což umožňuje obnovení gingivodentálního uzávěru. Gingivodentální uzávěr se postupem života mění. V mladším věkovém období dosahuje dolní konec epitelové manžety k cemento-sklovinné hranici, s postupem věku se jeho úpon posunuje směrem apikálně na cement. Postupně může celá manžeta sestupovat níže, takže dochází k obnažování krčku a ve stáří pak může být klinická korunka větší než anatomická.

### 3 Vývoj zubu

Normální vývoj zubů je výsledkem vzájemných indukčních pochodů mezi **mezenchymovou a ektodermovou komponentou** zubního základu. Prvním stadiem vývoje zubu je indukční proces vycházející z mezenchymálních buněk výběžků pro horní a dolní čelist, které působí na ektodermální buňky na vrcholu těchto výběžků. Zmnožením ektodermových buněk se vytvoří tzv. zubní ploténka odpovídající tvaru základu čelisti. Buňky zubní ploténky prorůstají do hloubky a změny se v **zubní lištu**. Vestibulárně od zubní lišty dochází k dalšímu ztlustění epitelu, který rovněž prorůstá do hloubky a dává vznik **labio-gingivální liště**.

Část povrchových buněk této lišty zaniká, vzniká hluboký žlábek, základ vestibulum oris, oddělující budoucí alveolární výběžek od tváře a rtů. Pod vlivem **mesenchymových papil**, vznikajících pod lištou, bují ektodermové buňky v pravidelných odstupech do hloubky a rozšíří se v **ektodermové pupeny** (obr. 20, 24), které se zvětší nejprve do tvaru kuličky se stopkou, pak se promáčknutím na straně k mezenchymové liště změny v **ektodermové zvonečky** (obr. 21, 25). Celkem se takto vytvoří po deseti základech v každé čelisti. Z těchto útvarů se později vyvinou dočasné (mléčné) zuby.

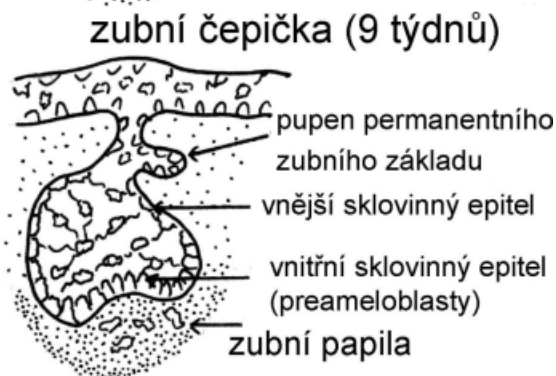
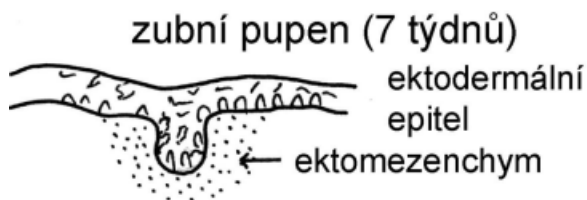


Obr. 20: Základy primární a sekundární dentice

Během dalšího vývoje se ektodermový základ ve tvaru zvonečku změny ve **sklovinný orgán**. Pod každým sklovinným orgánem se mesenchym kondenzuje v **papilu**. Proti papile se buňky sklovinného orgánu měny ve vnitřní **sklovinný epitel**. Navenek je sklovinný orgán ohraničen zevním sklovinným epitelem. Epitelové buňky sklovinného orgánu se rozestoupí a tím vzniká **sklovinná pulpa**.

Na orální (linguální a palatinální) straně vypučí ze zubní lišty základy pro stálé (náhradní) zuby. V pokračování zubní lišty směrem distálním (za základem druhé dočasné stoličky) vypučí další tři pupeny pro stálé stoličky, které tedy nemají předchůdce v dočasném chrupu a nazývají se proto zuby doplňkové.

Cylindrický vnitřní sklovinný epitel indukuje v přiléhajících mesenchymových buňkách zubní papily vznik **odontoblastů**, buněk, jež po své diferenciaci produkují **predentin**. Z okolního mesenchymu obklopujícího jak zubní papilu, tak i sklovinný orgán, se vytváří **zubní vak**. Z buněk zubního vaku se diferencuje tzv. **parodont**, k němuž se počítá zubní cement, buňky a vazivo vyplňující periodontální štěrbinu (periodontium) a kostěná stěna zubního alveolu, tzv. lamina dura (os alveolare). Kromě toho se ze zubního vaku diferencuje i vazivová část dásně – gingivy, ale vlastní epitel gingivy je původu ektodermového.

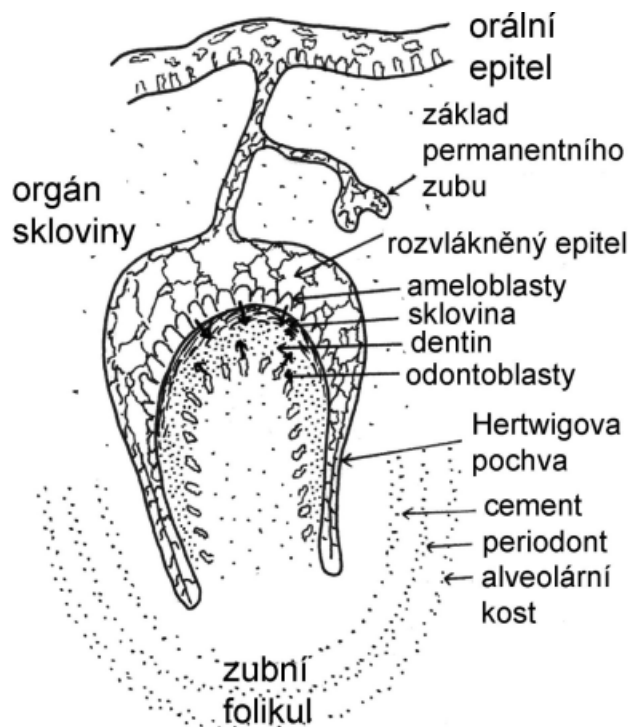


Obr. 21: Časná stadia vývoje zubu

Obr. 22: Zvonkové stadium vývoje zubu

Diferencované odontoblasty produkují napřed v místech budoucích hran, hrotů či korunek zubů tenkou vrstvu nezápnělého dentinu – predentin, z něhož vzniká celý model oklusní plochy zubu. Predentin obsahuje látky, které indikují diferenciaci buněk vnitřního sklovinného epitelu v **ameloblasty**, buňky produkující email čili sklovinu. Nejdříve se sklovina vytváří v místech vrcholů zubních hrbolků a odtud ukládání skloviny postupuje po svazích hrbolků k jejich úpatí, kde zůstávají v důsledku toho mezi hrbolky hluboké zářezy (fisury), predilekční místa pro vznik zubního kazu. Ve fisurách zůstává totiž email nejtenší. Sklovina postupně pokrývá celý základ korunky a dosahuje až na hranici s krčkem. Tvar korunky tedy v podstatě závisí na produkci predentinu odontoblasty mesenchymové papily zubu.

V dalším vývoji se dentin ukládá **apozicí** na stěnách dřevové dutiny po celý život, takže dřevová dutina se po celý život zmenšuje. Tento dentin se nazývá **sekundární**. Kromě tohoto dentinu se vytváří ještě dentin terciární jako reakce na poškození skloviny např. pod místem kazu nebo pod zubní výplní jako jakási obranná bariéra. Terciární dentin může dutinu dřevovou případně úplně obliterovat. Naproti tomu sklovina se tvoří ze zevní strany, její tvorba končí vytvořením zubní korunky. Období tvorby skloviny je časově omezené, a proto jednou obroušená nebo kazem poškozená sklovina se již nemůže nahradit.



**Obr. 23:** Sklovinný orgán



**Obr. 24:** Základ zuby. Proti dentinu (c – modře) produkovaném odontoblasty (d) je vrstva skloviny (b – červeně) produkovaná vnitřními ameloblasty (a). Preparát prof. M. Klímy.

Zubní papila má na svém zevním povrchu odontoblasty, buňky produkující dentin. Z většiny mesenchymové papily vzniká **zubní pulpa** (dřeň). Tato pulpa je od samého začátku vývoje bohatě prokrvena i inervována.

Z orálně uloženého pupenu (obr. 19) se vytváří sklovinný orgán a množí se buňky papily náhradního zuby. Zbytky zubní lišty se mění v roztroušené buněčné ostrůvky, které mohou někdy persistovat a dávat vznik tzv. epitelovým perlám.

**Kořen zuby**, resp. jeho dentinová složka, vzniká po vytvoření zubní korunky tak, že v místě krčku se přikládá k základu korunky. Přiložením buněk zevního sklovinného epitelu a ameloblastů vzniká dvojvrstevná **Hertwigova epitelová kořenová pochva**, která má tvar horizontální přepážky. Vlivem buněk Hertwigovy pochvy se diferencují další odontoblasty produkující kořenový dentin. Celý proces postupuje apikálním směrem. Horizontální přepážka ustupuje apikálním směrem a určuje tvar kořene až do jeho úplného vytvoření.

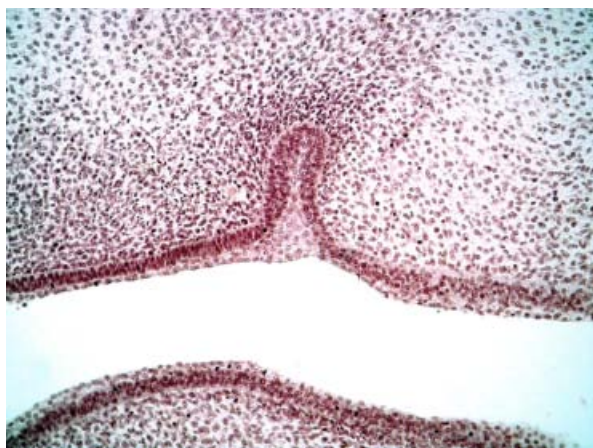
U vícekořenových zubů prolifery buňky Hertwigovy pochvy v několika místech podle definitivního počtu kořenů do hloubky. Na bocích kořenů ztrácejí buňky Hertwigovy pochvy soudržnost, mezi ně pronikají k povrchu dentinu kořene buňky zubního vaku a začnou na jeho povrchu jako cementoblasty vylučovat **primární bezbuněčný cement**. V oblasti krčku překrývá cement někdy (obr. ??) i cervikální část skloviny. Do primárního cementu se zakotvují vazivová vlákna **závěsného aparátu zubů** (desmodont) na způsob Sharpeyových vláken periostu. Periferní konec těchto vláken je zakotven v kompaktní alveolu.

Pokud vnikají těsně pod korunkou do mesenchymové papily silnější krevní cévy, mohou je buňky Hertwigovy pochvy obrůst, čímž v dentinu vznikají zejména v horní třetině

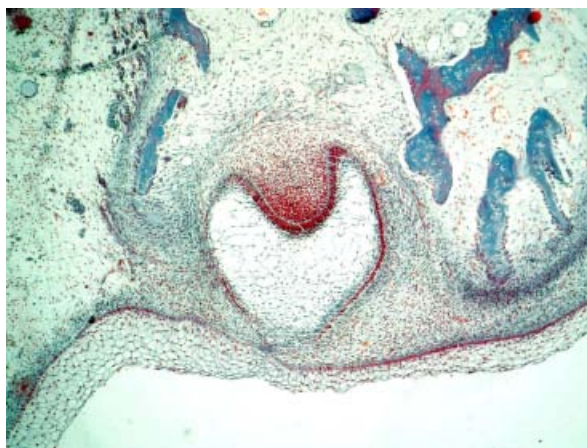
kořene tzv. **akcesorní kanálky**. Na apikálních částech kořene vznikají tímto způsobem **apikální ramifikace** kořenových kanálků. Skupiny buněk Hertwigovy pochvy na boční straně kořene mohou perzistovat v periodontální štěrbině jako **Malassezovy ostrůvky**, v nichž mohou vznikat v čelistech cysty nebo nádory zvané ameloblastomy. Maligní degenerací Malassezových ostrůvků může přímo vznikat karcinom mandibuly.

V období **prořezávání** (erupce) zubů téměř úplně **zaniká epitel sklovinného orgánu**. Redukovaný epitel sklovinného orgánu se mění v **epitel spojovací**, který se ihned po prořezání hrbolku zubu spojí s epitelem pokrývajícím alveolární hřeben, tedy epitelem gingivy. Tím vzniká **dentogingivální uzávěr**, který od okamžiku prořezání hrotu korunky tvoří neprodyšnou a nepropustnou uzávěru periodontální štěrbiny. **Dentogingivální vlákna** závěsného aparátu zubu tuto uzávěru zpevňují. Spojovací epitel tedy klouže jako límeč po korunce během prořezávání, při ústupu dásně při stárnutí přechází přes krček na kořen.

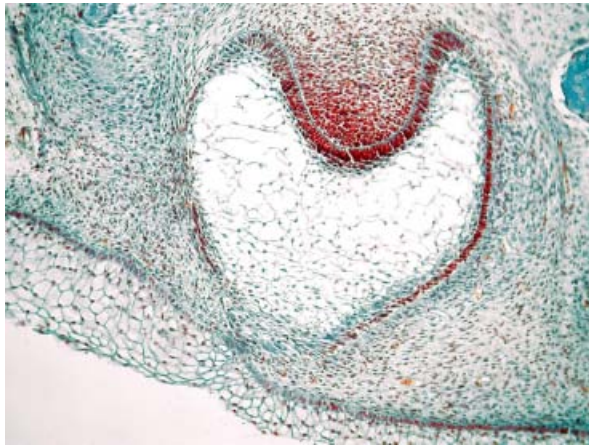
V období prořezávání zubů není kořen ještě zdaleka vytvořen, jeho narůstání směrem apikálním pokračuje řadu let. Po celou tuto dobu je hrotová část kořene široce otevřena, vstupují do ní četné cévy, které po prořezání zubu, kdy též dochází k uzavírání dřevné dutiny, mohou dát vznik apikálním ramifikacím.



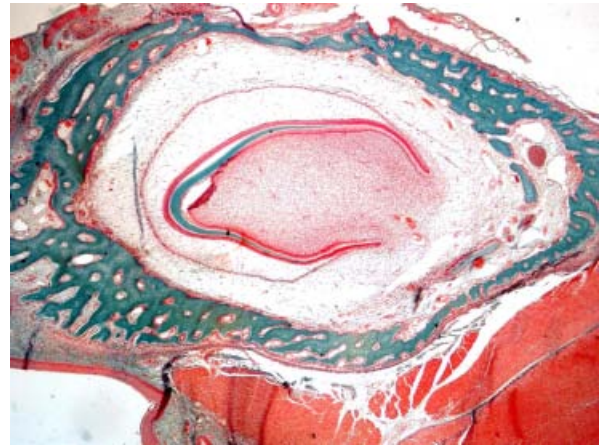
**Obr. 25:** Ektodermová čepička se z gingivální lišty vchlipuje do mezenchymu.



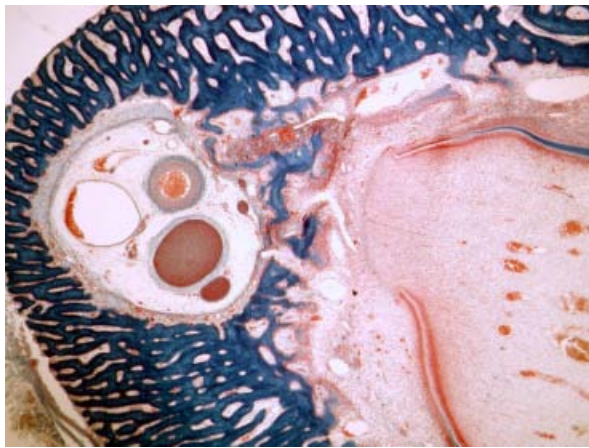
**Obr. 26:** Ektodermová zubní papila je vyplněna retikularizovaným epitelem a obemývá zahuštěnou mezenchymální papilu.



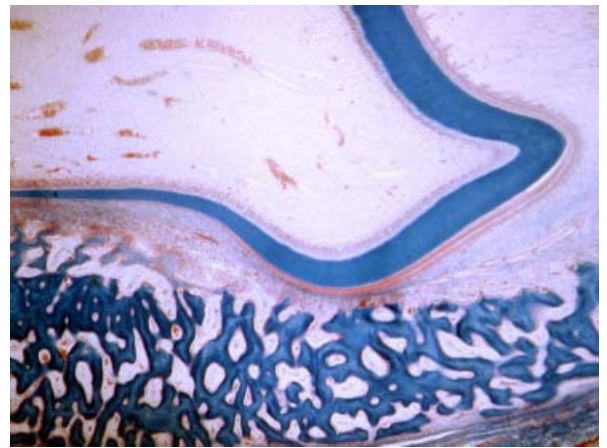
**Obr. 27:** Ektodermová zubní papila. V horní části snímku se na povrchu diferencují vnitřní ameloblasty, které jsou přes bazální membránu v kontaktu s mezenchymální papilou.



**Obr. 28:** Ektodermová papila se přeměnila ve sklovinný orgán, který obemyká zahuštěnou mezenchymální papilu. Kolem základu zubu je zeleně zbarvená desmogenní mandibula.



**Obr. 29:** Vlevo canalis mandibulae s vena et arteria alveolaris inferior a nervus alveolaris inferior. V pravé části snímku je baze mezenchymální papily.



**Obr. 30:** Pokračování předchozího snímku. Zleva mezenchym budoucí pulpární dutiny na povrchu s odontoblasty produkujícími zelený lem dentinu. Na něm načervenalá velmi tenká vrstva skloviny a vrstva vnitřních ameloblastů. V dolní části snímku je zeleně trámčina mandibuly. Snímky 24–29 z preparátů Prof. M. Klímy, fetální mandibula prasete, barvení AZAN.

## 4 Přehled morfologie kostní tkáně

Kost (os) je orgán. Kostní tkáň je jednou z tkání, které se na její stavbě podílejí. Je jednou z nejtvrdějších tkání v těle – jedná se o specializované pojivo tvořené buňkami, osteocyty, kolagenními vlákny a mineralizovanou mezibuněčnou hmotou.

### 4.1 Kostní tkáň

Kostní tkáň je mineralizovaná, vysoce vaskularizovaná, živá a adaptabilní pojivová tkáň. Jako jiné tkáně je i kost tvořena buňkami a intercelulární matrix. Asi 40 % hmotnosti suché vyzrálé kosti je tvořeno organickou složkou, zejména kolagenem, zbytek doplňují anorganické soli zejména kalcia a fosforu. Uvnitř kosti vzájemně anastomozují cévní kanálky, které umožňují nutrici buněk, osteocytů, zalitých do matrix. Kanálky tvoří ale také preformovanou cestu pro pohyb buněk jiných, jako osteoblastů (kost tvořících) nebo osteoklastů (kost resorbujících). Kost je živá a adaptabilní tkáň, proto se výše popsané obecné znaky v detailech mění dle stupně vývoje, převažující mechanické zátěže i metabolické situace organismu.

Pevnost a pružnost kostní tkáně jsou závislé na způsobu uspořádání složek její matrix. V tomto ohledu existují dva zásadně odlišné typy organizace kosti:

**Kost primární, vláknitá**, jinak také fibrilární, která se u člověka vyskytuje za ontogeneze, v dospělosti např. v místech drsnatin při úponu svalů a vazů (obr. 174, 175). V kosti vláknité jsou kolagenní vlákna i krystaly minerálů mezi vlákny uspořádány nepravidelně. Vlákna tenká se střídají s vlákny silnými tak, že jejich vzhled připomíná osnovu tkané textilie. Vláknitá kost je typická pro časný fetální skelet, v dospělosti se objevuje v místě fraktur při nepřiměřeně rychlé remodelaci a hojení kosti. Primární, vláknitá kost je tvořena vysoce aktivními osteoblasty v době vývoje, v dospělosti může být její tvorba stimulována frakturou, růstovými faktory nebo prostaglandinem E2.

**Kost sekundární (lamelární, vrstevnatá, Haversova)** během vývoje postupně nahrazuje kost vláknitou a tvoří naprostou většinu dospělého skeletu. Lamelózní kost se vyskytuje ve dvou makroskopicky snadno rozlišitelných formách: kostní tkáň hutná, **kompakta**, tvořící plášť kosti, a kostní tkáň houbovitá, **spongióza**, uvnitř kosti. Haversovy systémy, osteony (obr. 32, 33), tvoří základní strukturní jednotku. Odhaduje se, že v dospělém skeletu je na 21 milionů osteonů. Na transversálním řezu mají oválný až elipsovitý tvar o průměru mezi 100–400  $\mu\text{m}$ . Průměrně velký osteon je tvořen asi třiceti lamelami, každá z nich je asi 3  $\mu\text{m}$  tlustá. Každý osteon je prostoupen kanálky svých osteocytů, které tvoří cestu pro difúzi mezi osteocytem a cévami. Z maximálního průměru osteonu lze vyvodit, že žádný osteocyt není od cévy vzdálenější než 200  $\mu\text{m}$ , což je pro přežití buňky pravděpodobně maximální vzdálenost od cévy. Průměrná velikost centrálního kanálu osteonu je 50  $\mu\text{m}$ , směrem k dřevové dutině se zvětšuje. Kanál obsahuje jednu nebo dvě kapiláry vystlané fenestrovaným endotelem a pericyty. Cévní stěna obsahuje obvykle nemyelinizované axony.

### 4.2 Obecná stavba kosti

Na povrchu kosti (s výjimkou např. intraartikulárních povrchů) je okostice, **periost**, tuhá vazivová blána pokrývající kost s výjimkou kloubních konců. Periost je tvořen kolagenními

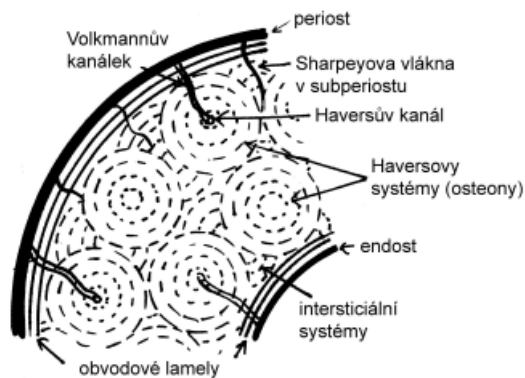


vlákny a fibroblasty. Z vnitřní, tzv. kambiové vrstvy periostu vybíhají svazky kolagenních vláken a pronikají do kostní matrix. Tato vlákna, zvaná **Sharpeyova**, fixují periost ke kosti. Fibroblasty, označované jako buňky progenitorové, jsou schopny další diference v osteoblasty, což má význam v procesu reparace nebo při růstu kosti do šířky.

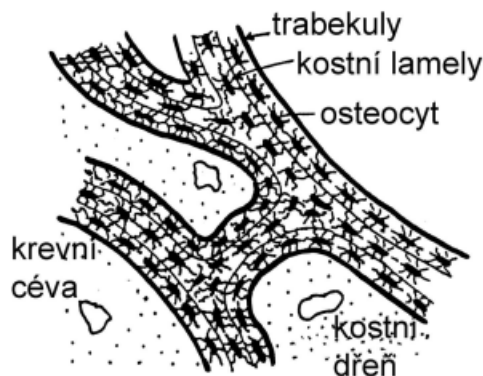
Bohatě prokrvená okostice má zásadní význam pro výživu kosti. Periost je i bohatě inervován a zprostředkovává vedení tzv. kostní bolesti.

### 4.3 Mikroskopická organizace kosti

Pod periostem je vrstva kompakty, která tvoří plášť kosti. Jak již bylo zmíněno, kompakta je jednou ze dvou forem uspořádání sekundární kostní tkáně. Základní morfologickou strukturou je zde **osteon**, neboli **Haversův systém** (obr. 32, 33). Obecně lze říci, že kompletní osteon je tvořen koncentricky uspořádanými lamelami, které dohromady tvoří válec. Jeho struktura je v detailu přizpůsobena jeho základní funkci, totiž nutrici a přestavbě kosti.



