

Stručný přehled tkání pohybového systému

Na stavbě kostry se podílí tři typy pojivových tkání – vazivo, chrupavka, kost; skládají se z buněk, složky mezibuněčné = složka vláknitá (fibrilární) a amorfní.

1) Vazivo

Plní podpůrnou funkci, spojuje kosti, tvoří ligamenta, kloubní pouzdra, kryje chrupavky a kosti, tvoří šlachy a aponeurózy, fascie a septa.

Metabolicky aktivní buňkou je **fibroblast** – produkuje mezibuněčnou hmotu (matrix intercellularis) a vláknitou složku vaziva, klidová forma se nazývá **fibrocyt**. Vazivo se vyznačuje dobrou regenerační schopností díky aktivitě fibroblastů.

Základní hmota (matrix) – bezbarvá, amorfní, tvořená glykoproteiny a proteoglykany, vyplňuje prostory mezi buňkami a vlákny.

Vlákna – tvořená především **kolagenem typu I** (často se sdružují do fibril a silnějších svazků), kolagenní vlákna jsou velmi **pevná** v tahu a ohebná **ale málo** pružná; elastická vlákna jsou tvořena pružným **elastinem**, **retikulární vlákna** jsou tvořena kolagenem typu III.

Poznámka (jen pro představu):

Kolagen (v současnosti je popsáno více než 20 různých molekulárních typů kolagenu) je bohatý na aminokyseliny glycin, prolin, hydroxyprolin, hydroxylysin. Základním řetězcem je tropokolagen (délka - 280 nm, tloušťka 1,5 nm), je tvořen třemi polypeptidovými řetězci pro kolagen typu I, II a III; tropokolagenové řetězce se spojují v mikrofibrily, ty agregují ve fibrily. Mezi řetězci se vytvářejí vazby typu vodíkových můstků, hydrofobní interakce a kovalentní vazby mezi lysinovými a allysinovými zbytky (ty vznikají účinkem enzymu lisyloxidasy až v mezibuněčné matrix, enzym oxiduje aminoskupinu -NH₂ postraního řetězce Lys na aldehydicou funkční skupinu -CHO allysinu). Fibrily jeví příčné pruhování v intervalech 64 nm, tmavé pruhy odpovídají oblastem s větším počtem volných chemických skupin.

Typy kolagenu:

1. kolagen typu I – 90%, vyskytuje se v korigu, kostech, šlachách, vazech, periostu, perichondriu atd.
2. kolagen typu II – typický pro chrupavku, bohatě zastoupen ve vazivové chrupavce, v ostatních typech méně
3. kolagen typu III – bohatě se vyskytující v embryonálním období, postupně nahrazován kolagenem typu I, v dospělosti tvoří retikulární vlákna lymfatického systému, retikulární vlákna submukózy gastrointestinálního traktu, retikulární vlákna kostní dřevě, podpůrné sítě kolem cév, tukových buněk, neuronů a gliových buněk
4. kolagen typu IV – nevytváří fibrily ani vlákna, nepolymerizuje, strukturální součást lamina basalis, kde plní funkci molekulárního filtru
5. kolagen typu V – přítomen v plodových obalech – amnion, chorion

2) Chrupavka

Pevný typ pojiva, pružný a mechanicky odolný, obsahuje zejména kolagenní vlákna typu II, na který se váží proteoglykany a glykosaminoglykany (samostatné – kyselina hyaluronová nebo vázané na proteiny matrix – chondroitinsulfát, dermatansulfát, keratansulfát), mezibuněčná hmota je velmi bohatá!

1. hyalinní chrupavka – sklovitá, poloprůhledná, namodralá, nejčastější typ chrupavky, bohatá na kolagen typu II. V prenatalním období tvoří model kostry s výjimkou kostí osifikujících z vaziva, v postnatalním období růstovou chrupavku, chrupavky kloubní, sternální konce žeber, chrupavky laryngu a trachey - po 20. roce probíhá kalcifikace!

2. elastická chrupavka – obsahuje navíc i elastická vlákna, je podkladem epiglottis, ušního boltce a tuba auditiva.