Obr. 31: Kompaktní kost

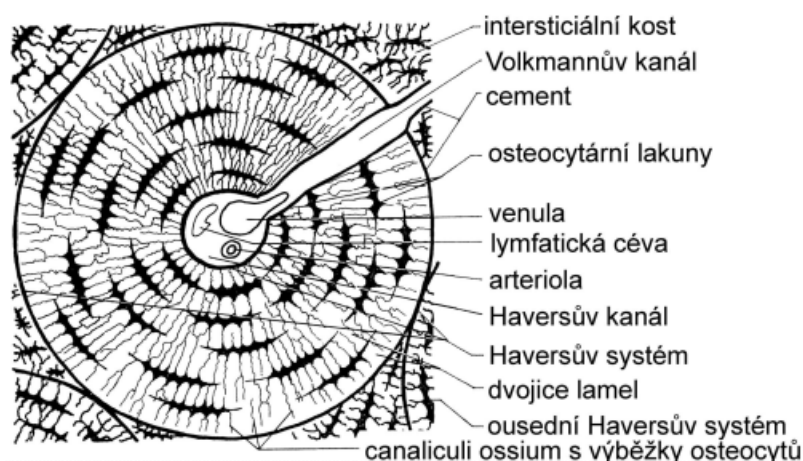


Obr. 32: Spongiózní kost

U nejběžnějších osteonů, tzv. úplných, je centrálně, v tzv. **Haversově kanálku**, řídké vazivo a v něm nervově-cévní svazek. Haversovy kanálky komunikují s dřevovou dutinou i periostem sítí **Volkmanových kanálků** (obr. 30, 32), které mají šikmý nebo příčný průběh a prorážejí lamelami osteonu.

Lamely jsou tvořeny svazky paralelně běžících kolagenních fibril, které mají v osteonu celkově spirálovitý průběh. Na fibrilách jsou uloženy štíhlé jehlice minerální složky, zejména **hydroxyapatitu** sodného. Mineralizovaná **matrix** lamel obsahuje **kolagen typu I**, jehož vlákna běží v anastomozujících svazcích asi 3  $\mu\text{m}$  silných a často běží v celé tloušťce lamely. Orientace vláken a s nimi spojených anorganických krystalů se v sousedních lamelách liší v rozmezí 0–90°, což je dobře patrné v polarizačním mikroskopu. Průběh kolagenních vláken je určován typem zátěže. V místech tahu běží longitudinálně, tlakem se mění na spíše šikmé. V plášťových lamelách diafýz nacházíme více transversálně běžících vláken.

V základní hmotě jsou zalaty i kostní buňky, **osteocyty**, které se nacházejí v lamelách uvnitř dutinek, lakun. Z nich vystupují kanálky vyplněné výběžky osteocytů. Osteocyty se podílejí na látkové výměně mezi mineralizovanou kostní matrix a krví, ovlivňují hladinu kalcia v tělesných tekutinách. Mezi jednotlivými lamelami jsou depozita mineralizované amorfny hmoty, tzv. **cementová substance** s malým počtem kolagenních vláken.



Obr. 33: Haversův systém



Obr. 34: Osteon

Během růstu dochází k neustálé **tvorbě, následné destrukci a obměně** Haversových systémů. Čím mladší systém, tím méně lamel a širší centrální kanál, od kterého se lamely tvoří a postupně posouvají do periferie. Výsledným obrazem uspořádání osteonů jsou u dlouhých kostí dospělých jedinců nejčastěji zastoupené **osteony úplné**, střídající osteony **intersticiální**, které jsou reziduy starších, destruovaných osteonů. Na zevním i vnitřním povrchu, podél longitudinální osy dlouhé kosti, pak běží lamely **plášťové**. Tyto všechny jsou perforovány Volkmannovými kanálky vedoucími krevní cévy. Centrální, Haversovy kanály tak komunikují s dřevnou dutinou cestou cévních, Volkmannových kanálků. Ty běží šikmo nebo kolmo na průběh osteonů. Některé z nich běží až k periostu. Osteony jsou odděleny od okolí **cementovou linií**, která obsahuje minimum kolagenu, a pro vysoký obsah glykoproteinů a proteoglykanů je vysoce bazofilní.

**Endost** je vazivová vrstva vystýlající dutinu kosti (obr. 34). Ve srovnání s periostem je tenčí, tvořený jen malým množstvím vaziva a jednou vrstvou osteoprogenitorových buněk. I endost má významnou funkci pro růst a reparaci kosti.

Uvnitř kosti je spongióza, druhá forma sekundární kosti (obr. 31). Je tvořena vzájemně anastomozujícími kostními trávci tvořícími prostorovou síť vyplněnou kostní dřeví. Směr trávce je výslednicí mechanického zatížení kosti, tzv. architektonika trávce umožňuje maximální pevnost při minimu hmoty. V centrální části dlouhých kostí je dřevná dutina. Ta je spolu s prostorem mezi trávci spongiózy vyplněna kostní dřeví.

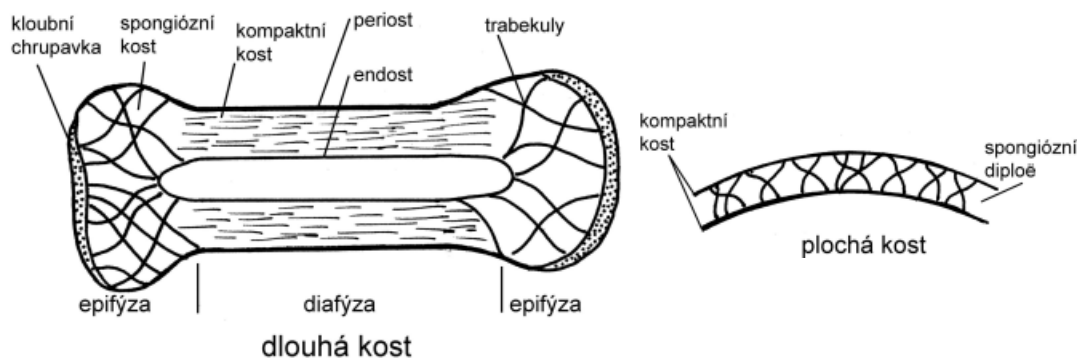
**Kostní dřev** je orgán, v němž vznikají všechny druhy krevních elementů. Hematogenní, červená kostní dřev je tvořena mezenchymovým vazivem s četnými sinusoidami, dále osteoblasty a osteoklasty. V průběhu ontogeneze se kostní dřev mění z aktivní, červené, na žlutou, tvořenou tukovou tkání. V dospělosti přetrvává křevtvorba, tedy i červená kostní dřev, v kostech axiálního skeletu, tj. v kostech lbi, obratlů, kosti hrudní, žebrech a kostech pánve.

#### 4.4 Klasifikace a terminologie

Při klasifikaci kostí lze uplatnit řadu hledisek makro- i mikroanatomických, vývojových apod., která jsou v různých učebních textech dále kombinována. Pro přehlednost termínů používaných v tomto atlasu uvádíme některá klasifikační kritéria:

## Tvar kostí

- kosti dlouhé (např. kost pažní, kost stehenní) mají **diafýzu**, centrální část kosti, která je tvořena tlustým pláštěm kompakty obkružující centrální dutinu, *cavitas medullaris*, obsahující kostní dřev. Kloubní konce dlouhých kostí, **epifýzy**, jsou tvořeny spongiózní kostí krytou tenkou vrstvou kompakty. V období růstu je epifýza oddělena od diafýzy růstovou ploténkou (obr. 176), která je tvořena hyalinní chrupavkou. Pojmem **metafýza** označujeme konec diafýzy se samostatnou cévní sítí, **apofýzou** pak označujeme část kosti se samostatným osifikačním centrem. Tyto bývají zejména v místech úponu svalů.
- kosti krátké (např. obratle, kosti zánártní) jsou tvořeny tenkým pláštěm kompakty kryjící spongiózu a kostní dřev.
- kosti ploché (např. kosti klenby lebni) jsou tvořeny dvěma lamelami kompakty, mezi nimiž je spongióza zvaná **diploe**.
- kosti nepravidelné (např. horní čelist, kost klínová) mají obdobnou stavbu jako kosti krátké.



Obr. 35: Dlouhá a plochá kost

## Makroskopický vzhled kosti

- kompakta – tvoří plášť kosti, vzhledem připomíná slonovinu
- spongióza – nachází se uvnitř zralých kostí, má houbovitý vzhled.

## Vývojový původ

- desmogenní, intramembranózní osifikace – probíhá přímo z kondenzovaného mezenchymu,
- chondrogenní, enchondrální osifikace – nahrazuje chrupavčitý model kosti.

## Uspořádání kolagenních vláken

- nepravidelná síť – vláknitá kost
- souběžný, paralelní průběh – všechny formy lamelární kosti i nelamelární primární osteony.

## Obecná mikrostruktura

- nelamelární kost – zahrnuje kost primární a primární osteony
- lamelární kost – téměř všechna kost zralá.

## Typy kostních lamel

- obvodové (primární) – běží paralelně s peri-, resp. endostem,
- úplné lamely (sekundární) – koncentrické lamely kolem cévních kanálů zralých kostí,
- intersticiální lamely – lamely neúplné mezi osteony.

## Typy osteonů

- primární osteony – mohou být lamelární i nelamelární, jsou prvotvořené,
- sekundární osteony – mají lamely koncentricky uspořádané kolem cévního kanálu.

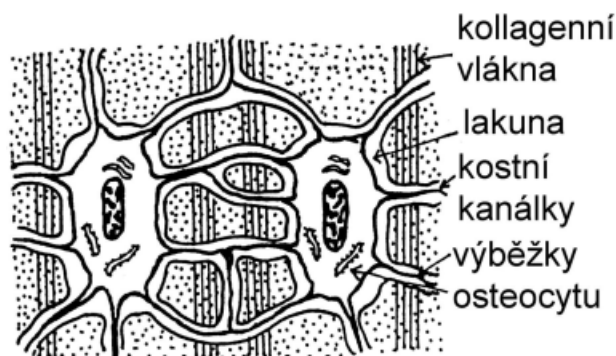
## Obecné pojmy

- povrchová kost – obvykle obvodové lamely, může obsahovat vláknitou kost nebo Sharpeyova vlákna,
- intersticiální kost – mezi osteony; tvořena často zbytky sekundárních osteonů, ale může obsahovat i kost vláknitou nebo fragmenty primárních osteonů.

## 4.5 Buňky kosti

### 4.5.1 Osteocyty

Jsou počtem převažující skupinou buněk zralé kostní tkáně. Vznikají z osteoblastů postupným zalitím do matrix, kde už se více nedělí. Zralý, inaktivní osteocyt má tvar elipsoidu, jehož longitudinální osa (kolem  $25\ \mu\text{m}$ ) běží podél obvodu lamely, v níž je v lakuně uložen. Z těla vybíhají četné dendritické výběžky obsahující mikrofilamenta. Konci výběžků jsou osteocyty v kontaktu se sousedními buňkami (osteocyty, osteoblasty, kost lemujícími buňkami). Spojení typu gap junction umožňují metabolickou i elektrickou spojitost.



Obr. 36: Osteocyty

Zralý, inaktivní osteocyt má vřetenovitý tvar, slabě bazofilní cytoplazmu chudou na organely. Aktivní, mladší osteocyt má oválný až sférický tvar, jako známky sekretorické aktivity dobře vyvinuté granulární endoplazmatické retikulum, jakož i Golgiho komplex. Průměrná živostnost osteocytu je odhadována na 25 let. Osteocyty mají zásadní význam pro udržování stavby kostní tkáně. Ve vyšším věku již část osteocytárních lakun neobsahuje vitální osteocyty a v těchto zónách kosti může převažovat resorpce matrix nad její novotvorbou.

### 4.5.2 Osteoblasty

Jsou bazofilní, zhruba kubické mononukleární buňky o velikosti kolem 15–30  $\mu\text{m}$ . Vyskytují se v místech tvorby nebo remodelace kosti, kde tvoří souvislou vrstvu. Jsou zodpovědné za syntézu, ukládání i kalcifikaci kostní matrix. V dospělé, relativně klidné kosti se nacházejí osteoblasty zejména v hloubce kompakty v blízkosti aktuálně představovaných osteonů. Část z nich se poté, co byla zalita do tvořené matrix, přeměňuje v osteocyty.

Mikroskopicky nesou osteoblasty rysy typické **proteinsekreční** buňky. Bledé, euchromatické jádro odkloněné od secernujícího povrchu, extenzivní granulární endoplazmatické retikulum a Golgiho komplex s množstvím sekretorických váčků. Vlákna aktinu, myozinu i jiné komponenty cytoskeletu ovlivňují tvar, adhezivitu i motilitu buňky. Plazmatická membrána vybíhá v četné výběžky, z nichž některé vstupují do kontaktu s okolními osteoblasty nebo osteocyty. To umožňuje koordinaci při tvorbě paralelně probíhajících kolageních vláken. Plazmatická membrána osteoblastů je bohatá na alkalickou fosfatázu, tento enzym může být detekován v krvi v případě velkého kostního obratu nebo novotvorby.

Základní funkcí osteoblastů je **syntéza a sekrece** organické složky intercelulární matrix, osteoidu, tj. zejména kolagenu I, méně kolagenu V, ale i jiných makromolekul. Neméně významnou funkcí osteoblastů je **mineralizace** osteoidu, v níž se uplatňuje alkalická fosfatáza. Lokálním zvýšením pH a překročením součinu rozpustnosti hydroxyapatitu se formují krystaly na povrchu vláken organického osteoidu.

Osteoblasty jsou již do značné míry diferencované, nedělící se buňky, které se rekrutují z osteoprogenitorových buněk a nejspíš též z dediferencovaných osteocytů poté, co se tyto uvolnily z matrix při kostní resorpci. Osteoblasty mohou samy za určitých podmínek dediferencovat v osteoprogenitorové buňky schopné dělení. V klidovém stadiu se mohou stát buňkami lemujícími povrch endostu.

### 4.5.3 Osteoklasty

Jsou polymorfní, 40 a více  $\mu\text{m}$  velké buňky s **velkým počtem jader** (obvykle 15–20). Nacházejí se v místech kostní přestavby v tzv. resorpčních jamkách, tzv. **Howshipových lakunách** (obr. 180, 181) nebo v blízkosti povrchu kosti v místech kostní remodelace. Osteoklasty obsahují mnohočetné mitochondrie a vakuoly, z nichž mnohé jsou lysozomy obsahující kyselou fosfatázu. Mají relativně řídké, rozptýlené GER, oproti tomu rozsáhlý, perinukleárně uložený Golgiho komplex. Od Golgiho komplexu jsou četné transportní váčky posouvány svazky mikrotubulů směrem k místu kostní resorpce. Povrch osteoklastů je v místě kontaktu s resorbovanou kostí silně zřasen, vybíhá v prstovité až lístkovité výběžky, které mohou mít na řezu až vakuolární vzhled. Kolem části zřasené membrány je přesně ohraničená zóna aktinových filament, v rozsahu které osteoklast těsně adhezuje k povrchu kosti. Rozsah zřasené plazmalemy je hormon-dependentní, reaguje zvětšením na přítomnost parathormonu, zatímco kalcitonin působí antagonisticky.

Funkcí osteoklastů je destrukce kosti. **Demínalizace** dosahují osteoklasty lokálním snižováním pH, organickou matrix pak degradují prostřednictvím lysozomálních i nelysozomálních enzymů (kathepsin K, kolagenáza). Z buněk aktivujících osteoklasty jsou uváděny osteoblasty, makrofágy i lymfocyty. Vzestup intracelulární hladiny kalcia osteoklasty inaktivuje. Osteoklasty vznikají fúzí několika **monocytárních** buněk, které se diferencují z buněk kostní dřene z monocyto-makrofágové linie. Po ukončení kostní resorpce se mohou rozpadnout zpět na mononukleární buňky, avšak není známo, zda je tento proces v případě potřeby reverzibilní. Životnost osteoklastu je odhadována na 16 dní až 7 týdnů.

#### 4.5.4 Buňky osteoprogenitorové

Jsou mezenchymového původu. Vyvíjejí se z pluripotentních kmenových buněk přítomných v kostní dřeni i pojivových tkáních, ve kterých se mohou diferencovat osteoblasty. Osteoprogenitorové buňky jsou zodpovědné za **tvorbu kostní tkáně v období vývoje**. V průběhu desmogenní osifikace se tyto buňky shlukují a dělí, poté se přemění v osteoblasty. V průběhu osifikace enchondrální osteoprogenitorové buňky spolu s cévami penetrují z perichondria do zóny degenerující chrupavky, kde se pak rovněž **diferencují v osteoblasty**. Vzhledem k tomu, že tvorba kostní tkáně může být indukována v nejrůznějších tkáních, např. epitelu močového měchýře, se usuzuje, že existují dva typy osteoprogenitorových buněk – jeden výlučně spjatý s tvorbou kostní tkáně, druhý typ rozšířený v nejrůznějších tkáních, z něhož se mohou diferencovat různé typy buněk (např. fibroblasty, pericyty, adipocyty, ale i osteoblasty). Směr výsledné diferenciace je ovlivněn charakterem indukčních podnětů.

#### 4.5.5 Kost lemující buňky

Jsou ploché, epitelu podobné buňky přítomné zejména v dospělém skeletu. Nacházejí se totiž **na povrchu klidových zón** kosti, kde neprobíhá ani resorpce, ani novotvorba kosti. Buňky tvoří souvislou výstelku oddělující kostní dřev od endostu, z periostu pak vybíhají jako vrstva vystýlající cévní kanály osteonů. Jejich funkce ani původ nejsou dosud známy. Předpokládá se, že se v případě vhodné stimulace mohou kost lemující buňky transformovat na osteoblasty. Pokusy in vitro naznačují, že kost lemující buňky mohou produkovat kolagenázu k odbourání nemineralizované matrix a přípravě povrchu kosti k resorpci.

### 4.6 Kostní matrix

Kostní matrix je mineralizovaná a podobně jako u ostatních typů pojiva je tvořena základní hmotou a kolagenními vlákny. Ta jsou četná a tvoří obvykle paralelní svazky. V dospělém skeletu je matrix jen mírně hydratovaná, voda tvoří 10–20 % celkové kostní hmoty. Suchou složku tvoří ze 60–70 % anorganické komponenty jako **mikrokrystaly kalcia, hydroxyapatit a hydroxidy fosforu**. **Kolagen** tvoří 30–40 %, zbytkových cca 5 % zejména **glykoproteiny**. Proporce jednotlivých stavebních komponent se mění s věkem, lokací i stavem metabolismu. V časných stádiích vývoje, před mineralizací, je matrix nazývána **osteoidem**. V dospělých kostech je množství osteoidu velmi malé. Odpovídá fázi kostní remodelace, kdy tvorba osteoidu předchází mineralizaci. Množství osteoidu se zvyšuje např. u chorob s poruchou mineralizace, např. rachitidy.

#### 4.6.1 Kolagen

V kosti převažuje kolagen typu I, který kopíruje množství kolagenu typu 5, o němž se předpokládá, že reguluje fibrilogenezi. V kostním kolagenu jsou mezi molekulami silnější kovalentní vazby a příčný rozestup uvnitř vláken je poněkud větší. Kovalentní vazby činí kolagen pevnějším a chemicky inertnějším, mezery uvnitř poskytují prostor pro depozici minerálů. Až dvě třetiny kostních minerálů jsou vázány na kolagen. Krystalizace je nejspíš iniciována v místech děr, což jsou mezery mezi konci tropokolagenových podjednotek. Jednotky tropokolagenu syntetizované osteoblasty polymerizují extracelulárně v kolagenová vlákna, s jejichž dozráváním přibývá příčných vazeb.

## 5 Osifikace a růst kosti

Jako u jiných savců se i u člověka většina kostí tvoří náhradou **hyalinního chrupavčitého modelu** (osifikace chondrogenní), méně pak v kondenzovaném **mezenchymu** (osifikace desmogenní).

**Osteogeneze**, tvorba kostní tkáně, se šíří z **osifikačních center**, z nichž mnohé se objevují už v období embryogeneze, jiné v době fetální nebo i postnatálně. Mnohé kosti, jako karpální, tarsální, kůstky sluchové, os lacrimale, os zygomaticum, concha nasalis inferior, os nasale, osifikují z jediného osifikačního centra. V této malé skupině kostí se osifikační centrum objevuje mezi osmým týdnem až desátým rokem. Většina kostí skeletu ale osifikuje z několika osifikačních center, z nichž jedno, tzv. primární osifikační centrum, se objevuje v centru budoucí kosti mezi sedmým týdnem až čtvrtým měsícem. Koncové části kostí osifikují z dalších, často vícečetných tzv. sekundárních osifikačních center, která se objevují kolem narození až do pozdní puberty. Po ukončení osifikace zůstává hyalinní chrupavka jen v místě kloubních ploch, ev. synchondróz. V období růstu kosti do délky se nachází i v tzv. **epifyzární růstové ploténce**, která tvoří pruh chrupavky mezi dia- a epifýzou. Dlouhé kosti mají epifýzy na obou svých koncích, kosti jako metakarpy, metatarzy, žebra a klavikula mají epifýzu za normálních okolností jen jednostranně. Metafýzou označujeme rostoucí koncovou část diafýzy, která sousedí s epifyzární chrupavkou.

### 5.1 Intramembranózní, desmogenní osifikace

Některé kosti vznikají přímo z **mezenchymálního** základu, tj. z nediferencovaného embryonálního pojiva. Tento pochod označujeme jako desmogenní neboli intramembranózní osifikaci. Příkladem mohou být:

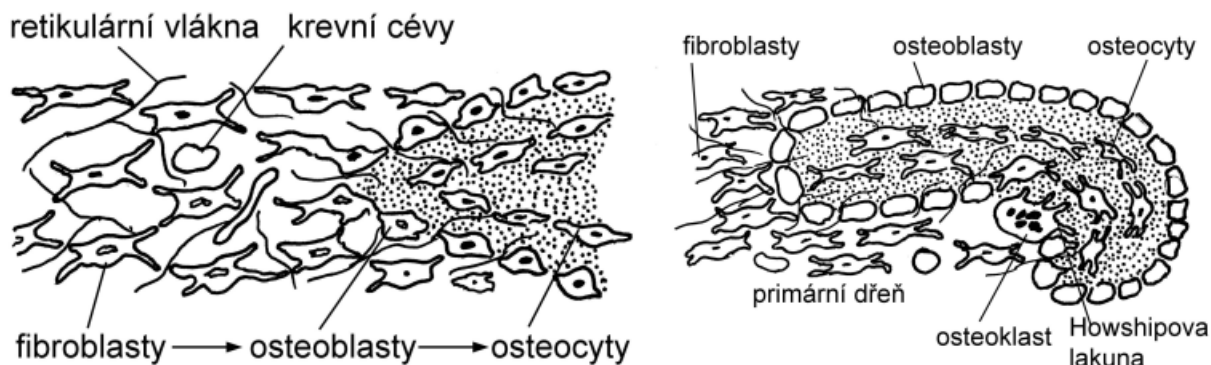
- kosti obličejové části lebky, horní i dolní čelist (ačkoli základem fetální mandibuly je Meckelova chrupavka z 1. žaberního oblouku, tato chrupavka neosifikuje, zaniká a na vývoji definitivní mandibuly se už nepodílí), vomer
- ploché kosti klenby lebeční
- klíční kost

Mezi dělicími se fibroblasty vysoce vaskularizovaného primitivního mezenchymu je mezibuněčná hmota, obsahující retikulární vlákna tvořící se extracelulární polymerací kolagenu typu III. Kolem cév v centrech začínající osifikace mladé fibroblasty dozrávají, zvětšují se a sdružují se do shluků, tzv. **kostních blastémů**. Fibroblasty nabývají polyedrického tvaru, jsou uspořádány do řad a diferencují se v bazofilní osteoblasty s vyvinutým granulárním endoplazmatickým retikulem a Golgiho aparátem. Produkují alkalickou fosfatázu, která hydrolyzuje fosfáty z jejich esterických vazeb, čímž dochází k tvorbě kalciumfosfátových solí v mezibuněčném prostoru.

Buňky jsou polarizované, produkují základní hmotu, eosinofilní osteoid, a jemnou síť kolagenních vláken směrem od cév. Postupným přibýváním a kalcifikací matrix jsou osteoblasty zalévány do **lakun** a mění se v osteocyty (jsou méně bazofilní, mají menší obsah granulárního endoplazmatického retikula a Golgiho aparátu nežli osteoblasty), zároveň se ztlušťováním trámců kostní hmoty zužují centrálně uložené cévní kanály. Takto jsou vytvořeny první **tráměčky** (trabekuly) **primární kosti**.

Tyto trabekuly jsou záhy resorbovány velkými mnohojadernými buňkami se schopností makrofágů, tzv. **osteoklasty**. Osteoklasty jsou pohyblivé buňky rozvětveného tvaru,

mírně eozinofilní cytoplazmou a s mnoha lysozomy. Pravděpodobně vznikají fúzí několika monocytů. Produkují proteolytické enzymy, které resorbují kostní matrix, čímž vznikají kavity zvané Howshipovy lakuny. Současně však další generace osteocytů zajišťuje tvorbu nových lamel kosti.



**Obr. 37:** Schéma desmogenní (membranózní) osifikace

**Obr. 38:** Primární kostní trabekuly (tráměčky)

V místech budoucí spongiózy se proces následně zpomaluje a prostory mezi trámci obsadí **hemopoetická tkáň**. V místech budoucí kompakty proces ztlušťování trámců kostní hmoty pokračuje, navíc se kolagenní vlákna v redukovaných prostorách mezi trámci začínají orientovat podélně nebo spirálně, spolu s osteocyty se řadí koncentricky a dávají vznik primárním osteonům. Ty budou následně arodovány a nahrazeny zralou, **sekundární kostí**. Paralelně s těmito změnami kondenzuje mezenchym na povrchu plátu a dává vznik fibrovaskulárnímu periostu. I tady se v hloubce periostu diferencují osteoprogenitorové buňky, z jejichž osteoidu se také tvoří kostní tkáň.

## 5.2 Osifikace enchondrální

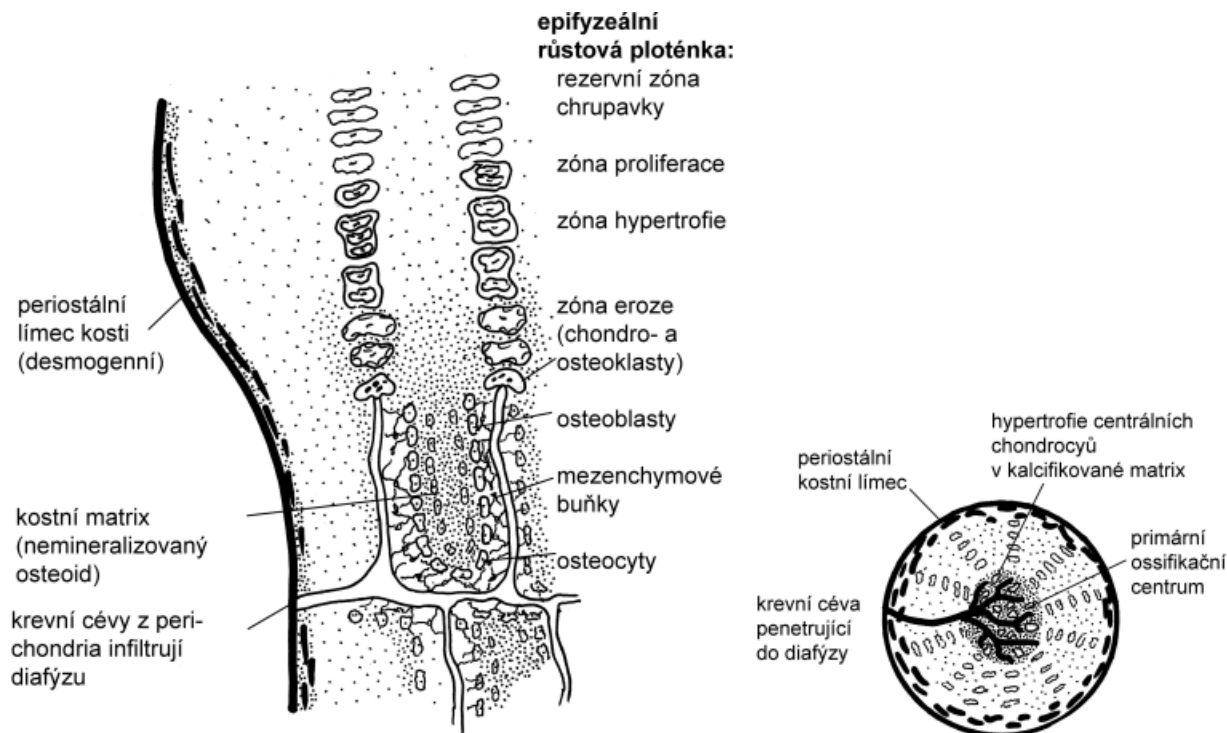
Příkladem tohoto převládajícího typu tvorby kosti mohou být kosti:

- baze lební
- těla a výběžky obratlů, žebra
- dlouhé kosti končetin, kůstky meta/karpální a meta/tarzální
- lopatka a kosti pánve

Většina lidského skeletu se vytváří z chrupavky, která v období časného fetálního vývoje nahrazuje kondenzovaný mezenchym. Modely obou typů tkání odpovídají tvarem rané kosti daného typu. V chrupavčitém modelu kosti, obklopeném vaskularizovaným, kondenzovaným mezenchymem nebo perichondriem, se v počátku osifikace objeví **primární osifikační centrum**. Jeho prvním znakem je vakuolární degenerace chondroblastů, které deponují glykogen. Chondroblasty a jejich lakuny se zvětšují, interponovaná matrix je redukována a finálně kalcifikuje. Souběžně s tímto procesem se principem desmogenní osifikace v hloubce perichondria budoucí diafýzy vytváří **periostální límec** (obr. 38). Jedná se o tenkostěnný válec kostní tkáně, který se s přibýváním obvodovým posouvá i ke koncům kosti. Periostální límec je invadován cévními pupeny, které sem přicházejí z hluboké vrstvy periostu a míří směrem k primárnímu osifikačnímu centru. Tyto slepé konce kapilár nesou na své stěně buňky osteoprogenitorové i osteoklasty. **Osteoklasty** arodují nově



tvořenou kost, aby dosáhly kalcifikované chrupavky. Tady jejich eroze způsobuje destrukci a fúzi chondrocytárních lakun, ty se plní embryonální medulární tkání (vaskulárním mezenchymem, osteoblasty i osteoklasty, hemopoetickými a dřevnými stromálními buňkami). Osteoblasty ulpívají na tenkostěnných reziduích kalcifikované chrupavky, jimi produkované ostrůvky **osteoidu** postupně splývají a zalévají osteocyty do lakun a cévy do zužujících se kanálek. S postupem subperiostální osifikace dochází k osteoklastické erozi kostních spikul, vyvíjí se **primitivní dřevná dutina** s jen několika kostními trámci tvořenými centrálně kalcifikovanou chrupavkou. Tyto trámce se brzy přestavují a jsou nahrazovány zralejší kostí nebo kostní dřeví. Mezitím se proces osifikace posouvá směrem k epifýzám. V růstových, epifyzových ploténkách, které se nacházejí mezi epi- a diafýzou, se odehrává růst kosti do délky, dokud tyto nezaniknou.



Obr. 39: Endochondrální osifikace

### 5.2.1 Růstová, epifyzární ploténka

Poté, co je ukončena osifikace epifýz, zůstává chrupavka jen v místech kloubních ploch a v době růstu kosti i v segmentu spojujícím diafýzu s epifýzou. Tady, v růstové ploténce, roste kost do délky, rostoucí chrupavka je nahrazována kostí z diafýzárního centra. Zánikem růstové ploténky je růst kosti do délky definitivně ukončen. V růstové chrupavce můžeme popsat několik **zón**, při jejich výčtu budeme postupovat od epifýzy směrem k diafýze. Nejbližší ploténce je **klidová zóna** tvořená hyalinní chrupavkou bez morfologických změn. Směrem k diafýze přibývá mitotické aktivity chondrocytů, ty mají diskoidní tvar a řadí se svými lakunami do sloupců běžících podél dlouhé osy kosti. Tato zóna je popisována jako **proliferální**. V zóně chrupavky **hypertrofické** jsou velké chondrocyty deponující v cytoplazmě glykogen. Předpokládá se, že chondrocyty výsledně v zóně kalcifikované chrupavky degenerují a odumřou, do tenkých sept intercelulární matrix se ukládá hydroxyapatit sodný. Do hypertrofické zvrápnatělé chrupavky pak prorůstají kapiláry, nesoucí na své

stěně jak **chondroklasty**, tak i **osteoprogenitorové** buňky. V linii **eroze** chondroklasty zvápenatělou chrupavku arodují, zbytky hmoty zůstávají jako směrové trámce. Na nich se diferencují **osteoblasty** a vytvoří nesouvislou vrstvu produkující v zóně osteoidní **osteoid**. Ten v zóně **osiformní** mineralizuje a vytvářejí se mineralizované kostní trámce s osteocyty. V zóně **resorpce** jsou kostní i směrové trámce znovu odbourány, dřevná dutina se postupně prodlužuje.



**Obr. 40:** Schéma endochondrální osifikace

Mírně odlišně vypadá obraz osifikace v **sekundárních osifikačních centrech**. Tady se neobjevují jako první palisádovitě, do sloupců řazené izogenetické skupiny. Místo toho dochází rovnou k hypertrofii chondrocytů. I tady se kost tvoří na kalcifikované chrupavce. Časně osifikovaná epifýza je na povrchu lemována růstovou chrupavkou. V ní se výsledně radiální uspořádání izogenetických skupin dotváří s růstem epifýzy. Kostní zralost je provázána **fúzí a zánikem** epifyzárních a metafyzárních **osifikačních center**. Tímto jevem je ukončen růst kosti do délky. Postupně je v dlouhých kostech nahrazena červená, hemopoetická kostní dřev dřením žlutou, tukovou, vyjma proximální epifýzy humeru a femuru.

### 5.3 Další vývoj a modelace kosti

Souhrnně lze popsat růst kosti do délky jako proces spojený s proliferací chondrocytů na straně epifyzární a jejich následnou degenerací a odumřením na straně diafyzární. Interce-

lulární chrupavčitá matrix vápenatí, posléze je resorbována, aby byl na zbytkové trámce znovu produkován osteoid a vytvořena primární kost.

Rychlost proliferace a destrukce je přibližně stejná, tloušťka růstové ploténky se tudíž prakticky nemění, ta se ale postupně vzdaluje od diafýzy a kost tak roste do délky. V průběhu časně enchondrální i intramembranózní osifikace tvoří primární, vláknitá kost perivaskulární labyrint. Osteocyty jsou nepravidelně rozptýleny, svazky kolagenních vláken tvoří v matrix nahodilou síť. Jak již bylo uvedeno, tento typ kosti je typický pro **fetální** období, v dospělosti doprovází procesy spojené s excesivní **remodelací a reparací** fraktur. Později dochází k paralelizaci svazků kolagenu a vytváření primárních osteonů. Jejich tvorbu nepředchází žádná kostní resorpce. S vyžíváním kosti se objevují typické Haversovy systémy (sekundární osteony), které výsledně nahrazují jak kost vláknitou, tak i primární osteony. Tvorba Haversových systémů je vždy doprovázena kostní resorpcí kolem cévních kanálků. Osteoklasty vytvoří svou arozi cylindrický tunel, osteoblasty následně produkují osteoid koncentricky kolem vrůstajících cév. Tvorba sekundárních osteonů není vázána jen na období růstu, nýbrž přetrvává.

## 6 Postup zpracování preparátů zubu a kosti

### 6.1 Dekalcifikované řezy

Zub by měl být fixován v neutrálním vodném 6–8% roztoku formaldehydu. Potřebná doba fixace sahá od 4 dnů u zubů dospělých osob po 24 hodin u zubů dětských, u nichž je dřeňová dutina relativně široká.

U preparátů kosti je vhodné urychlit průnik fixativa redukcí velikosti tkáňových bločků na max. 0,5–1×1×1 cm a fixovat 1–2 dny. Po vyprání fixativa lze dekalifikovat 10% kys. dusičnou, 2,5% kys. mravenčí, chelatonem (kys. etylendiamintetraoctová), Löwyho roztokem.

Samotné odvápnění musí být rychlé s dostatečným množstvím dekalifikační tekutiny. Po skončení odvápnění musí být dokonale odstraněna dekalifikační tekutina, následuje dehydratace, zalití a barvení.

Po fixaci a dekalifikaci zubu lze užít techniku parafinových řezů či zalévání do mechanicky odolnějších médií (celoidin, nitrocelulóza apod.), zejména pokud jsou předmětem studia měkké tkáně zubu či jeho okolí.

Z barvicích technik lze užít většinu obvyklých přehledných i histochemických postupů (hematoxylin eosin, AZAN, PAS, event. imunohistochemické metody), dále viz specializovaná literatura [2, 7, 13, 18, 19]. Některé struktury (např. Nasmythova blanka) je bez dekalifikace dosti obtížné prokázat.

Pro relativně vysoký obsah minerální složky ve sklovině, v dentinu i v kostní tkáni je však prakticky nemožné zachovat během dekalifikace v detailu charakter jejich matrix. Proto dáváme i v tomto atlasu přednost přípravě nedekalcifikovaných výbrusů.

### 6.2 Příprava nedekalcifikovaných výbrusů

Tyto techniky neovlivňují mineralizované složky zubu a jsou nezbytné pro jejich hodnocení. Využívá se zalévacích médií o mechanických vlastnostech souměřitelných s pevností a tvrdostí zubu (syntetické pryskyřice).

K získání tenkých řezů je při tvrdosti tkáně i zalévacího média výhodou dostupnost speciálního instrumentária, např. diamantové pily. Tyto řezy je pak nutno dále brousit např. na metalografických brusných papírech s postupně klesající hrubostí. Výsledkem je průsvitný výbrus o tloušťce cca 60–150 mikrometrů, který již lze po obarvení montovat na podložní sklíčko a pozorovat mikroskopem. K barvení je možno využívat většinu přehledných barvicích technik známých z histologie měkkých tkání.

Některé principy jsou zpracovány v publikacích [2, 14, 18], detailní popis následuje v této kapitole, přičemž samozřejmě připouští řadu alternativ dle zkušeností a preferencí jednotlivých pracovišť (např. typ zalévacího media EPON nebo Spofakryl namísto dále popisovaného Technovitu apod.).

## 6.2.1 Zalévání do media Technovit 9100 New



**Obr. 41:** Technovit 9100 New byl použit jako zalévací médium.



**Obr. 42:** Zalévací médium a označení papírovým štítkem



**Obr. 43:** Vzorek je vložen do zalévacího média.



**Obr. 44:** Zalité vzorky jsou vloženy do exsikatoru.



**Obr. 45:** V exsikatoru je vytvořen podtlak 400 mm Hg pomocí vodní vývěvy. Podtlak zůstává 10 min do chladničky při 5° C dle protokolu preparát vzduchových bublin a podpoří prosycení tkáně. Vynechání tohoto kroku vede ke komplikacím při broušení i mikroskopování.



**Obr. 46:** Forma se zalitou tkání je vložena na výrobní pás.



**Obr. 47:** Forma se zalitou tkání je vložena na min 24 hodin do mrazáku při max -20 °C dle tkání připravené k řezání. Doba polymerace se řídí dle velikosti vzorku.



**Obr. 48:** Po polymeraci jsou vytvrzené bločky min 24 hodin do mrazáku při max -20 °C dle tkání připravené k řezání.

## 6.2.2 Řezání a broušení



**Obr. 49:** Pásová mikropila Proxxon MBS 240/E.



**Obr. 50:** Řezání diamantovým pásem s vodním chlazením.



**Obr. 51:** Uříznuté chipy o síle cca 1 mm určené k broušení.



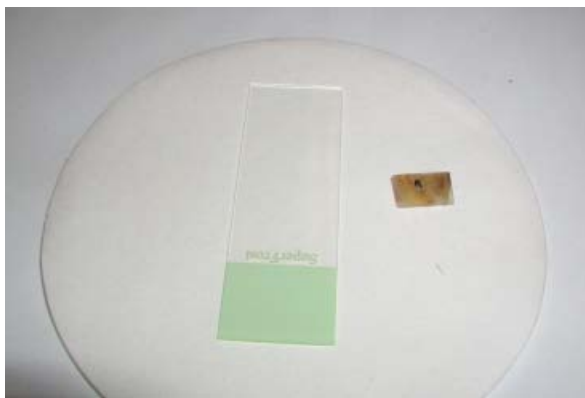
**Obr. 52:** Čelní kotoučová bruska Proxxon TG 250/E, která byla používána k základnímu broušení chipů brusným papírem zrnitosti 320 s použitím vodního chlazení.



**Obr. 53:** Broušení brusným papírem zrnitosti 320 s chlazením vodou. Takto jsme dosáhli rovne brusné plochy preparátu a získali jsme možnost rychlého ubírání síly materiálu broušením.

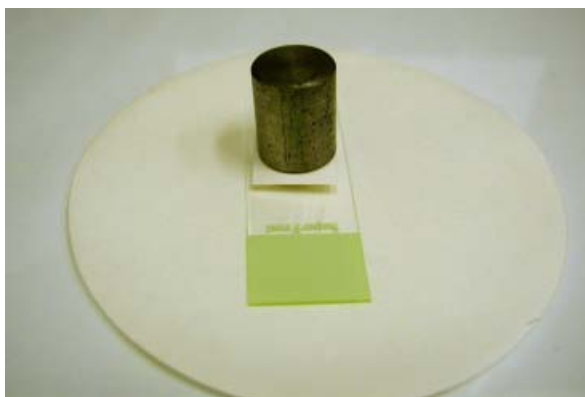


**Obr. 54:** Ruční broušení a leštění chipu. Použili jsme voděodolné brusné papíry se zrnitostmi 400, 600, 1000, 1500, 2000, 2500 (Zrnitost vyjadřuje počet brusných zrněk na 1 cm<sup>2</sup>. Čím je zrnitost vyšší, tím je brusný papír jemnější.). Při broušení byl chip chlazen vodou.



**Obr. 55:** U vysokých zrnitostí (1500, 2000, 2500) se na chip tlačí jen jemně, aby nedošlo na vyleštěném povrchu ke vzniku rýh. Po broušení se chip omyje tekoucí vodou a vyschne.

**Obr. 56:** Z jedné strany vyleštěný chip připravený k přilepení na podložní sklíčko.



**Obr. 57:** Na podložní sklo a na vyleštěnou stranu chipu se kápne kapka Solakrylu (je těžkaný. Až Solakryl vytvrdne, je možné chip brousit z druhé strany. (Pokud je k lepení použito vteřinové lepidlo, lze brousit ihned).

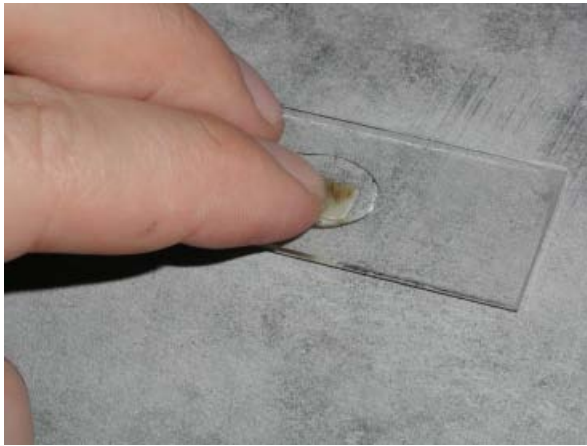
**Obr. 58:** Přilepený chip se nechá přes noc zabrousit z druhé strany.



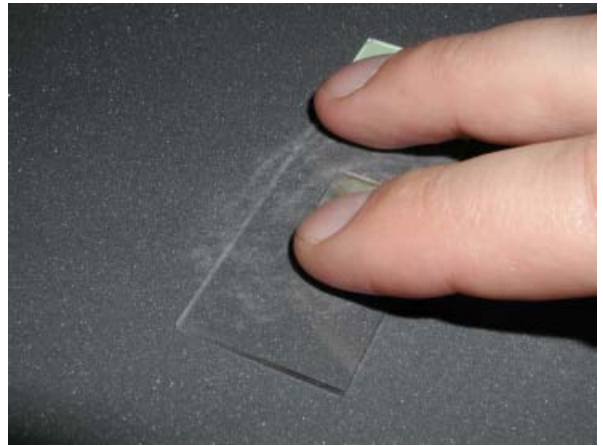
**Obr. 59:** Přilepený chip připravený k dalšímu broušení.

**Obr. 60:** Broušení chipu z druhé strany. Provádí se na brusných papírech vzestupné zrnitosti (320, 400, 600, 1000, 1500, 2000, 2500) stejně jako první strana chipu.





**Obr. 61:** Nalepení na podložní sklíčko umožňuje rovnoměrnější přítlak, lepší rovinnost brusné plochy a pohodlnější manipulaci.



**Obr. 62:** U vysokých zrnitostí (1500, 2000, 2500) se na chip tlačí jen jemně, aby nedošlo na leštěném povrchu ke vzniku rýh. Po broušení se chip omyje tekoucí vodou a vyschne.

### 6.2.3 Barvení a pokrývání



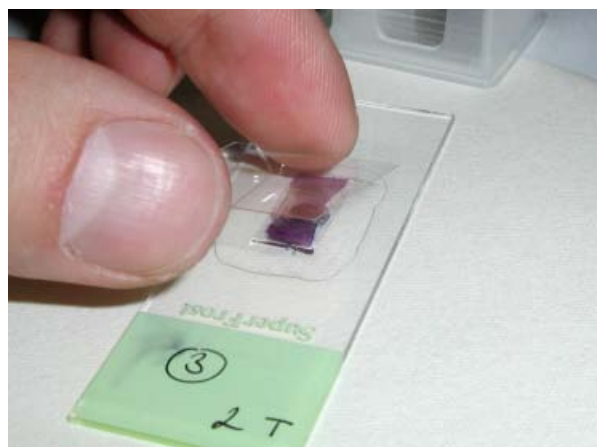
**Obr. 63:** Preparáty byly barveny různými metodami – zde sada kyvet pro barvení alizarinovou červení a toluidinovou modří.



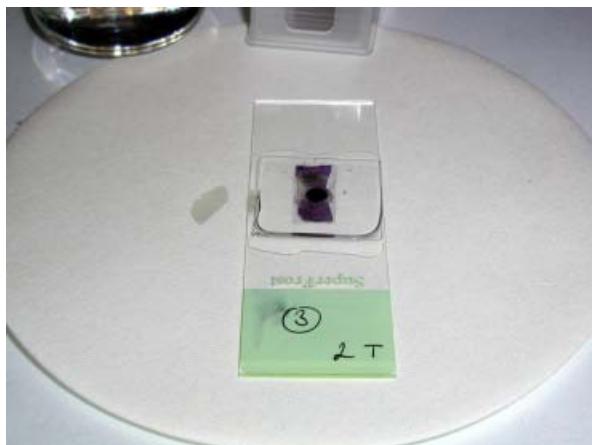
**Obr. 64:** Pro barvení výbrusů bylo nutné použít delší časy vzhledem k prosycení tkáně polymethylmethakrylátem.



**Obr. 65:** Obarvený a vysušený preparát se pokryje Solakrylem...



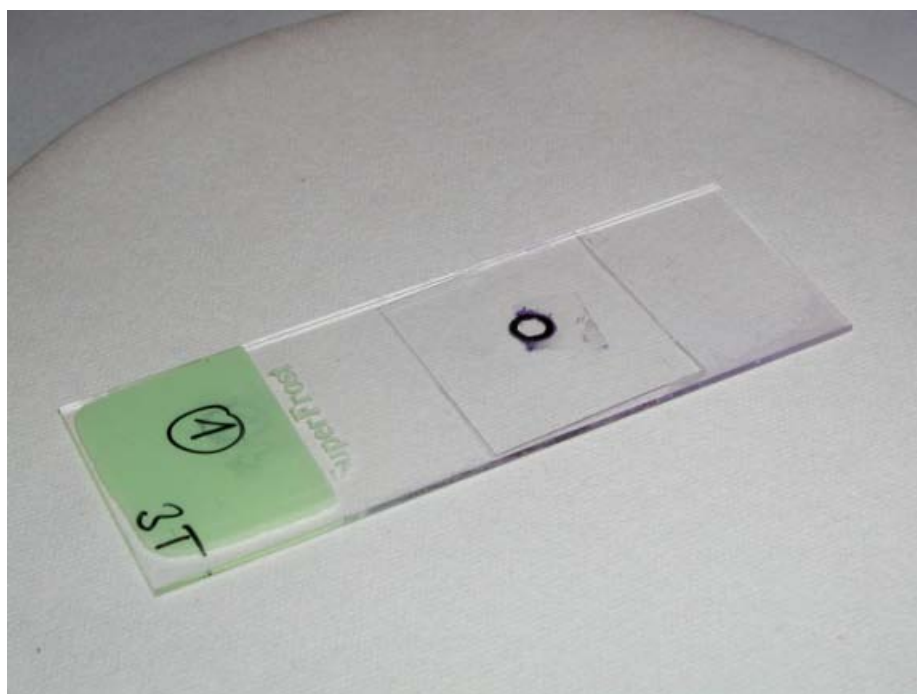
**Obr. 66:** ... a přiloží se krycí sklíčko.