3. vazivová chrupavka – velmi bohatá na kolagen typu I, méně mezibuněčné hmoty – je utlačena vlákny vazivové chrupavky, chybí perichondrium, stavební materiál kloubních disků a menisků, meziobratlových plotének a symfýzy.

Buňky chrupavky se nazývají **chondrocyty**, na povrchu je **perichondrium** obsahuje cévy – vlastní chrupavka je **bezcévná**, na vnitřní straně se nacházejí chondroblasty, které se

diferencují v chondrocyty – odpovídají za růst chrupavky a omezenou regeneraci, **perichondrium chybí** na kloubních chrupavkách, ty jsou vyživovány ze synoviální tekutiny!!! Chrupavka je schopná jen velmi omezené regenerace, k regeneraci dochází od perichondria, nejdříve vzniká chrupavka vazivová a ta je později přestavěna na chrupavku hyalinní. Nedostatečná výživa chrupavky vede k degeneraci chondrocytů (preferují anaerobní metabolismus) a tím i kolagenních vláken.

3) Kost

Bohatě mineralizovaný, vaskularizovaný a nesmírně metabolicky aktivní typ pojiva, buňky – osteoblasty, osteocyty, osteoklasty, mezibuněčná hmota, která má složku organickou a anorganickou. Tato pojivová tkáň se vyznačuje tvrdostí a pevností.

1) Osteoprogenitorní buňky – mitoticky aktivní mezenchymové pluripotentní kmenové buňky, jsou základem pro ostatní

2) Osteoblasty – kubické buňky, produkují matrix (označuje se u kostní tkáně jako osteoid a není kalcifikována) a vlákna, osteoblasty také ovlivňují mineralizaci. Jsou uloženy na vnitřní vrstvě periostu a v kostních dutinách pod endostem. Poté, co je osteoblast obklopen kostní hmotou mění se v osteocyt.

3) Osteocyty – protáhlé buňky s mnoha výběžky, leží v kostních lakunách, *lacunae ossium*, a výběžky probíhají v tenkých kanálcích, *canaliculi ossium*; zajišťují metabolismus a obměnu kostní matrix.

4) Osteoklasty – mnohjaderné buňky, odbourávající kostní tkáň, vznikají fúzí monocytů. Jsou schopny aktivního pohybu, ale většinou leží v dutinkách (Howshipovy lakuny)

Kostní matrix – kolagen typu I a amorfni základní hmota, na organickou složku je vázána anorganická složka = hydroxyapatit, fosforečnan vápenatý, uhličitany, citráty, stopové prvky a dokonce i amorfni vápník, rovněž se v kostní tkáni ukládají těžké kovy. Organické ionty jsou podle potřeby ukládány či uvolňovány, tím se kostní tkáň podílí na homeostáze iontového složení a pH tělesných tekutin.

Typy kostní tkáně:

1. plst'ovitá kostní tkáň

- přechodný typ kosti, v dospělosti jen v místech úponů, zubní cement a při hojení fraktur
- méně mechanicky odolná, kolagenní vlákna jsou uspořádána nepravidelně, obsahuje méně minerálů

2. lamelární kostní tkáň

- matrix je uspořádána do lamel, kolagenní vlákna uspořádána převážně rovnoběžně, osteocyty uloženy mezi lamelami
- vyskytuje se ve dvou formách hutná kost = kompakta a trámčitá kost = spongióza

a) *substantia ossium compacta*

- tvořena třemi typy lamel:

1. soustředné lamely obklopující cévní kanálek a vytvářejí vrstevnaté sloupečky (osteony – Haversův systém), od okolí jsou odděleny cementovou linií, centrální kanálek (*canalis centralis*) je vystlán osteoblasty
2. intersticiální lamely – zbytky starších osteonů
3. plášťové lamely – kryjí endostální a periostální povrch kosti

b) *substantia ossium spongiosa*

- je tvořena mnohonásobně propojenými trámečky a ploténkami, povrch kryje endost, mezi trámečky a ploténkami se nachází kostní dřev, osteony až na největší trámce vytvořeny nejsou
- s postupným zatěžováním kosti se trámečky přestavují do směru největšího zatížení = architektonika kosti, tím je docíleno ideálního rozložení působících sil s minimem stavebního materiálu