**Obr. 67:** Položené krycí sklíčko.



**Obr. 68:** Krycí sklíčko se zatěžká závažím na 24 hodin, než vytvrdne Solakryl (zabrání se zkroucení výbrusu).



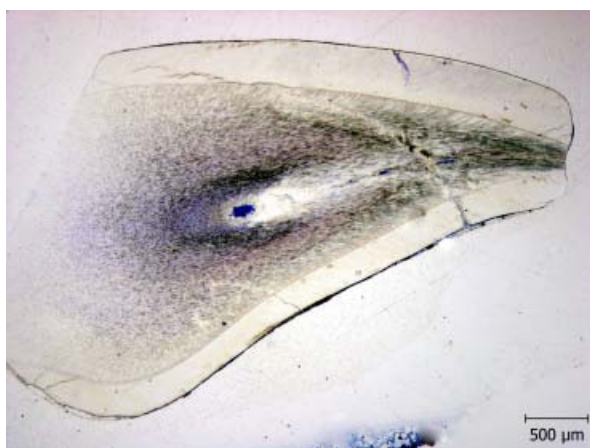
**Obr. 69:** Výsledkem je hotový preparát.

## 7 Preparáty zubů

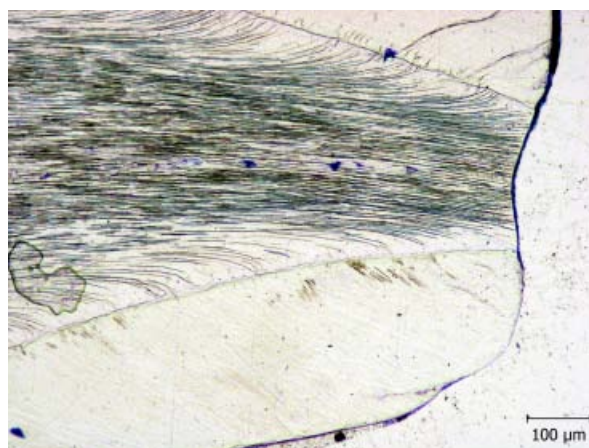
Pro značení zubů v atlasu používáme běžný typ zubního vzorce, kdy zuby označujeme dvěma číslicemi, kdy první pozice znamená **číslo kvadrantu a typ chrupu** a druhá pozice je pořadové **číslo daného zubu** v kvadrantu. Pro stálý chrup je první pozice značena 1–4 (1 je pravý horní kvadrant a poté číslujeme kvadranty dokola dle směru hodinových ručiček). Pro dočasný chrup je první pozice značena 5–8, systém je obdobný. Číslo v druhé pozici označuje pořadí zubů od prvních řezáků v daném kvadrantu dále směrem distálně. Například: číslo 82 tedy znamená druhý dočasný řezák vpravo dole, číslo 24 znamená první premolár vlevo nahoře.

Není-li dále uvedeno jinak, je většina výbrusů barvena toluidinovou modří.

### 7.1 Primární dentice



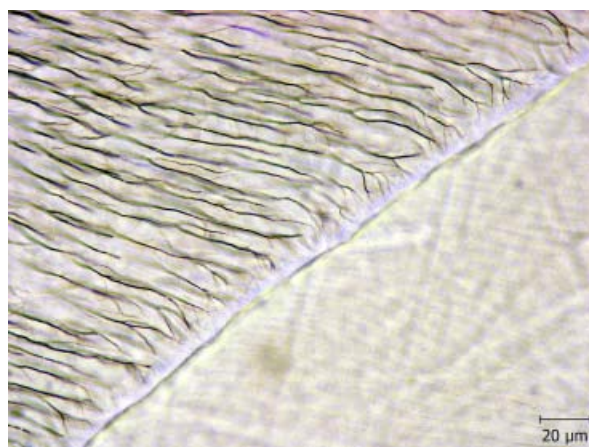
**Obr. 70:** Šikmý výbrus řezákem 81, vlevo je patrný prakticky resorbovaný kořen. Toluidinová modř.



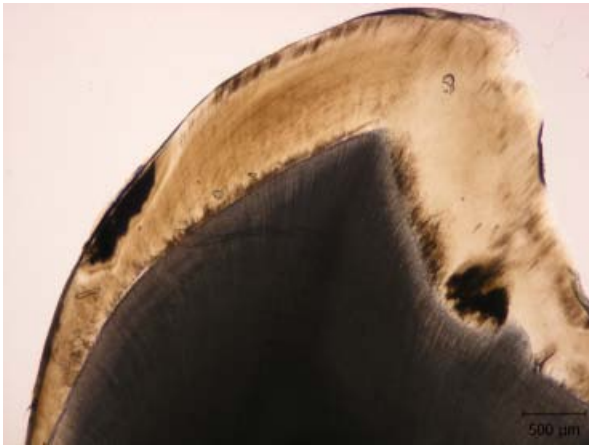
**Obr. 71:** Abraze incizní hrany téhož zubu 81 (sklovina primární dentice je tenší a měkčí nežli u sekundární dentice).



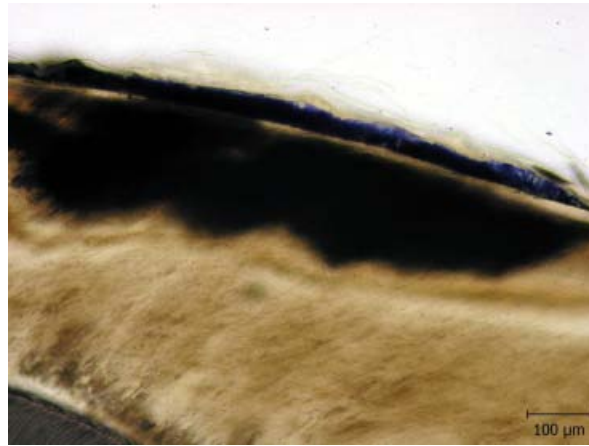
**Obr. 72:** Řezák 81, zleva dentin, dentinosklovinná hranice, na povrchu skloviny je vrstvička částečně mineralizovaného plaku.



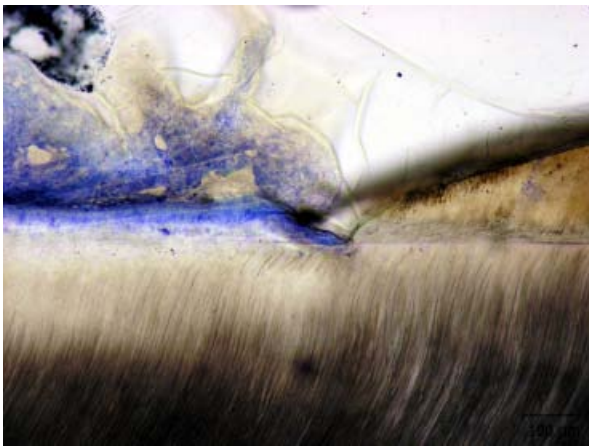
**Obr. 73:** Detail dentinosklovinné hranice s dobře patrným periferním větvením dentinových tubulů.



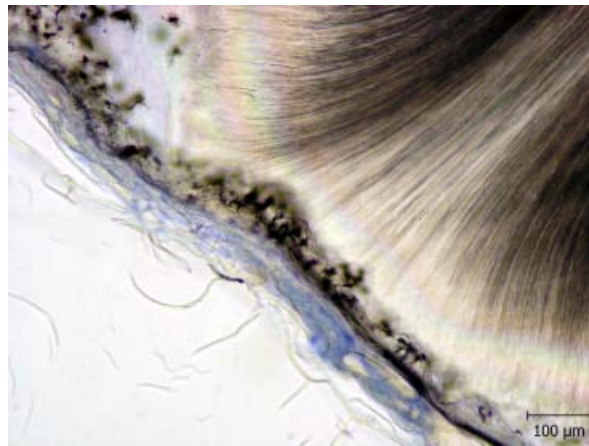
**Obr. 74:** Korunka jednokořenného zubu s demineralizací skloviny (vlevo pod povrchem, vpravo zasahuje nad dentino-sklovinnou hranici).



**Obr. 75:** Detail demineralizace bez kavitace se zachovalou kontinuitou sklovinného povrchu. Na povrchu skloviny je modře zbarvená vrstvička plaku.

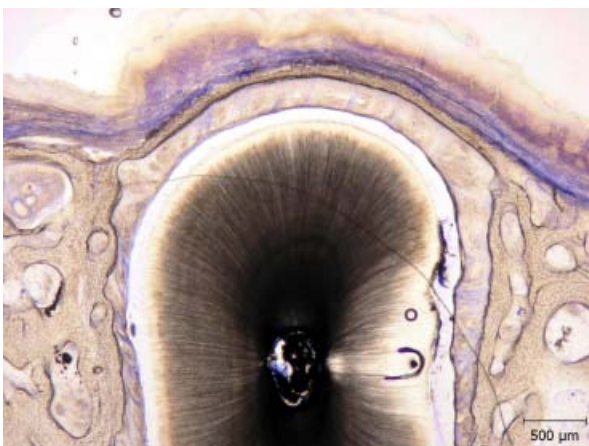


**Obr. 76:** Dentin v pravé části snímku kryt sklovinou, v levé polovině gingivou.

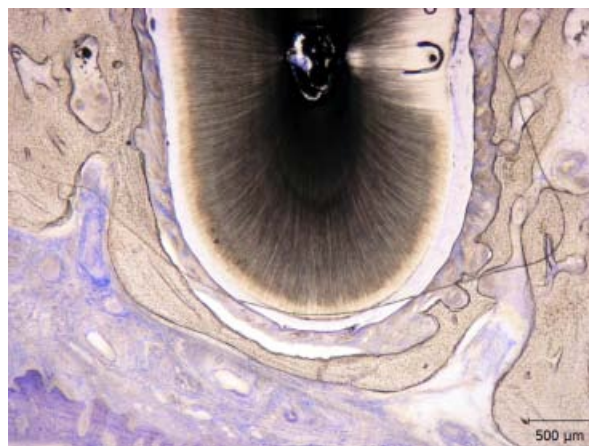


**Obr. 77:** Dentin s kanálky, na povrchu je dentin kryt tenkou vrstvou celulárního cementu s pavoučkovitými cementocyty.

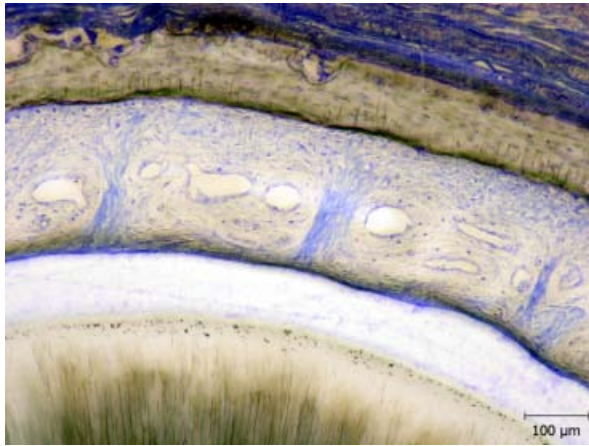
## 7.2 Sekundární dentice



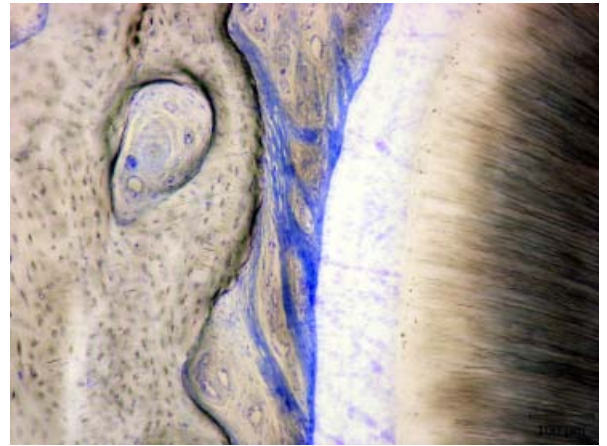
**Obr. 78:** Příčný výbrus řezákem (41) v oblasti dentoalveolárního spojení.



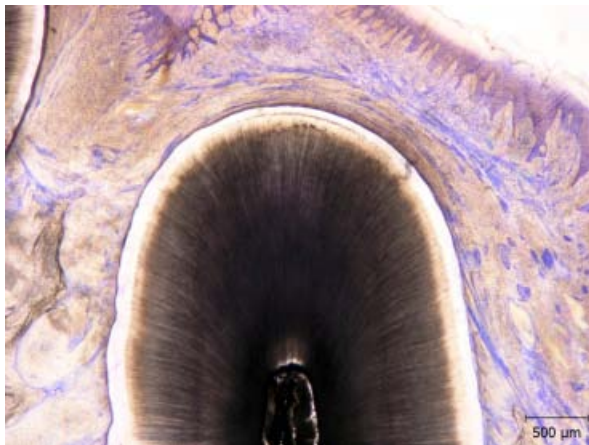
**Obr. 79:** Zub je obklopen spongiózní kostí mandibuly. Ve spodní části snímku k periostu těsně přiléhá gingiva.



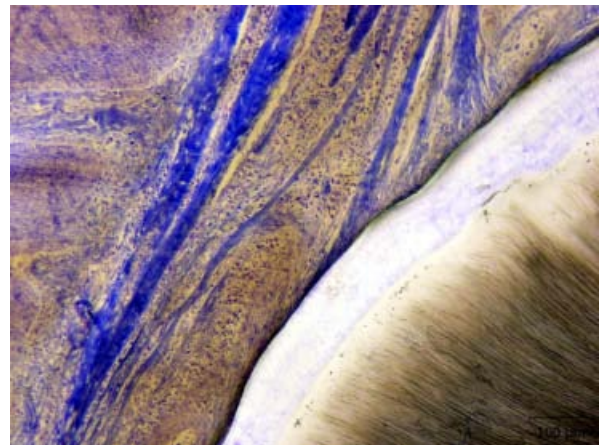
**Obr. 80:** Detail vrstev – směrem odspodu dentin, cement, periodontium, alveolární kost.



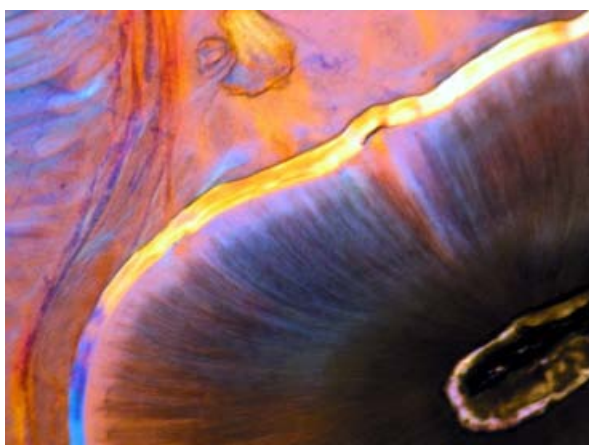
**Obr. 81:** Detail vrstev – směrem zprava doleva dentin, cement, periodontium, alveolární kost.



**Obr. 82:** Příčný výbrus týmž řezákem v oblasti krčku.



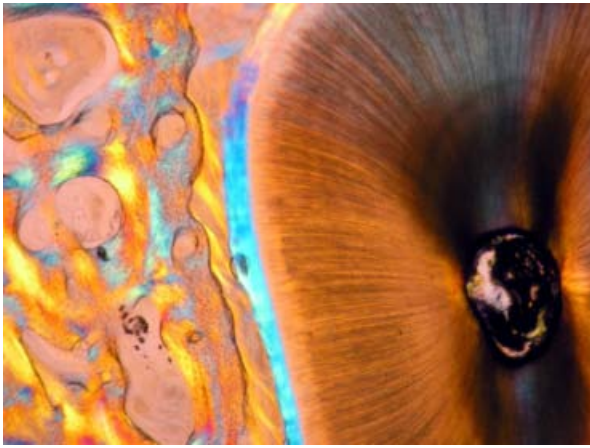
**Obr. 83:** Detail vrstev – směrem zprava doleva dentin, cement, periodontium, gingiva.



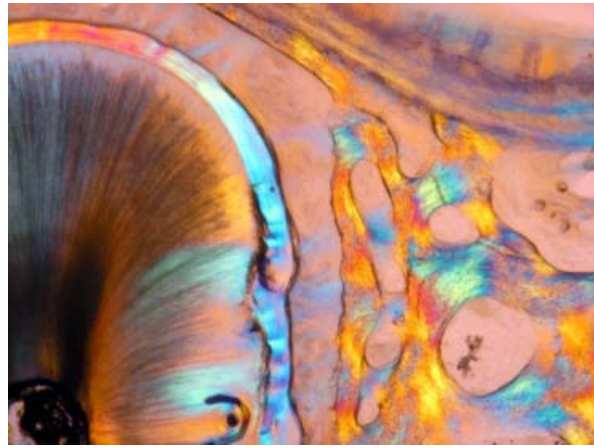
**Obr. 84:** Příčný výbrus týmž řezákem v oblasti krčku, polarizační mikroskopie.



**Obr. 85:** Různé barvy v polarizační mikroskopii jsou způsobeny rozdílnou orientací kolagenních vláken. Zleva seshora směrem doprava dentin, cement, periodontium.



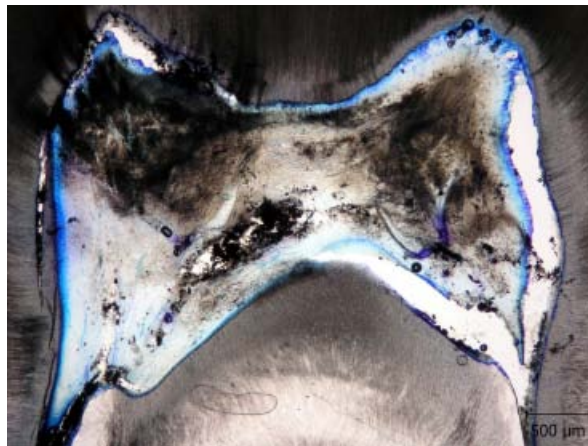
**Obr. 86:** Kořen řezáku, dentoalveolární spojení. Vlevo spongiózní kost alveolárního výběžku, vpravo dentin, mezi nimi vrstva cementu. V dentinu je patrné „motýlovité křídlo“ translucenčního dentinu.



**Obr. 87:** Pokračování předchozího snímku. Zleva doprava dentin, cement, alveolární kost, gingiva.



**Obr. 88:** Zub 48 (semiretinovaný), podélný výbrus.



**Obr. 89:** Technika výbrusu neumožňuje studovat morfologii dřene, která je broušením poškozena.



**Obr. 90:** Kořeny zuby 48 obklopené cementem.



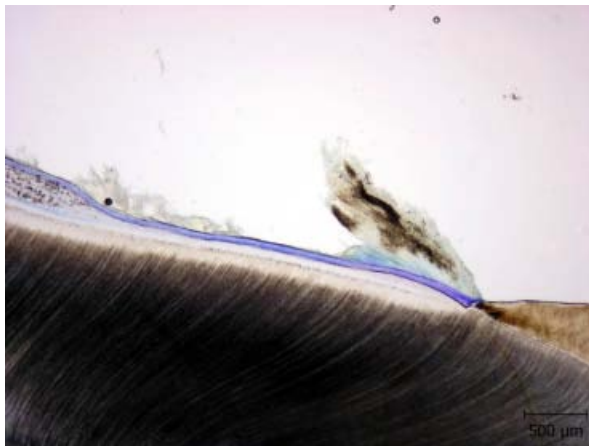
**Obr. 91:** Detail kořenových kanálek a foramen apicis dentis.



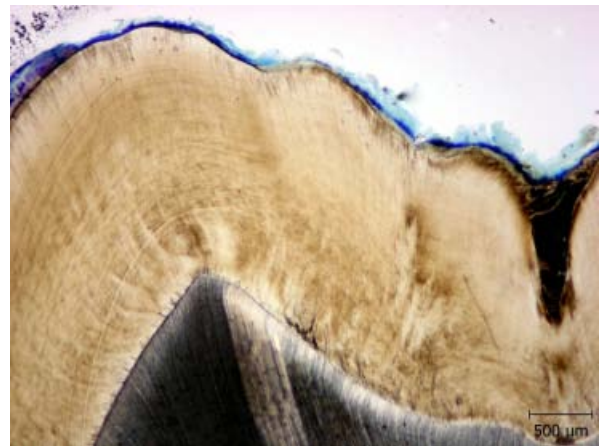
**Obr. 92:** Kořen zubu 48 obklopený cementem.



**Obr. 93:** Kořen s kanálkem.



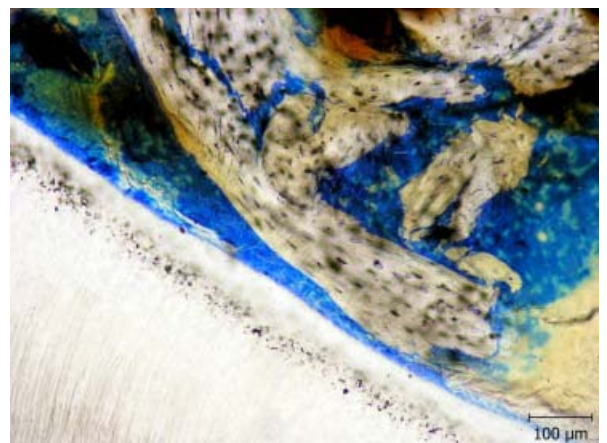
**Obr. 94:** Oblast krčku zubu 48 je kryta tenkou vrstvou acelulárního cementu, na který vpravo plynule navazuje sklovina. Zcela vlevo je pod vrstvou acelulárního cementu i krátký úsek celulárního cementu s cementocyty.



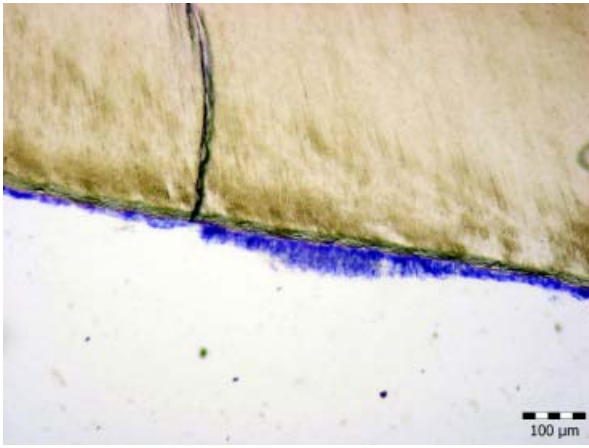
**Obr. 95:** Sklovina s inkrementálními liniemi (striae), pod ní dentin.



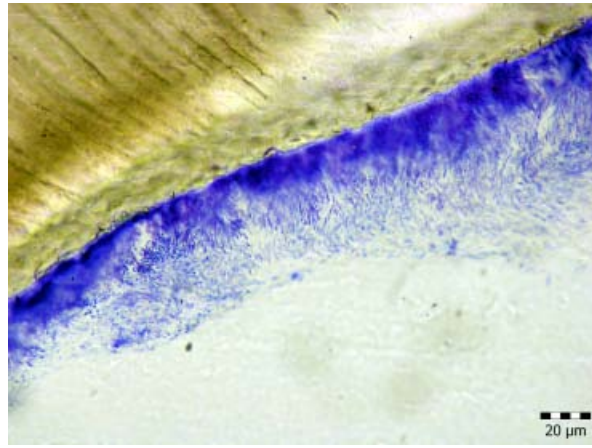
**Obr. 96:** Jeden z kořenů moláru 38, celulární cement pokryt tenkou vrstvou acelulárního cementu (světlý proužek).



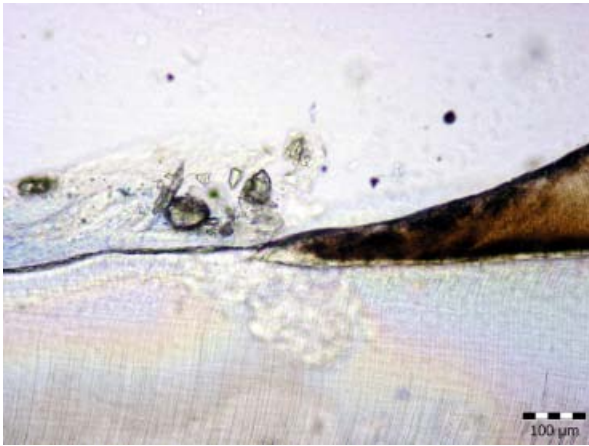
**Obr. 97:** Zleva doprava dentin s kanálky, vrstva cementocytů, světlá zdánlivě bezstrukturní vrstva acelulárního cementu, modře vazivo periodoncia prolínající se s kostí alveolu.



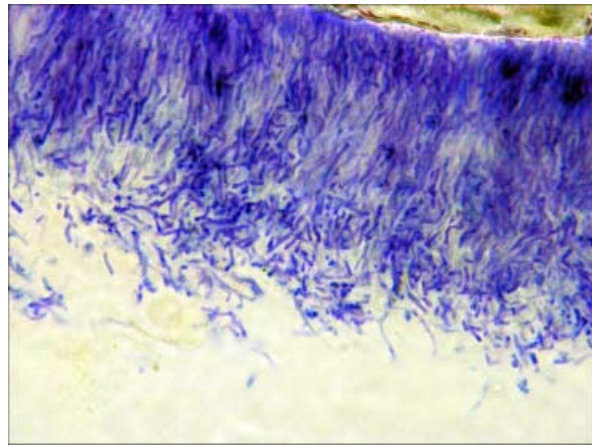
**Obr. 98:** Povrch skloviny premoláru s plakem, toluidinová modř.



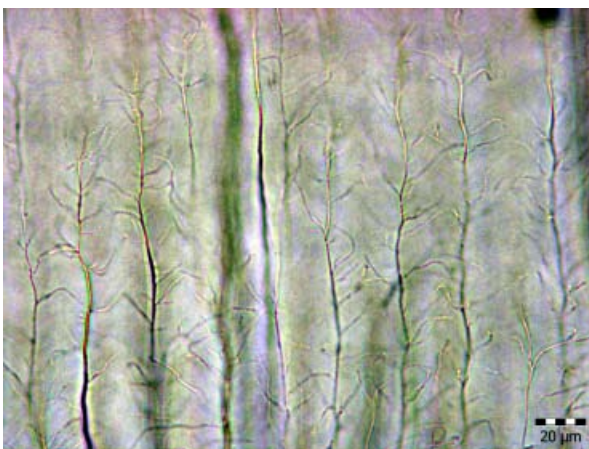
**Obr. 99:** Silnější vrstva plaku.



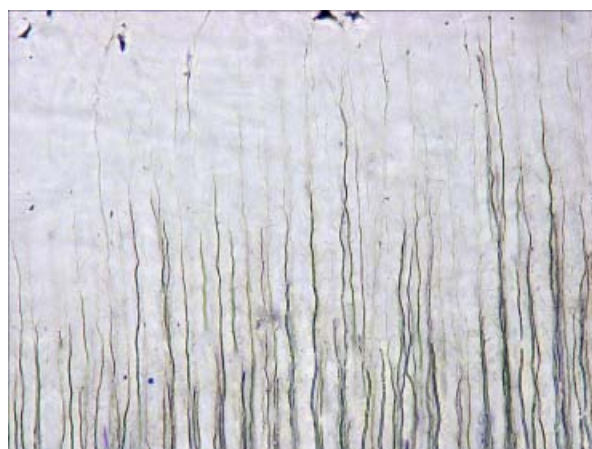
**Obr. 100:** Dentin premoláru je vlevo obnažený, vpravo nasedá sklovina.



**Obr. 101:** Silnější vrstva plaku. Snímek byl rekonstruován ze série šesti optických řezů.

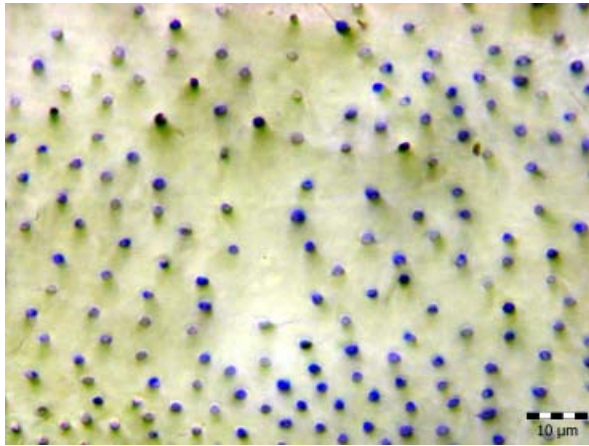


**Obr. 102:** Dentinové tubuly v podélném výbrusu.

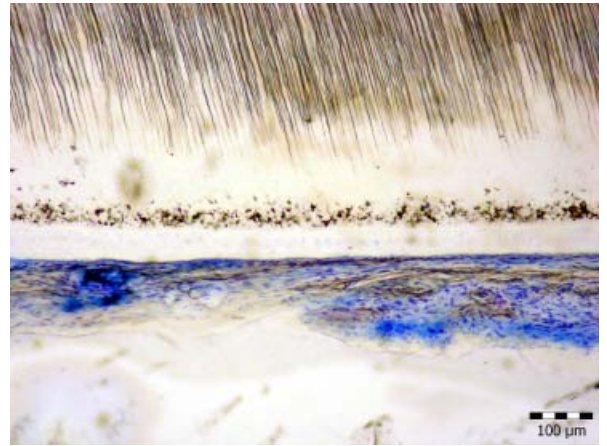


**Obr. 103:** Dentinové tubuly rekonstruované z dvaceti optických řezů.

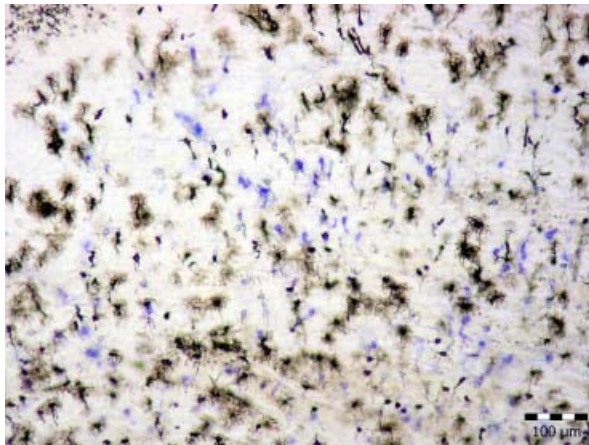




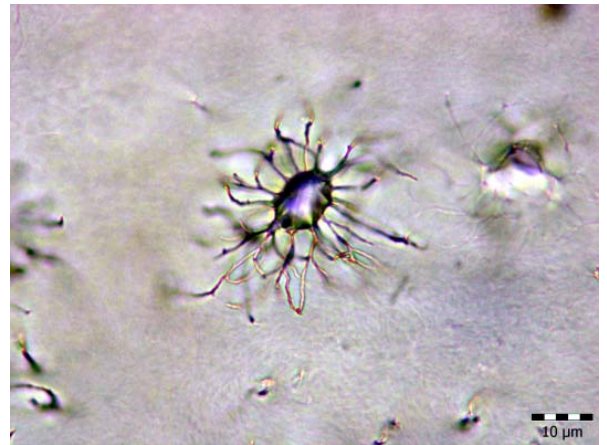
**Obr. 104:** Dentinové tubuly na příčném výbrusu.



**Obr. 105:** Kořen premoláru - nahoře dentin, pod ním celulární cement, světlá vrstva aculárního cementu, modře vazivo periodoncia, dole alveolární kost.



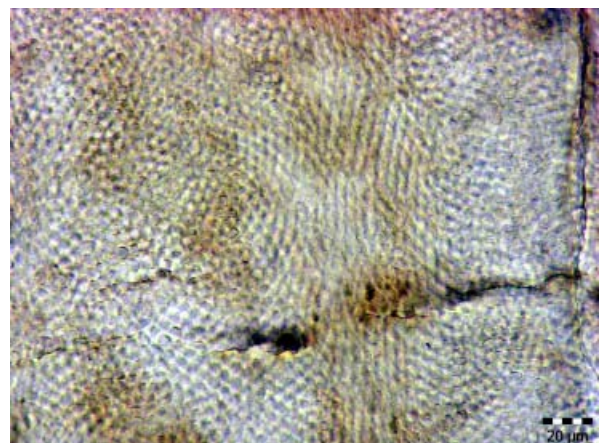
**Obr. 106:** Osteocyty alveolární kosti.



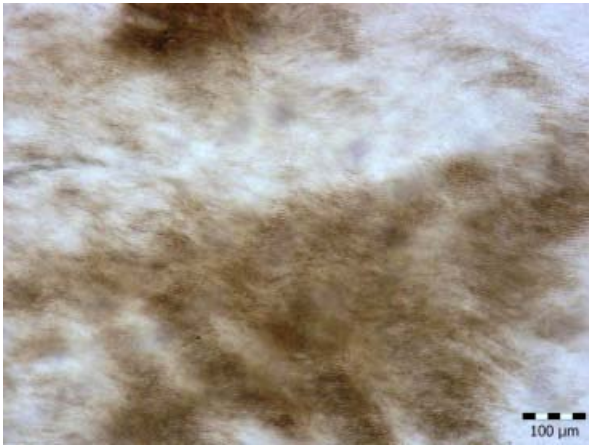
**Obr. 107:** Osteocyt alveolární kosti rekonstruovaný ze série dvaceti optických řezů.



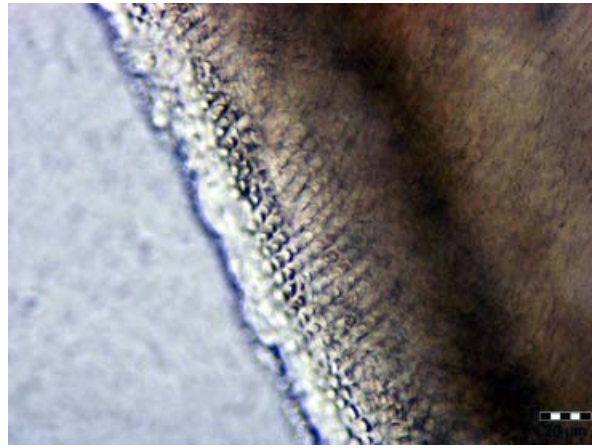
**Obr. 108:** Dolní molár. Poškození vlevo nahoře je artefaktem z broušení.



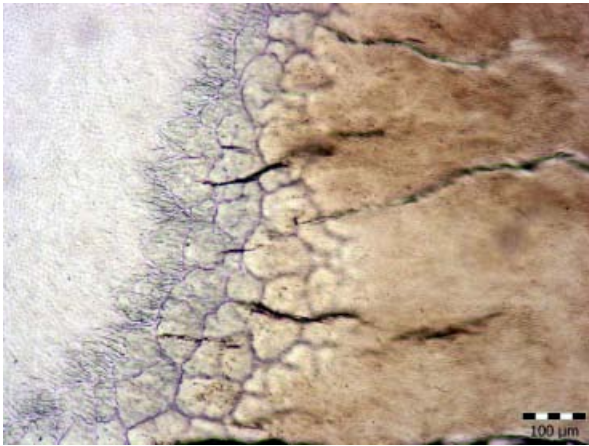
**Obr. 109:** Převážně příčné a šikmé výbrusy prizmaty skloviny. Směrem shora dolů je několik skupin se střídavou orientací, což je podkladem vzniku Hunter-Schregerových linií.



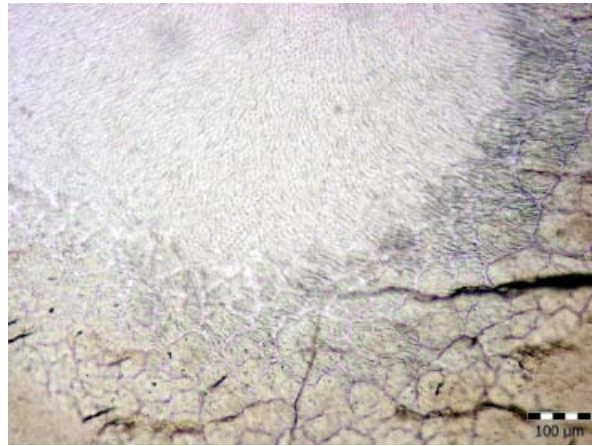
**Obr. 110:** Na výbrusu jsou podélně zachycená prizmata skloviny se sinusoidálním průběhem.



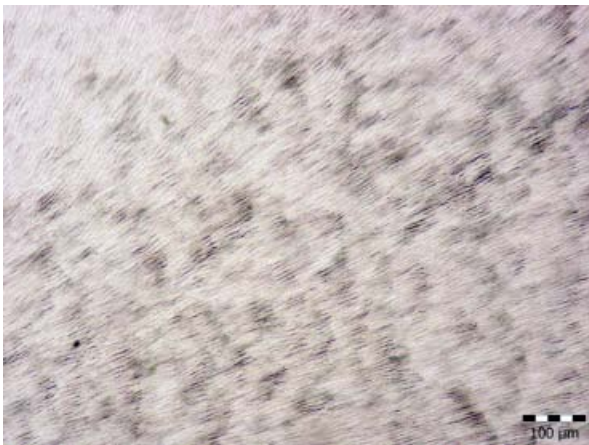
**Obr. 111:** Vlevo dentin (dentinové tubuly jsou mimo interval ostrosti), vpravo (tmavší) sklovina s ploškami prizmat.



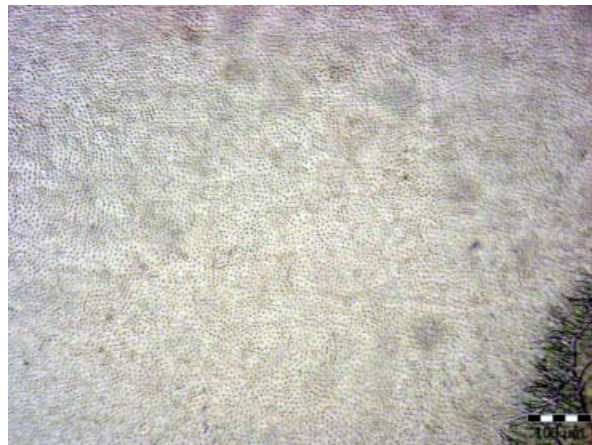
**Obr. 112:** Vlevo dentin s rozvětvenými konci dentinových tubulů, vpravo sklovina s nepravidelnými tmavými sklovinnými vřetenky, která mají kontinuitu s dentinovými tubuly.



**Obr. 113:** Sousední oblast. Tmavá výrazná vřeténka ve sklovině jsou pokračováním tubulů dentinu do skloviny.

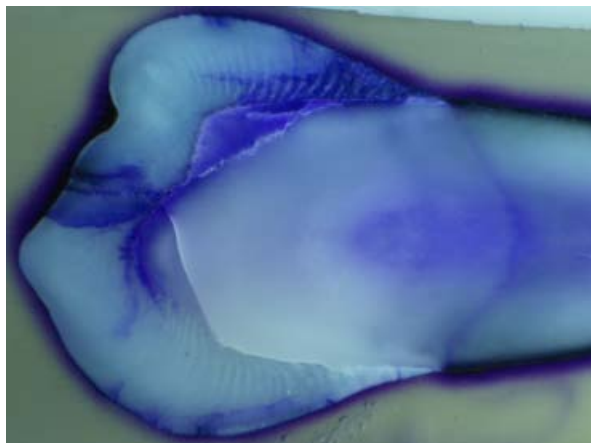


**Obr. 114:** Šikmý výbrus dentinovými kanálky.

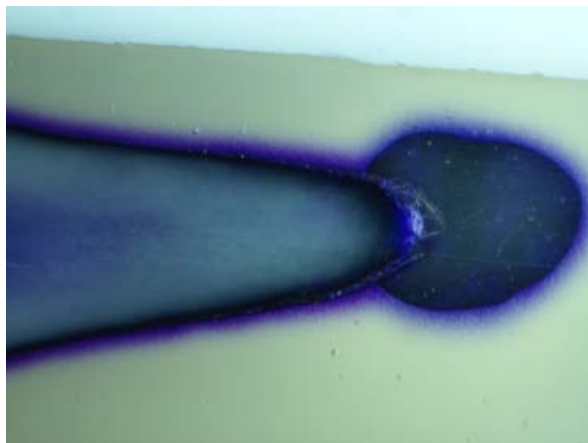


**Obr. 115:** Příčný výbrus dentinovými kanálky. Zcela vpravo periferní větvení kanálků u dentinosklovinné hranice.

### 7.3 Ilustrace dentinové permeability



**Obr. 116:** Podélný výbrus jednokořenovým zubem, totální preparát, toluidinová modř.



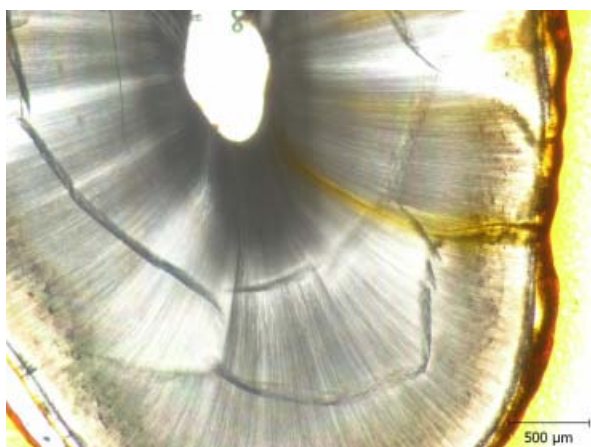
**Obr. 117:** Průniku barviva kořenovým kanálkem bylo zamezeno jeho zacementováním.



**Obr. 118:** Podélný výbrus jednokořenovým zubem, totální preparát barvený erythrosinem.



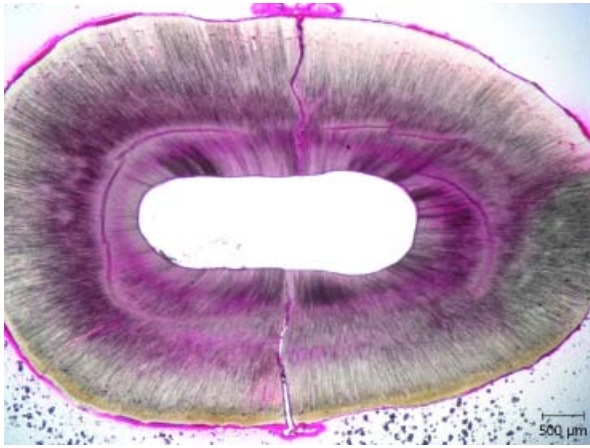
**Obr. 119:** Průniku barviva kořenovým kanálkem bylo zamezeno jeho zacementováním.



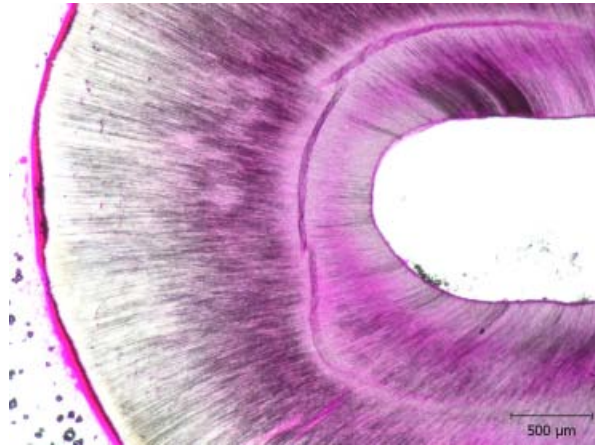
**Obr. 120:** Příčný výbrus korunkou jednokořenového zubu s viditelnou penetrací eosinu z povrchu zubu skrz dentinové kanálky.



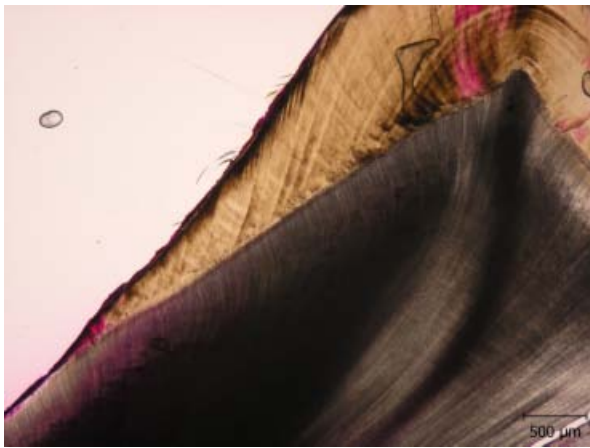
**Obr. 121:** Detail dentinových kanálků prostoupených eosinem.



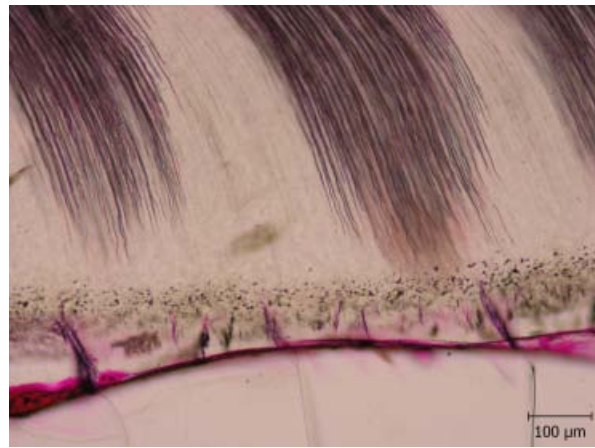
**Obr. 122:** Příčný výbrus korunkou jednokořenného zubu. Toluidinová modř penetruje většinu dentinových tubulů, avšak nerovnoměrně. Vertikální prasklina na šesté a dvanácté hodině je arteficiální a vznikla při broušení.



**Obr. 123:** Detail dentinových kanálků prostoupených erythrosinem.



**Obr. 124:** Dentin a sklovina při penetraci eosinem. Ve sklovině jsou dobře patrné přírůstkové linie (sklovinné strie).



**Obr. 125:** Shora dolů běžící dentinové tubuly jsou nerovnoměrně prostoupené eosinem.

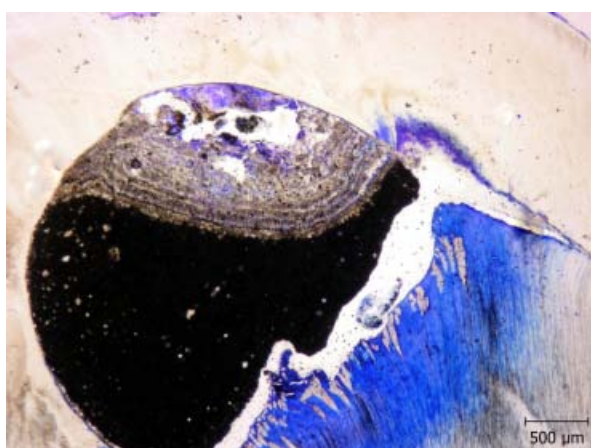
## 7.4 Patologické stavy, záchovná stomatologie a protetika



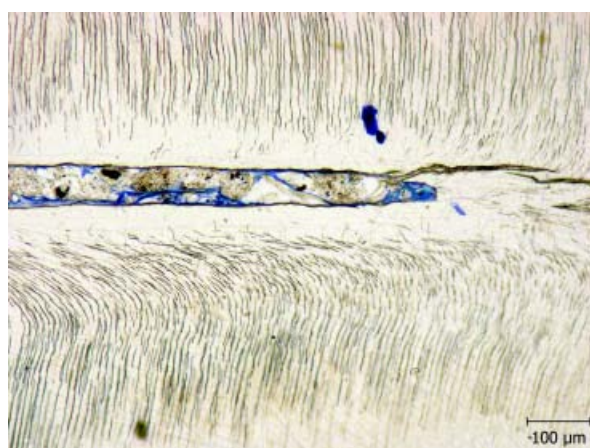
**Obr. 126:** Výbrus premolárem s amalgamovou výplní podloženou cementem, toluidinová modř.