Tvar kostí

1. kosti dlouhé, *ossa longa*

- mají dlouhé tělo diafýzy, *diaphysis*, která je tvořena pláštěm kompakty, uvnitř je dřevná dutina, *cavitas medullaris*, obsahující kostní dřev, *medulla ossium*, koncové oddíly dlouhé kosti se nazývají epifýzy, *epiphyses* – mají na povrchu kompakty a uvnitř trámce spongiózy
- během růstu je diafýza oddělena od epifýz růstovou ploténkou
- rozšířený úsek diafýzy sousedící s ploténkou se nazývá metafýza, *metaphysis*

2. kosti krátké, *ossa brevia*

- na povrchu tenká vrstva kompakty, která kryje spongiózu a kostní dřev
- např. těla obratlů, kosti zápěstí, zánartní

3. kosti ploché, *ossa plana*

- kosti klenby lebni, kost hrudní, kost pánevní
- dvě ploténky kompakty, mezi kterými se nachází spongióza (u kostí klenby lebni se označuje *diploe*)

4. kosti nepravidelného tvaru, *ossa irregularia*

- kost klínová, horní čelist
- na povrchu tenká kompakta obklopující spongiózu a kostní dřev

5. kosti pneumatizované, *ossa pneumatica*

- vyvíjejí se postnatálně vchlípnutím sliznice do základu kosti
- paranasální dutiny (výchlipky sliznice dutiny nosní) a dutinky v *processus mastoideus* (výchlipka sliznice středního ucha)

6. kosti sezamské, *ossa sesamoidea*

- zvláštní typ krátkých kostí uložené ve svalových úponech a šlachách
- patella, os pisiforme

Periost

- tuhá pevná vazivová vrstva na povrchu kosti s výjimkou kloubních konců
- dvě vrstvy:

a) zevní – svazky kolagenních vláken a fibroblasty, vlákna se proplétají s vlákny úponů šlach, které pronikají jako Sharpeyova vlákna až do kostní tkáně a představují ukotvení šlachy

b) vnitřní – zárodečná (germinativní), málo vláken a fibroblastů, bohatá na osteoprogenitorové buňky – z nich vznikají osteoblasty a ty odpovídají za **růst kostí apozicí** do šířky, obsahuje také krevní a lymfatické cévy a nervy (bolesti kostí po úrazech, zlomeninách, při zánětech a také metastázách zhoubných nádorů)

Endost

- tenká vazivová vrstva, podobná stavbou i funkcí periostu, kryje vnitřní povrch kosti

Periost i endost jsou zdrojem osteoblastů a mají velký význam při hojení zlomenin.

Osifikace a růst kostí

Během osifikace se vytváří nejprve tzv. **pseudohaverská kost** (neuspořádaná vlákna, jen málo zřetelné lamely), následuje vývoj kosti lamelárního typu = vývoj Haversova systému. Vývoj a růst kosti je výsledkem protichůdných dějů konstrukce tj. **novotvorby** a destrukce tj. **odbourávání** kostní tkáně, které probíhají po celý život a za fyziologických stavů jsou oba procesy v rovnováze. Existují **dva typy osifikace** – z vaziva (desmogenní, endesmální, intramembranózní) a z chrupavky (enchondrální, chondrogenní)

1. Desmogenní osifikace

- **osifikace přímo z vazivového základu kosti**

- takto osifikují ploché kosti lebky, kosti obličeje a klavikula

Z mezenchymálních buněk (**mezenchym** = embryonální pojivová tkáň) se diferencují osteoblasty a začínají produkovat matrix a vláknitou komponentu. K zahájení osteogeneze dochází v okamžiku, kdy se kolem cév objeví zvápenatělá matrix – **fyziologická kalcifikace vaziva!** Na povrch cév nasednou čepičky diferencovaných osteoblastů a zahájí se proces, kdy na kolagenní fibrily jsou ukládány anorganické krystalky hydroxyapatitu, výsledkem je **kostěná plotna**. Následuje **osteoklastická resorpce** střední vrstvy, která je nakonec nahrazena spongiózou. Povrchové vrstvy vaziva, které nepodléhají osifikaci jsou základem periostu, endost se diferencuje později v souvislosti s formováním spongiózy činností fibroblastů, které diferencovaly s mezenchymálních progenitorů.