**Obr. 127:** Sousední chip zhotovený z téhož zubu.



**Obr. 128:** Sousední výbrus stejným zubem jako na předchozím obrázku, mezi amalgamovou výplní a dentinem je oblast vypadlého cementu.



**Obr. 129:** Kořenový kanálek téhož zubu, z obou stran obklopený dentinem.



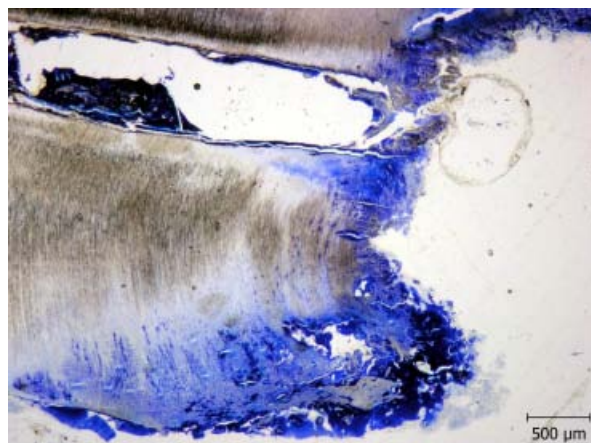
**Obr. 130:** Řezák s kavitou, nebarvený výbrus.



**Obr. 131:** Stejný výbrus po obarvení toluidinovou modří. Je patrná léze skloviny i dentinu s obnažením krčku.



**Obr. 132:** Řezák, oblast léze skloviny s plakem nasedajícím na obnažený dentin. Dřeňová dutina je výrazně obliterována.



**Obr. 133:** Tenší výbrus oblastí krčku téhož zubu ukazuje destrukci dentinu. Otevření dřeňové dutiny je artefakt vzniklý při vybrušování velmi tenkého chipu.



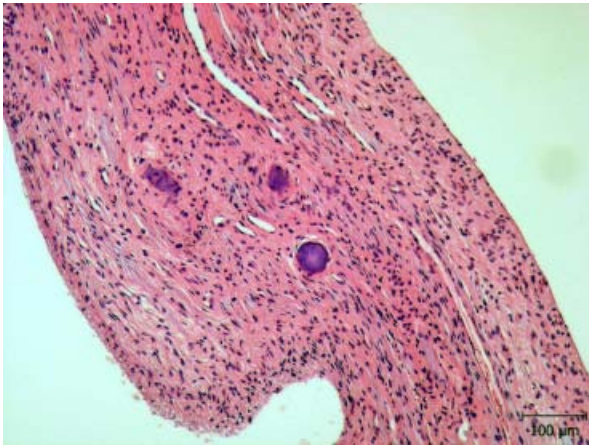
**Obr. 134:** Výbrus moláru s metalickou korun-  
kou.



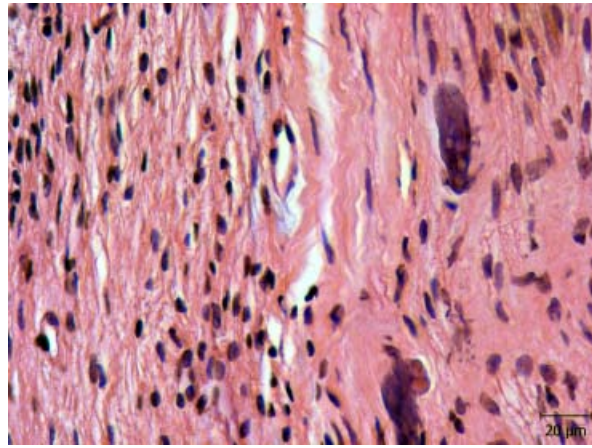
**Obr. 135:** Výbrus špičáku s keramickou ko-  
runkou.



**Obr. 136:** Výbrus kořenovou výplní zubu.



**Obr. 137:** Nálezem u kořene jednoho ze zubů byl granulom.

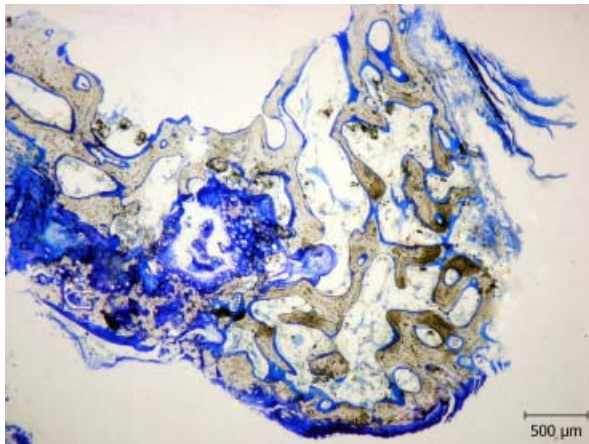


**Obr. 138:** Detail granulomatózní tkáně s hojným prokrvením, fibroblasty a buňkami typu Langhansových buněk.

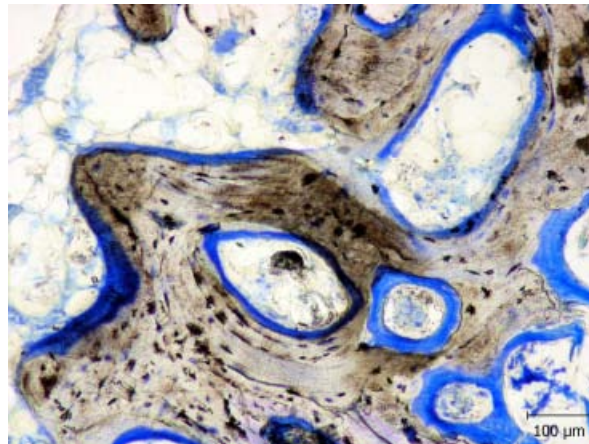


## 8 Preparáty kosti

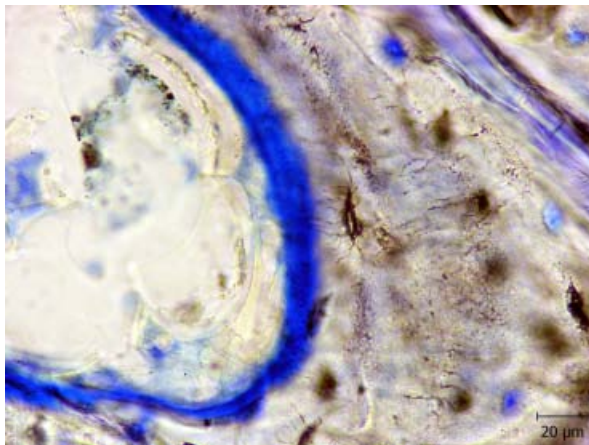
### 8.1 Spongiózní kost



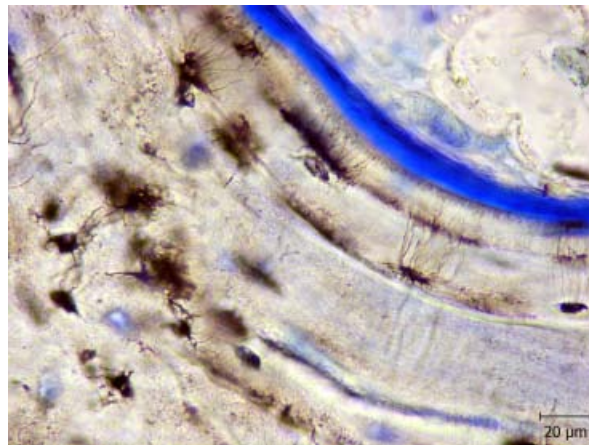
**Obr. 139:** Spongiózní kost krčního obratle (toluidinová modř).



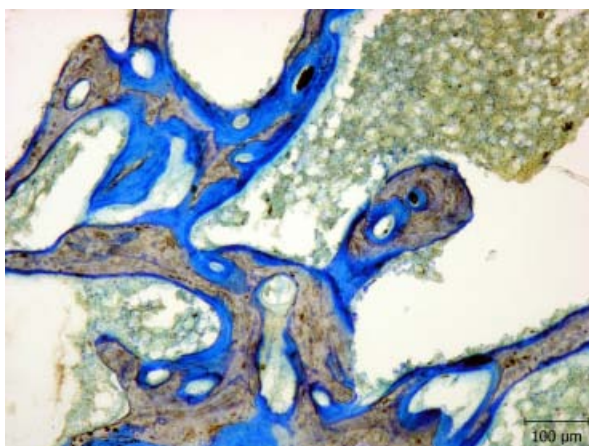
**Obr. 140:** Modře je odlišeno vazivo endostu mezi kostními trámcí.



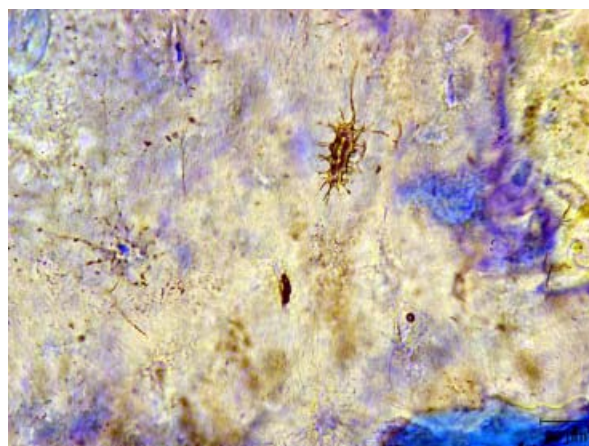
**Obr. 141:** Stěna Haversova systému ve spongiózní kosti.



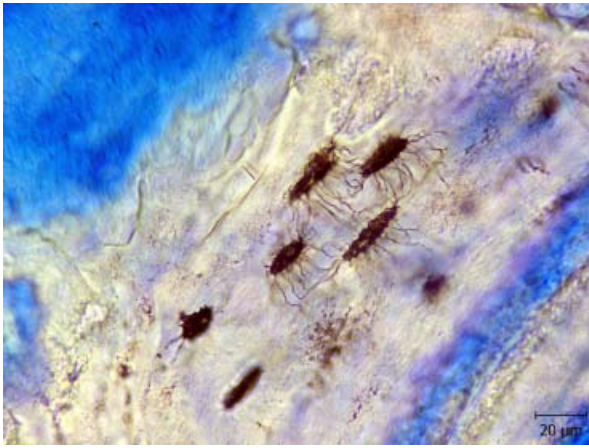
**Obr. 142:** Osteocyty v lakunách jsou uspořádány v lamelách.



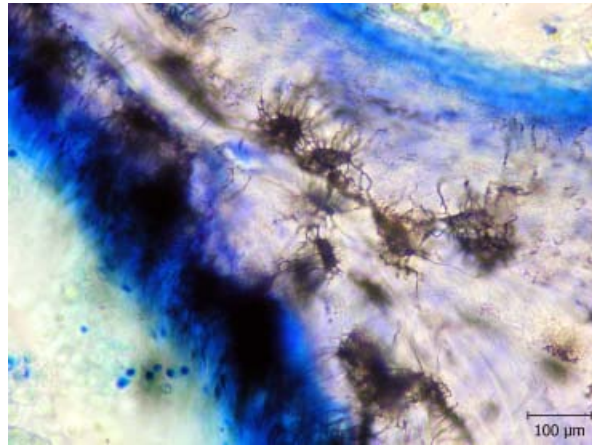
**Obr. 143:** Kostní dřeň spongiózy není při technice výbrusů dobře zachována.



**Obr. 144:** Detail osteocytu s výběžky.

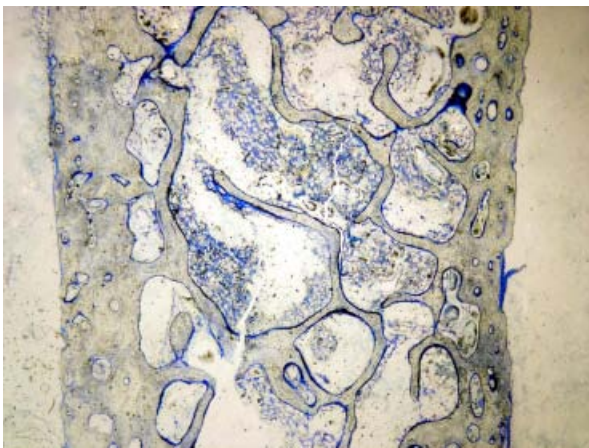


**Obr. 145:** Osteocyty svými výběžky vzájemně komunikují...

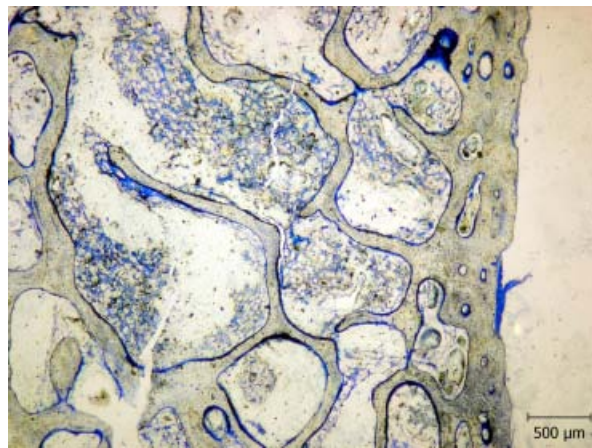


**Obr. 146:** ... a protkávají tak kost systémem mikroskopických kanálků.

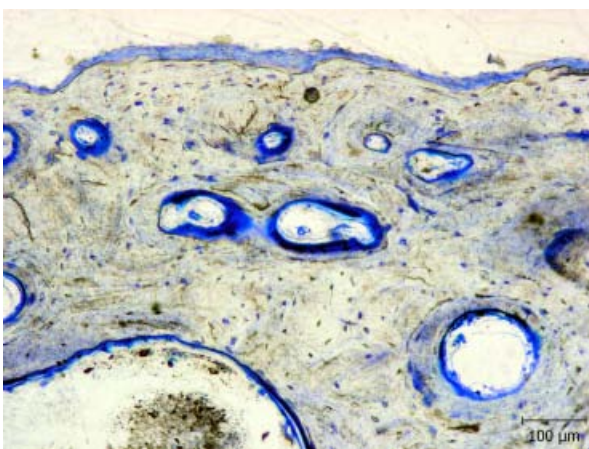
## 8.2 Diploe



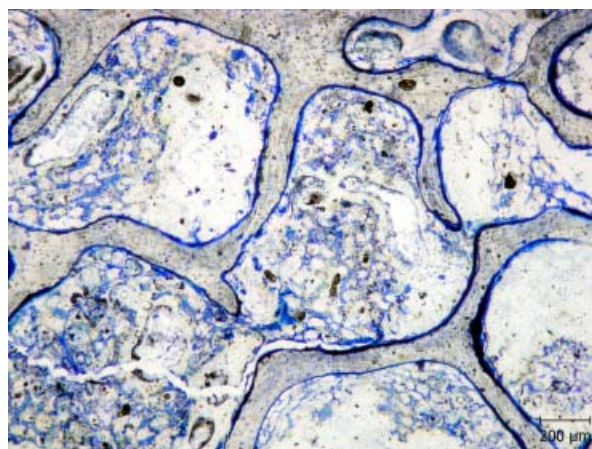
**Obr. 147:** Diploe protuberantia occipitalis externa sestává z vnitřní a vnější vrstvy kompakty obklopující spongiózní kost.



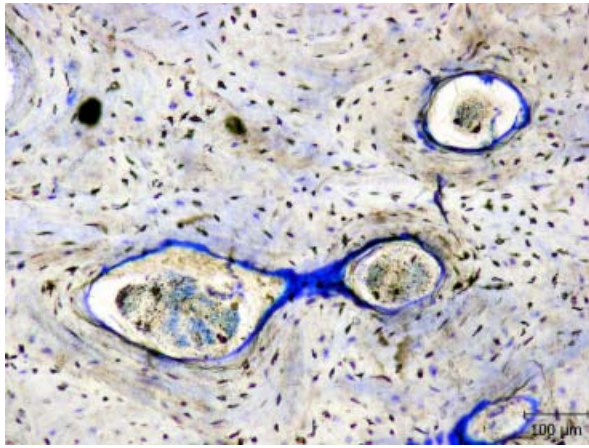
**Obr. 148:** Diploe.



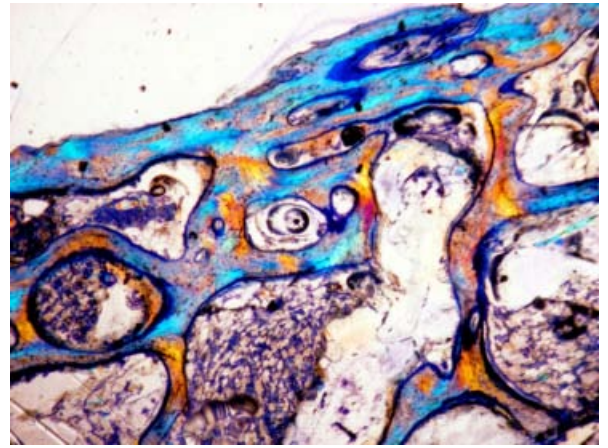
**Obr. 149:** Tenká povrchová kompakta diploe, pod ní spongióza.



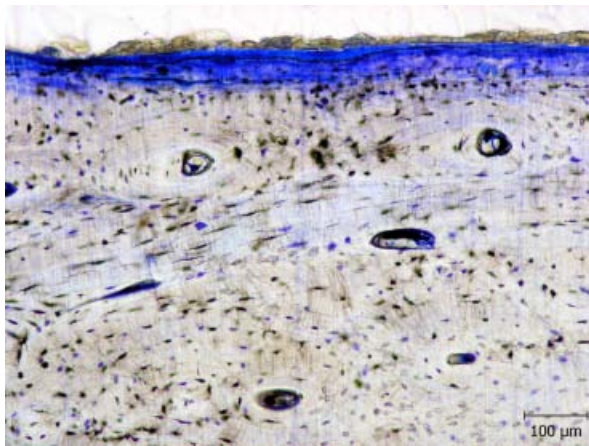
**Obr. 150:** Spongióza ve středu diploe.



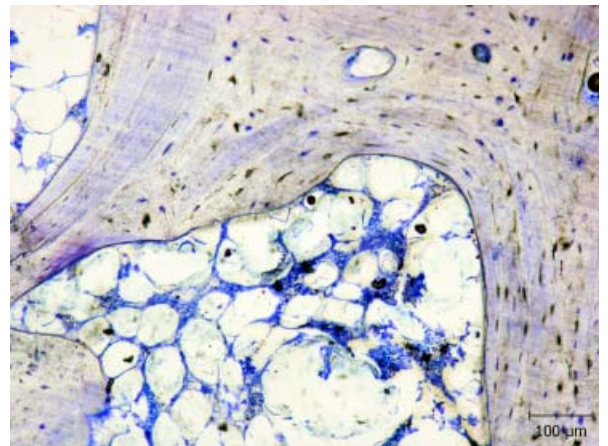
**Obr. 151:** Haversovy systémy kompakty diploe.



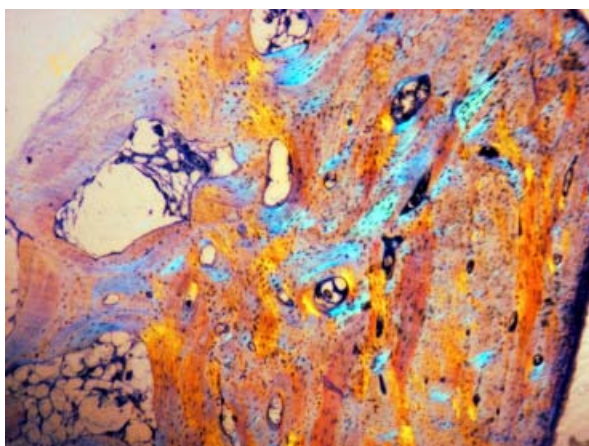
**Obr. 152:** Stejný preparát v polarizačním mikroskopu.



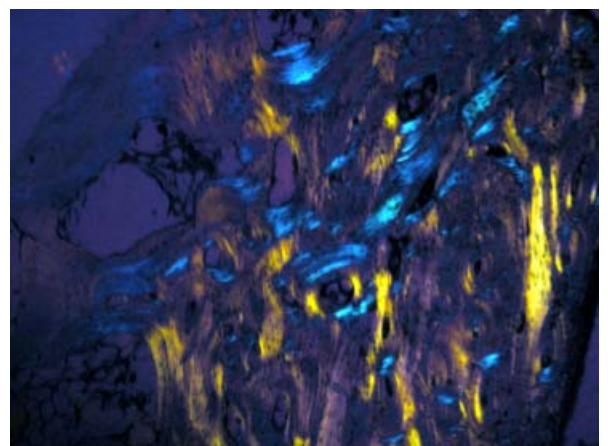
**Obr. 153:** Kompakta diploe spánkové kosti.



**Obr. 154:** Spongióza téže kosti.

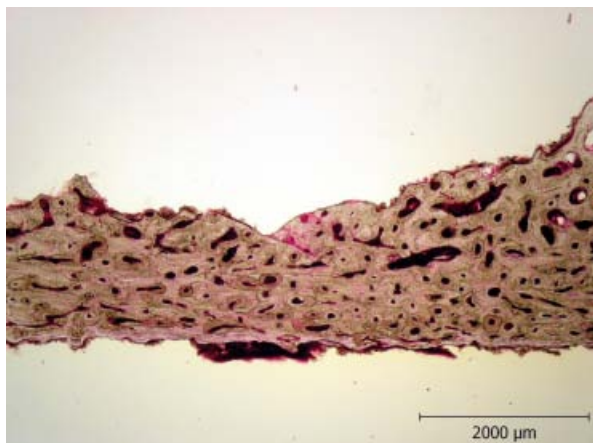


**Obr. 155:** Kost spánková – vizualizace uspořádání matrix pomocí polarizační mikroskopie.

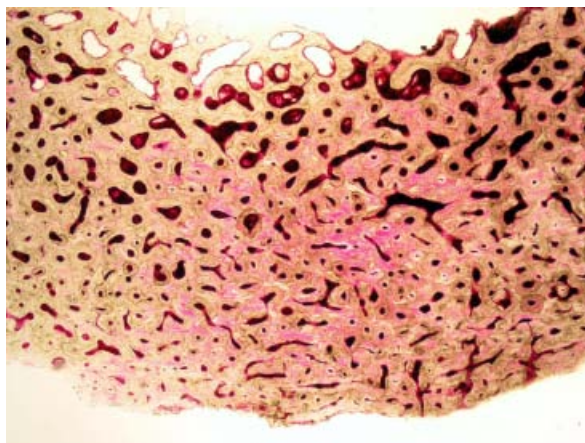


**Obr. 156:** Detto, stejné místo preparátu.

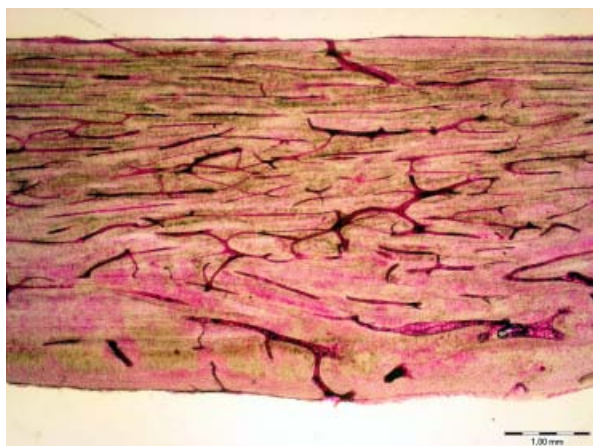
### 8.3 Kompaktní kost



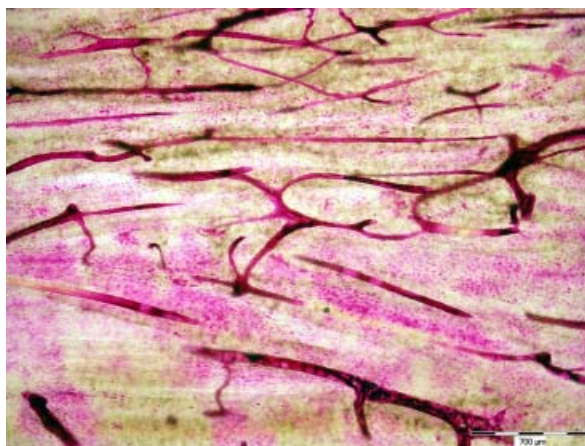
**Obr. 157:** Diafýza femuru dospělého člověka je tvořena kompaktní kostí. Příčný výbrus, alizarinová červeň.



**Obr. 158:** Síla kompakty po obvodu femuru se může ve vyšším věku (zde 69 let) lokálně značně lišit (měřítko a orientace výbrusu jsou shodné s předchozím snímkem).



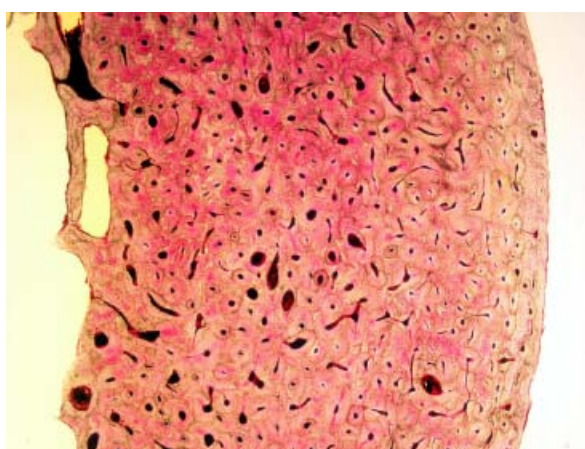
**Obr. 159:** Podélný výbrus diafýzou femuru. Alizarinová červeň.



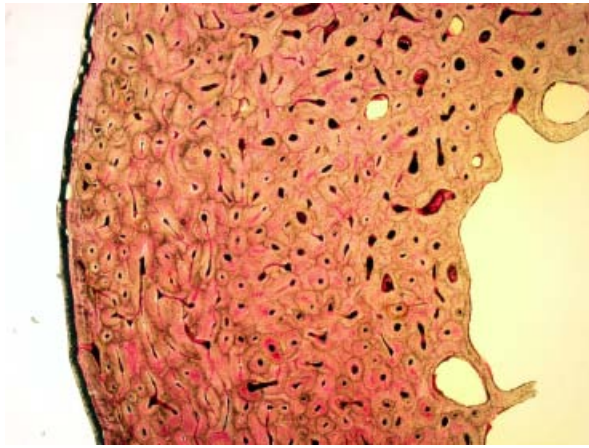
**Obr. 160:** Při větším zvětšení je patrná komunikace cévních kanálků uvnitř kompakty.



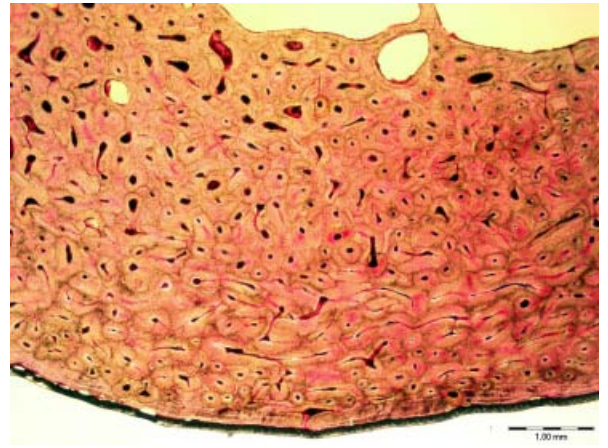
**Obr. 161:** Příčný výbrus diafýzou femuru 50letého muže. Alizarinová červeň.



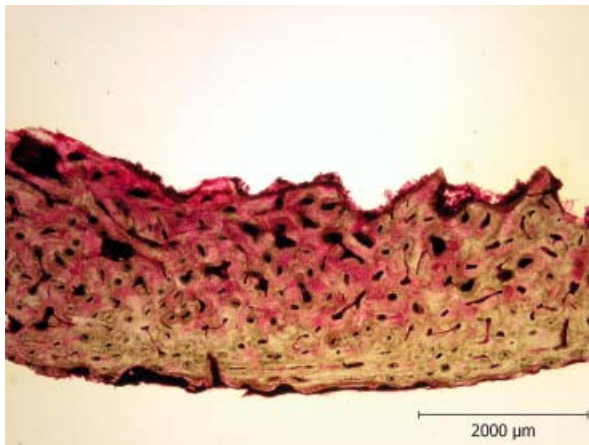
**Obr. 162:** Detto.



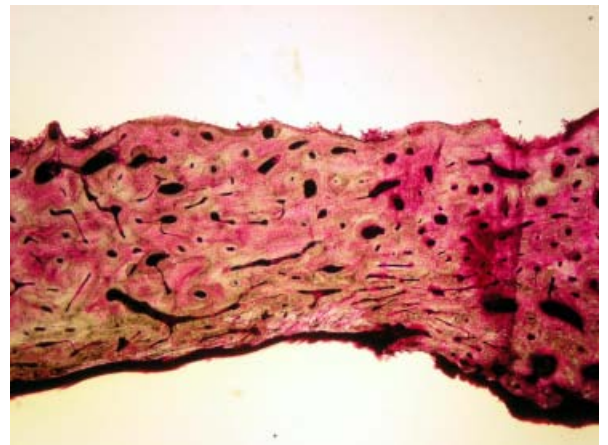
**Obr. 163:** Po obvodu diafýzy femuru je kost přibližně rovnoměrně silná.



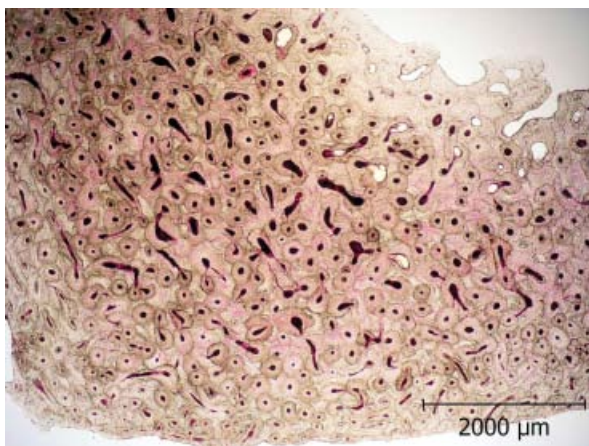
**Obr. 164:** Detto, všechny čtyři snímky (160–163) mají stejné zvětšení.



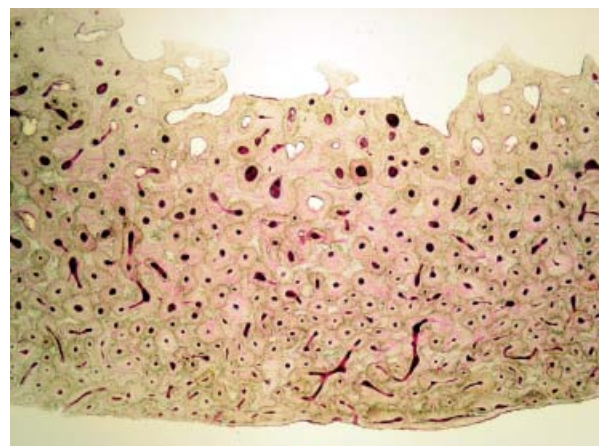
**Obr. 165:** Příčný výbrus, humerus 62letého muže, alizarinová červeň.



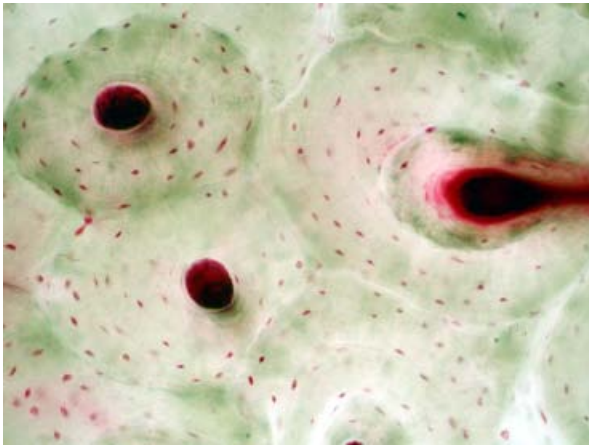
**Obr. 166:** Další místo po obvodu téhož humeru.



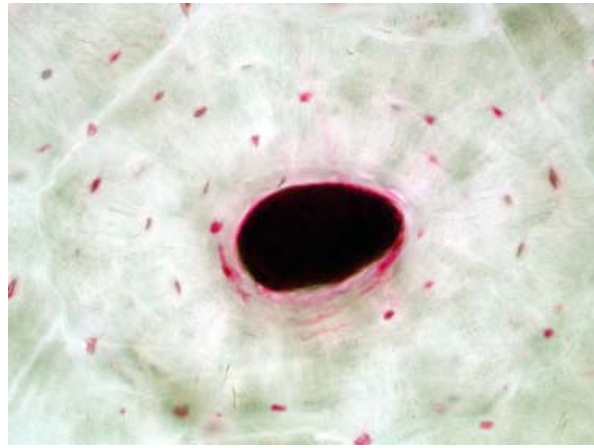
**Obr. 167:** Příčný výbrus, tibia 70leté ženy, alizarinová červeň.



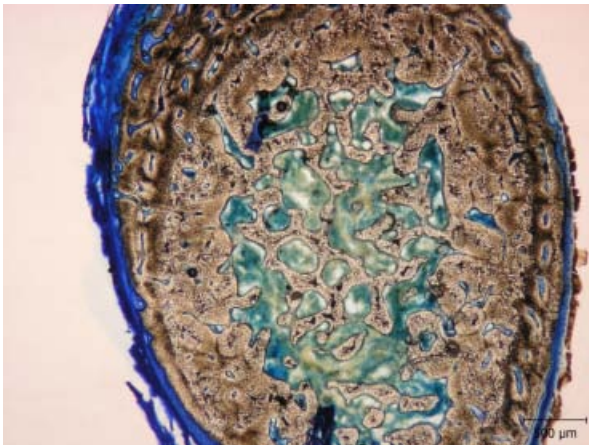
**Obr. 168:** Další místo po obvodu téže tibie.



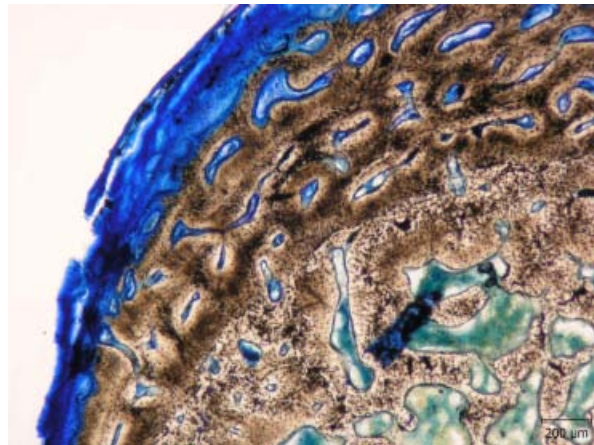
**Obr. 169:** Tři Haversovy systémy téže tibie.



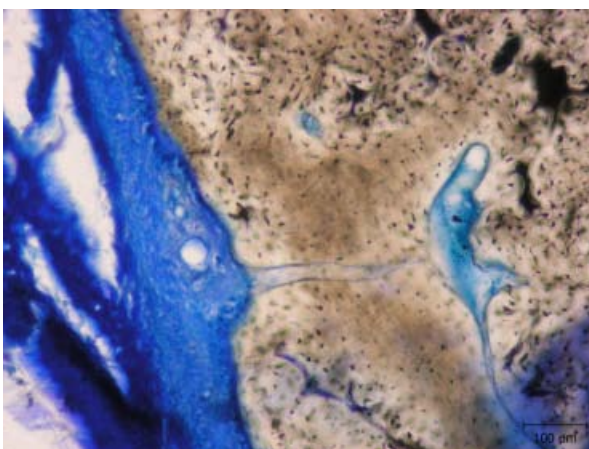
**Obr. 170:** Detail Haversova systému.



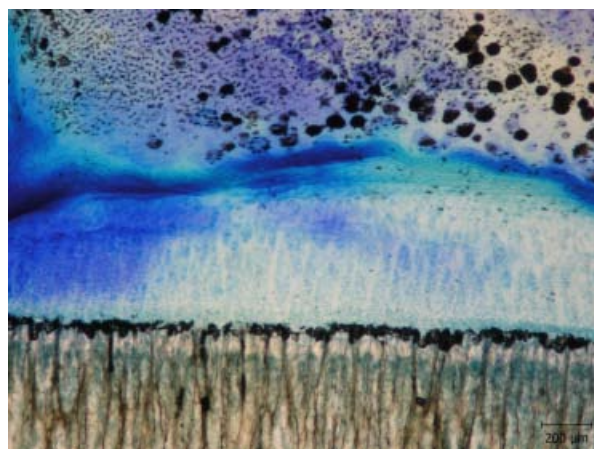
**Obr. 171:** Transverzální výbrus diafýzy klíční kosti donošeného novorozence. Toluidinová modř.



**Obr. 172:** Pod modře zbarveným periostem je tenká kompaktní lamina, pod níž začíná spongióza.

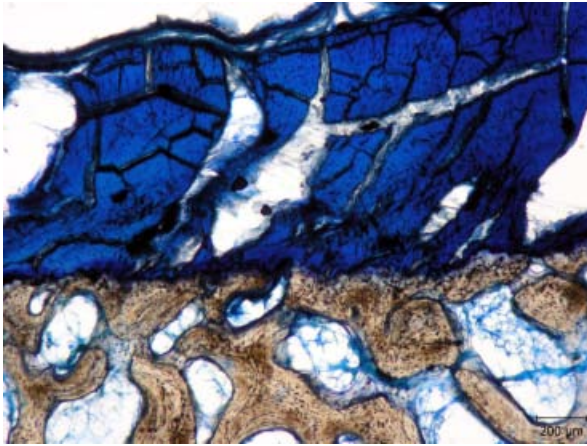


**Obr. 173:** Detail komunikace cévních kanálků v povrchové vrstvě radia.

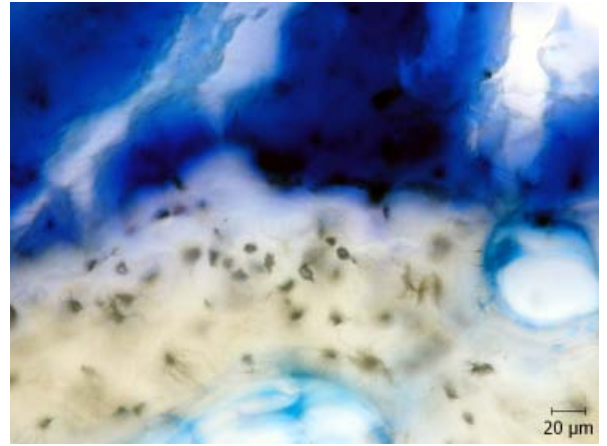


**Obr. 174:** Rozhraní epi- a diafýzy radia novorozence.

## 8.4 Vláknnitá kost

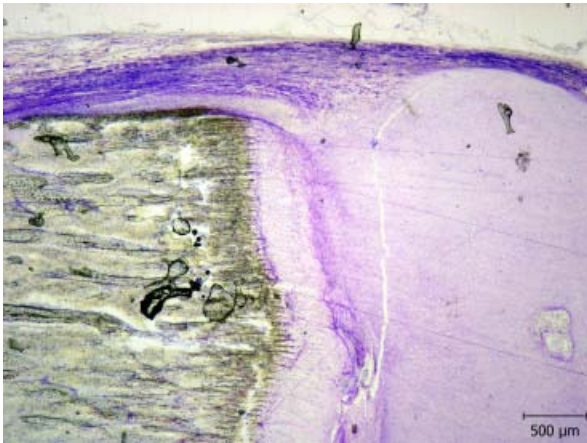


**Obr. 175:** V místě úponu silných šlach (zde m. quadriceps femoris na tuberositas tibiae) je slabá vrstva vláknité kosti.

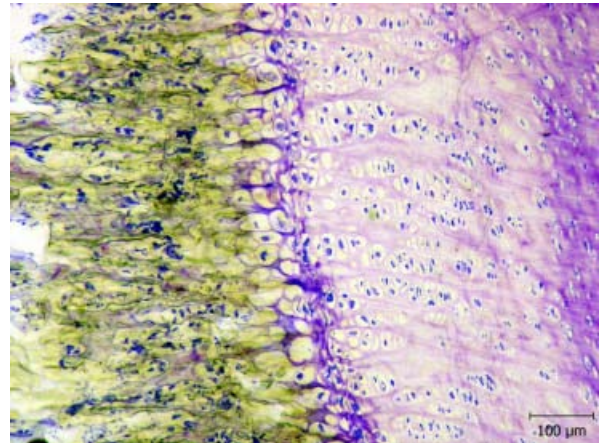


**Obr. 176:** Povrchová vláknitá kost (pod modře zbarvenou šlachou) však v hlubších vrstvách velmi rychle přechází v lamelární kost.

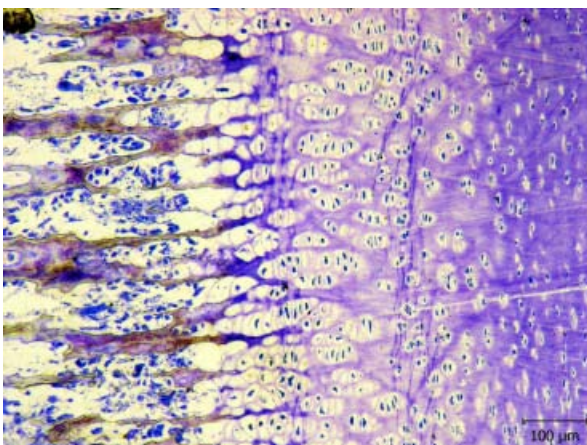
## 8.5 Osifikace



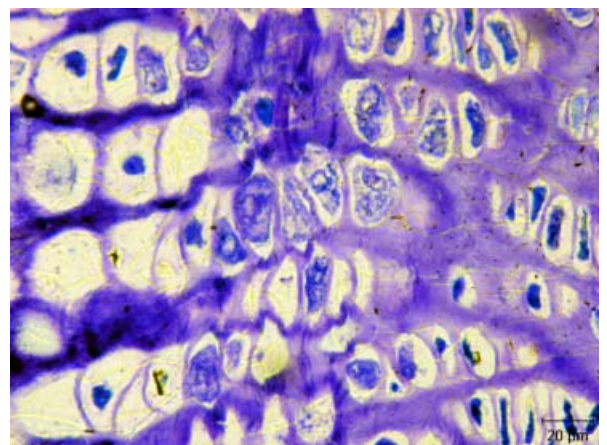
**Obr. 177:** Rozhraní diafýzy (vlevo) a epifýzy (vpravo) radiu novorozence.



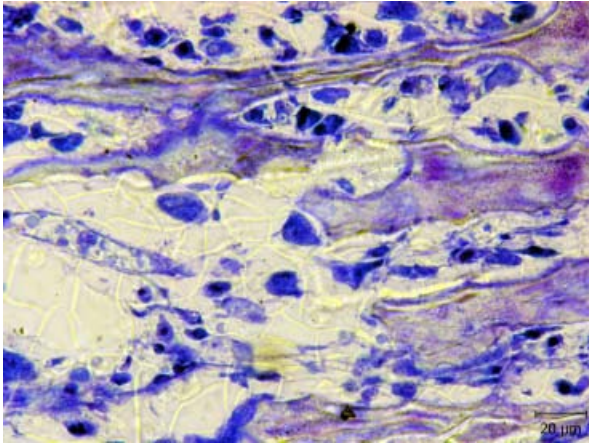
**Obr. 178:** Růstová chrupavka stejné kosti.



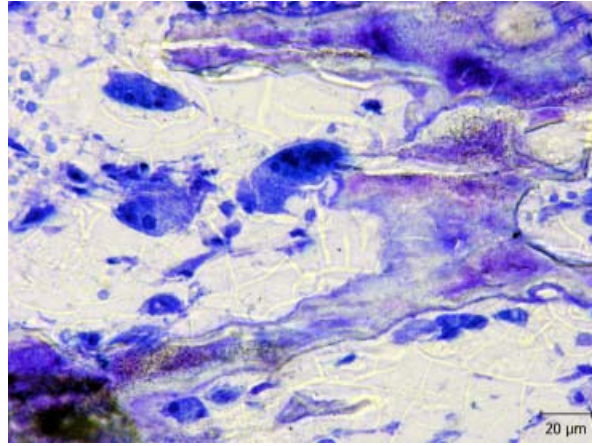
**Obr. 179:** Růstová zóna fyzální chrupavky a vrstvy enchondrální osifikace v radiu novorozence, toluidinová modř.



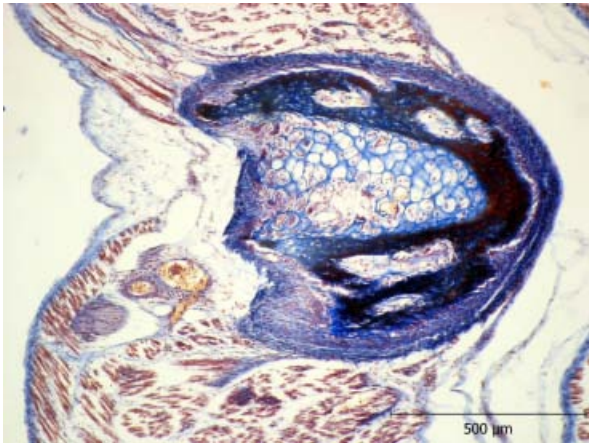
**Obr. 180:** Zóna normální, proliferující a hypertrofické chrupavky.



**Obr. 181:** Novotvořené trámečky enchondrální osifikace radia novorozence. V centru je sytě modře zbarvený osteoklast v Howshipově lakuně.



**Obr. 182:** Nad centrem snímku je sytě modře zbarvený mnohояaderný osteoklast v Howshipově lakuně.

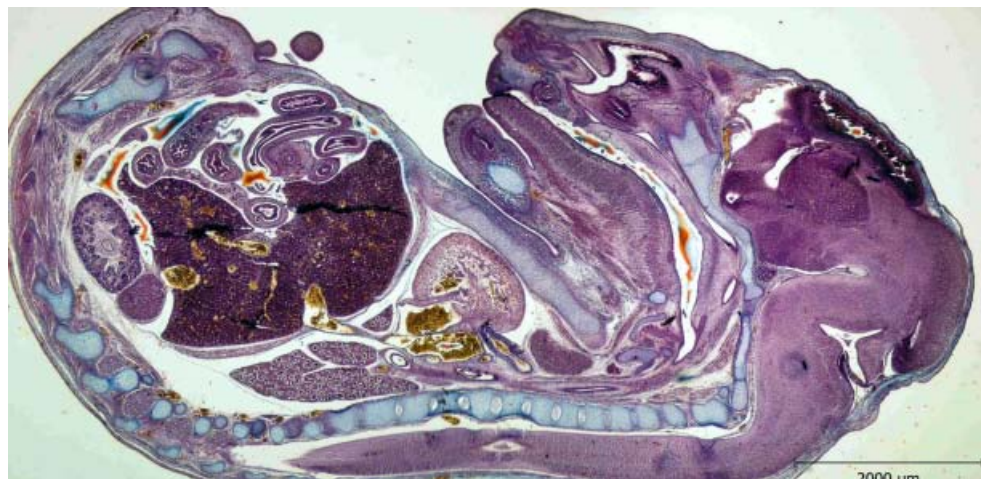


**Obr. 183:** Příčný průřez osifikující chrupavkou žebra u zárodka člověka, temenokostrční (TK) délka 58 mm, barvení AZAN.



**Obr. 184:** Podélný průřez osifikující chrupavkou žebra téhož zárodka. Invaze kapilár s osteoprogenitorovými buňkami do rozrušené chrupavky. Periostální límec.

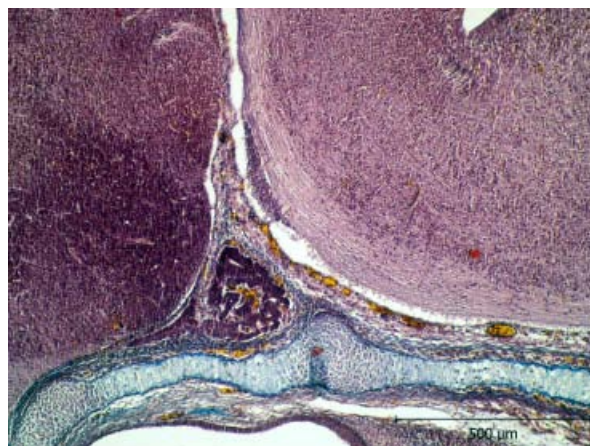




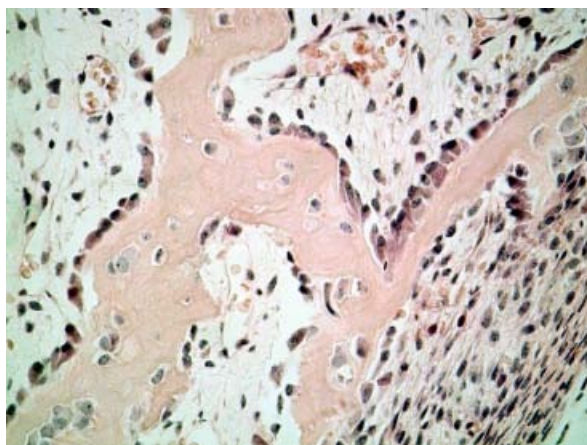
**Obr. 185:** Chrupavčité modely kostí (páteř, pletence končetin, Meckelova chrupavka, sternum, baze lební u plodu hlodavce *C. glareolus*, TK délka 16 mm, Malloryho trichrom.



**Obr. 186:** Detail předchozího snímku. Meckelova chrupavka prvního žaberního oblouku, kolem ní desmogenní osifikací vznikající tělo mandibuly, základ řezáku.



**Obr. 187:** Chondrogenní osifikace kosti klínové, hypofýza, mozek u téhož plodu.



**Obr. 188:** Desmogenní osifikace fetální mandibuly prasete. Osteoblasty sedí na povrchu trámečků, jiné jsou již zcela uvnitř kostí matrix a mění se na osteocyty. Hematoxylin-eosin.

## 8.6 Oseointegrace dentálního implantátu

Oseointegrací se rozumí vhojení implantátu do kosti bez mezivrstvy měkké tkáně (objev Branemarka z r. 1952). Oseointegrace závisí mj. na tvaru, materiálu a povrchové úpravě nitrokostní části (tzv. fixtury) implantátu (např. pískováním, strojním obráběním, laserem, s různými povlaky povrchu). U různých typů implantátů lze v experimentu histologicky hodnotit (obr. 188–197) míru oseointegrace pomocí kvantitativních parametrů, jako např.

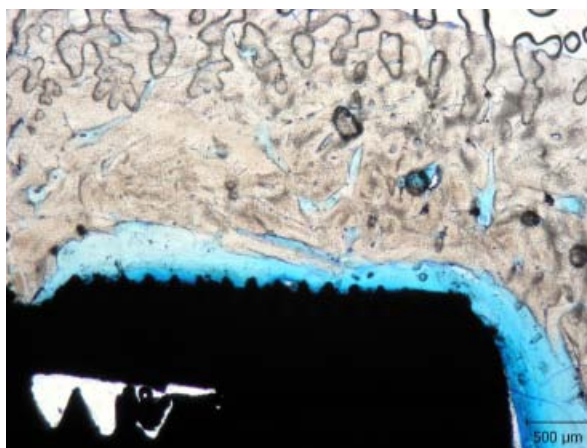
**BIC** (bone-implant contact) v procentech je dán vztahem  $BIC = \frac{BC}{IL} \cdot 100$ , kde  $BC$  = délka kostní tkáně v přímém kontaktu s implantátem a  $IL$  = celková délka obvodu profilu implantátu na výbrusu. Kvantifikaci lze provést např. stereologicky počítáním průsečíků profilu implantátu ( $IL$ ) a počtu průsečíků kontaktu implantát-kost ( $BC$ ) s pravoúhloú sítí testovacích linií. Délka hodnocené hranice implantátu či kosti na výbrusu je přímo závislá na počtu průsečíků s lineární stereologickou sondou (obr.197).

**BA** (bone density in the threaded area) = podíl mineralizované kostní tkáně uvnitř závitů.

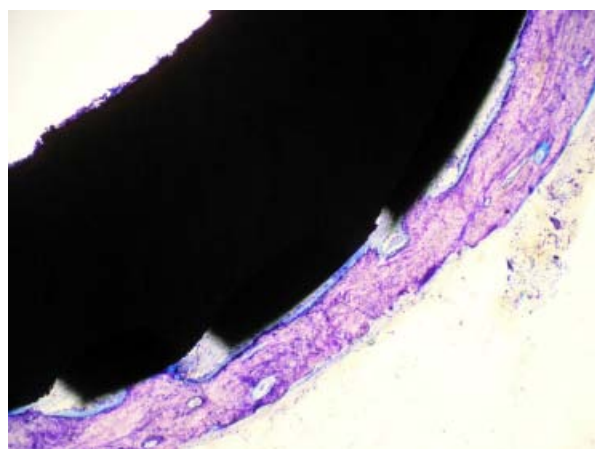
Není-li uvedeno jinak, jsou uvedené preparáty barveny toluidinovou modří, jejíž výhodou je odlišení osteoidu od mineralizované matrix. Optimální síla výbrusu pro vyhodnocování oseointegrace je dle našich zkušeností 30  $\mu\text{m}$ .



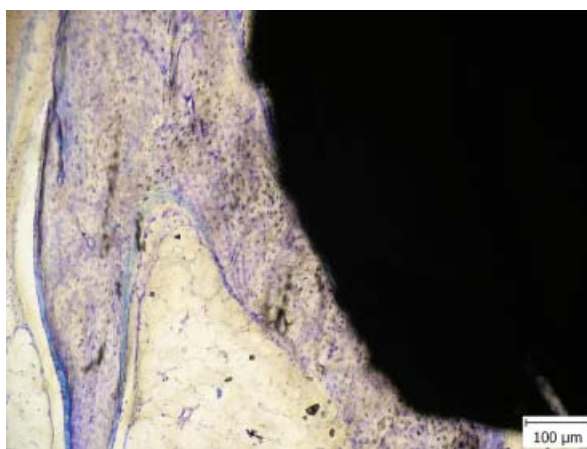
**Obr. 189:** RTG snímek pěti dentálních implantátů v mandibule prasete při experimentu hodnotícím jejich integraci do kosti.



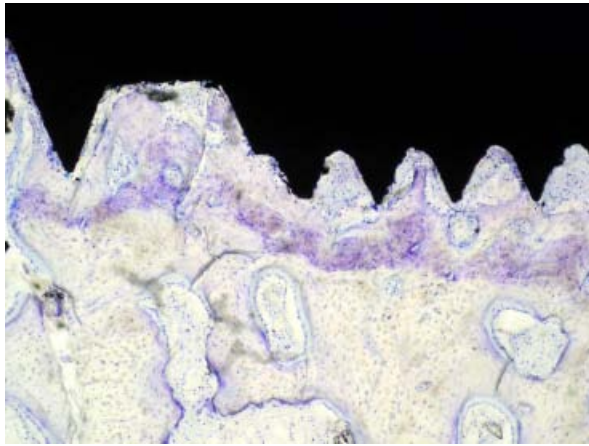
**Obr. 190:** Podélný výbrus implantátu v kosti je obklopen neosifikovaným vazivem, barveno toluidinovou modří.



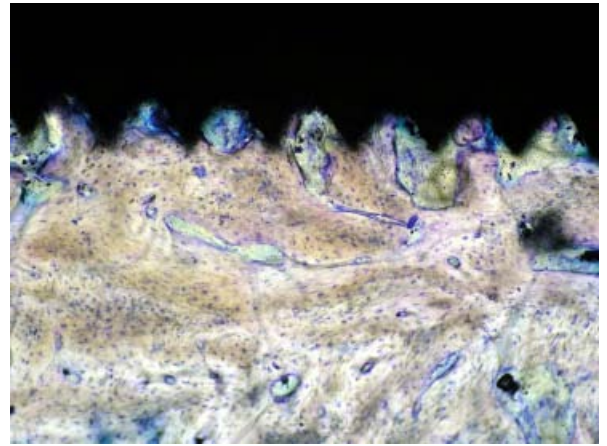
**Obr. 191:** Na příčném výbrusu je část závitů implantátu v kontaktu s již osifikovanou kostí.



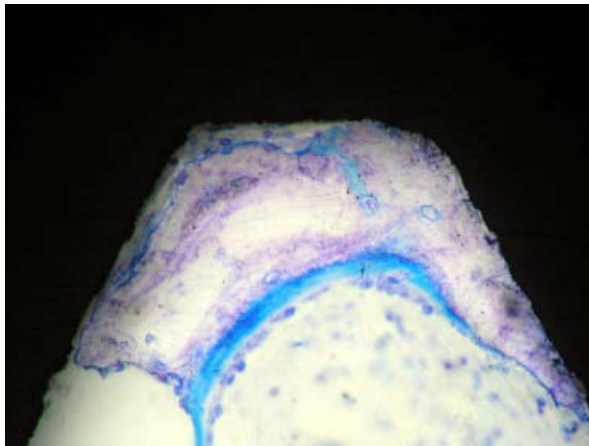
**Obr. 192:** Příčný výbrus s výborným stupněm oseointegrace (toluidinová modř).



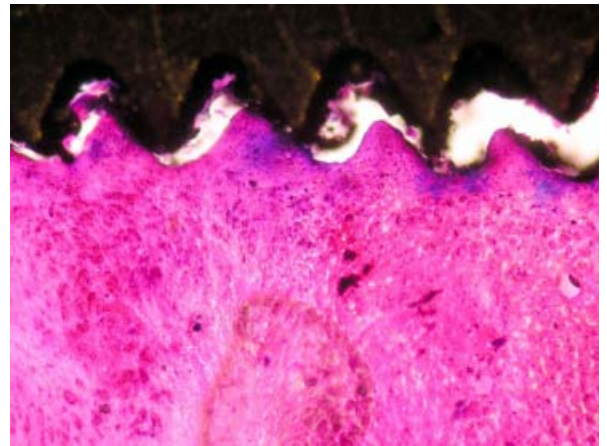
**Obr. 193:** Většina závitů je vyplněna osifikující kostí.



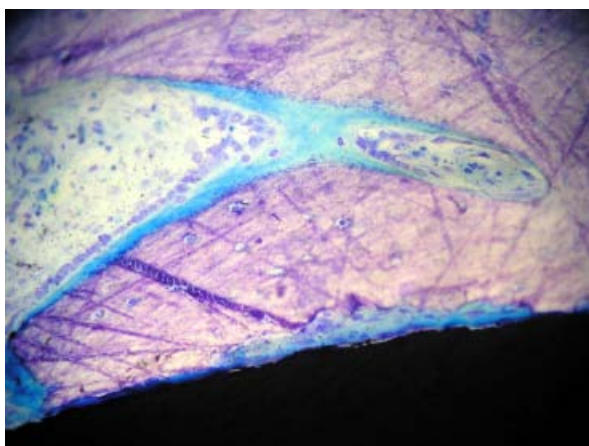
**Obr. 194:** Kostní trámečky vrůstají do závitů.



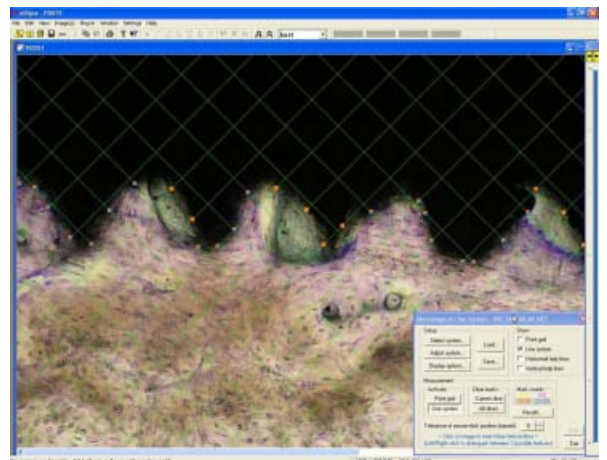
**Obr. 195:** V detailu patrná osifikovaná kost (fialově) s modrým nemineralizovaným osteoidem.



**Obr. 196:** Odtržení kosti od závitů je v tomto případě mechanický artefakt vzniklý broušením.



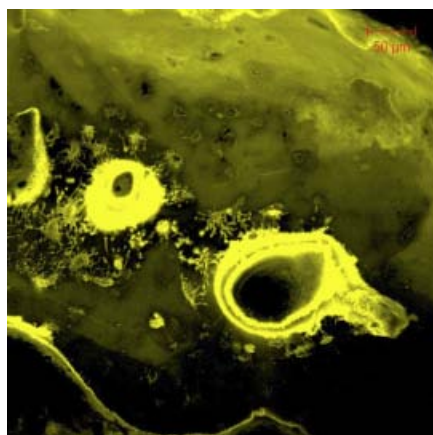
**Obr. 197:** Černě povrch implantátu, fialově kost, modře osteoid.



**Obr. 198:** Kvantifikace Hodnocení BIC (bone implant contact) stereologickou technikou.

## 8.7 Depozice tetracyklinových antibiotik v kostní tkáni

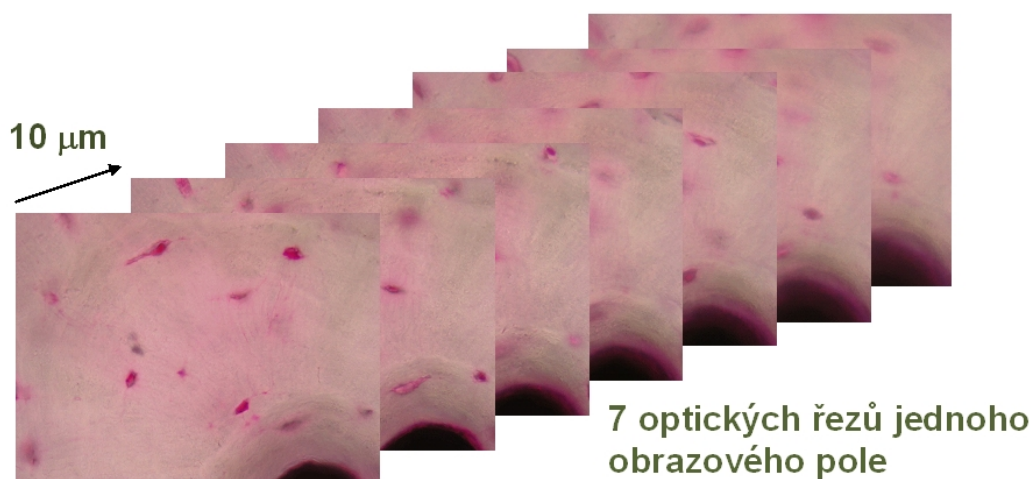
Afinitu tetracyklinových (TTC) antibiotik a jejich autofluorescenčních vlastností lze využít i k histologické kvantifikaci přestavby a novotvorby kosti. Pokud je kontrolovaně podáván v přesně definovaném časovém intervalu, svědčí jeho přítomnost v následné kostní biopsii (obr. 198) o tom, že během podávání tetracyklinu v daném místě kosti docházelo k tvorbě nové kosti, což lze využít např. při hodnocení účinnosti farmak ovlivňujících rovnováhu mezi tvorbou a resorpcí kosti (např. bisfosfonáty).



**Obr. 199:** Fluorescenční snímek výbrusu kosti po dvojitým značení tetracyklinem (double tetracycline labelling (TTC 250 mg po 6 hodinách) (den 1-2, 15-16) následovaném biopsií mediálního kondylu tibie (den 23) u pacienta léčeného preparátem alderonátu sodného (za poskytnutí vzorku děkujeme MUDr. Soně Jirsákové).

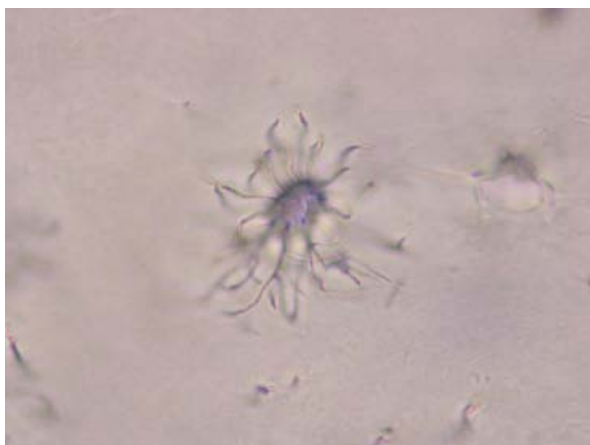
## 8.8 Trojrozměrné hodnocení kostních výbrusů

Ze silných výbrusů lze pomocí imerzních objektivů pořídit série optických řezů vzdálených od sebe např. 10  $\mu\text{m}$  (Obr. 199). V takovýchto sériích řezů pak lze např. počítat numerickou hustotu osteocytárních lakun (počet lakun v jednotce objemu kosti).

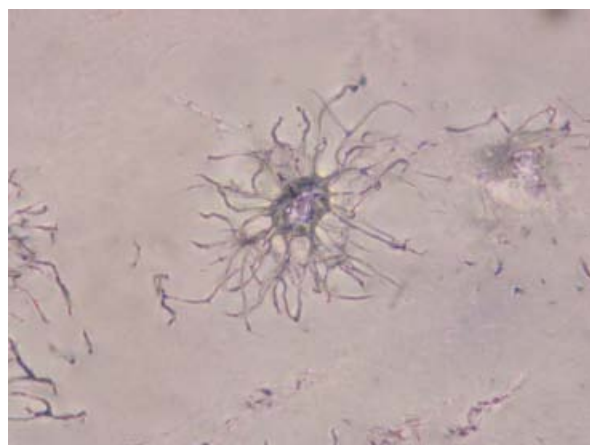


**Obr. 200:** Optické řezy výbrusem pro optický disektor. Obrazová pole vybrána náhodným výběrem.

V sérii optických řezů z klasického nekonfokálního mikroskopu je v každém obraze mnoho neostrých informací z oblastí nad a pod intervalem ostrosti použitého objektivu, a to i u imerzních objektivů s vyšší numerickou aperturou (obr. 200). Tento handicap je možné částečně kompenzovat softwarovým výběrem ostré oblasti z každého řezu, kdy výsledný snímek je složen ze série kompletně proostřených snímků (obr. 201).

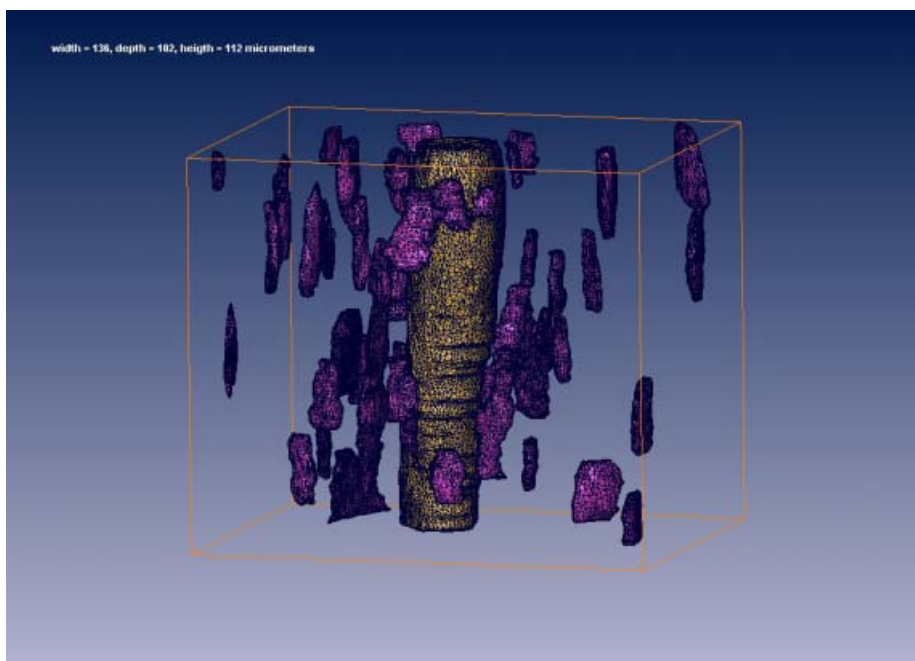


**Obr. 201:** Jeden z optických řezů kostí zachycujících osteocyt.



**Obr. 202:** Softwarové zaostření založené na sérii dvaceti optických řezů.

Rozsáhlejší série optických řezů lze využít i k trojrozměrné rekonstrukci kostní mikrostruktury. Po rekonstrukci optických řezů nasnímaných ze silnějších, avšak kvalitních výbrusů, lze vizualizovat prostorové vztahy mikroskopických objektů (Obr. 202).



**Obr. 203:** Rekonstrukce osteocytárních lakun a části Haversova kanálu.

## 9 Literatura

- [1] Avery J.K., Chiego D.J. (2006): Essentials of Oral Histology and Embryology - A Clinical Approach. St. Louis, Mosby Elsevier.
- [2] Bancroft J.D., Stevens A. (Eds) (1996): Theory and practice of histological techniques. New York, Churchill Livingstone.
- [3] Bath-Balogh M., Fehrenbach M.J. (2006): Dental Embryology, Histology, and Anatomy. St. Louis, Elsevier Saunders.
- [4] Berkovitz B.K.B., Holland G.R., Moxham B.J. (2002): Oral Anatomy, Embryology and Histology. Edinburgh, Mosby.
- [5] Hecová H., Monhartová K. (2008): Morfologie zubů. Kreslení a modelování zubů. Praha, Karolinum.
- [6] Hellwig E. et al. (2002): Záchovná stomatologie a parodontologie. Praha, Grada.
- [7] Hronová J., Hnátková A., Koutová P. (2006): Zhotovení mikroskopického preparátu z tvrdé tkáně. Patologicko-anatomické oddělení Karlovarské krajské nemocnice, a. s., a Česká společnost histologických laborantů, <http://www.cshl.cz/kestudiu.php?zobrazit=17>.
- [8] Junqueira C., Carneiro J. Kelley R. O. (1997): Základy histologie. Jinočany, H&H.
- [9] Kilian J., Dvořák M. (2008): Základy forenzního zubního lékařství. Praha, Karolinum.
- [10] Malínský J. (1998): Histologie a embryologie orofaciální oblasti. Olomouc, Univerzita Palackého.
- [11] Melfi R.C., Alley K.E. (2000): Permar's Oral Embryology and Microscopic Anatomy. Baltimore, Lippincott Williams and Wilkins.
- [12] Nanci A. (2008): Ten Cate's Oral Histology. Development, Structure and Function. St. Louis, Mosby Elsevier.
- [13] Nezhybová E., Kašpárková E., Machalová B., Wagner F. (2008): Speciální metody při zpracování tvrdých tkání. Ústav histologie a embryologie Lékařské fakulty Univerzity Palackého v Olomouci a Česká společnost histologických laborantů, <http://www.cshl.cz/kestudiu.php?zobrazit=19>.
- [14] Paral V., Witter K., Tonar Z. (2007): Microscopic examination of ground sections - a simple method for distinguishing between bone and antler? International Journal of Osteoarchaeology. 17: 627-634.
- [15] Riviere H.L. (2000): Lab Manual of Normal Oral Histology, Sarol Stream, Quintessence Publishing.
- [16] Stejskalová J et al. (2008): Konzervační zubní lékařství. Praha, Galén.
- [17] Standring S. et al., eds. (2005). Gray's Anatomy. 39<sup>th</sup> ed. Ch. 7. Philadelphia, Elsevier Churchill Livingstone.
- [18] Vacek, Z. (1995): Histologie a histologická technika. Histologie a histologická technika. Brno, Institut pro další vzdělávání pracovníku ve zdravotnictví.
- [19] Wolf J. (1954): Mikroskopická technika. Praha, SZN.