Zjednodušeně:

- diferenciace osteoblastů ve vazivovém základu kosti
- osteoblasty produkují a obklopují se nekalcifikovaným osteoidem
- kolem cév vznikají kalcifikované ostrůvky osteoidu
- postupně vzniká kostěná plotna
- resorpce primitivní kostní tkáně, přestavba a novotvorba vedou ke vzniku definitivní kosti

2. Chondrogenní osifikace

U tohoto typu osifikace **osteoblasty ukládají kostní matrix opět do zvápenatělé matrix vytvořené hyalinní chrupavky**.

Dlouhé kosti mají **3 základní osifikační centra**, popř. další vedlejší v místech úponů, epifýzy osifikují až po narození. Na rozhraní mezi diafýzou a epifýzami přetrvává během období růstu tzv. **růstová chrupavka**.

Na počátku osifikace je chrupavčitý model kosti. Osifikace začíná již prenatálně uprostřed diafýzy chrupavčitého základu kosti – vzniká **vaskularizovaný prstenec** a perichondrium tím získává osteogenní vlastnosti. Diferencují se osteoblasty a kostní tkáň je ukládána mezi perichondrium a hyalinní chrupavku. Dochází k uzavření do té doby chrupavčité diafýzy tzv. **(periostální) kostní manžetou**. V chrupavce probíhají morfologické změny – buňky hypertrofují (zvětšují se), matrix je stále více mineralizována a vzniká 1. osifikační centrum. Do osifikačního centra pronikají cévy nesoucí na povrchu osteoprogenitorní buňky, ty mimo

jiné odbourávají chrupavku, **chondroklasty**, a resorbují osifikační centrum, **osteoklasty**, čímž vzniká primární prostorná dřevná dutina.

Cévy prorůstají směrem k epifýzám. Na svém povrchu nesou osteoprogenitorní buňky a na vrcholech čepičky chondroblastů, které rozrušují mineralizovanou chrupavku. Osteoblasty produkují osteoid na povrch tzv. **směrových trámů**, což jsou zbytky kalcifikované neresorbované chrupavky, podél kterých prorůstají cévy.

Epifýzy osifikují až po narození, osifikační centrum vzniká uprostřed a šíří se radiálně (zóny osifikace a průběh je obdobný jako v případě osifikace diafýzy), chrupavka se zachovává v místě kloubní a růstové chrupavky, která po ukončení růstu zaniká a zachovává se pouze růstová štěrbina nápadná na rtg snímcích patrná po celý život jako pilovitá kontura.

Chondrogenní osifikace stručně:

1. základem kosti je model tvořený hyalinní chrupavkou tvarově velmi podobný budoucí kosti
2. uprostřed diafýzy se objeví bohatě cévně zásobený prstenec a tím perichondrium získává osteogenní vlastnosti
3. osteoblasty produkují kostní tkáň, kterou ukládají mezi chrupavku a perichondrium, které se tím mění na periostium
4. vzniká kostní manžeta, probíhá kalcifikace, eroze (nahlodávání) a osifikace chrupavky, tím vzniká osifikační centrum a následně jeho resorpce primitivní dřevná dutina
5. do centra proniknou cévy nesoucí buňky, které rozrušují chrupavku a produkují kostní tkáň
6. cévy prorůstají k epifýzám, buňky pokračují v rozrušování chrupavky a produkci kostní tkáně, zachovávají se **zbytky chrupavky, které směřují nové prorůstající cévy k epifýzám**
7. postnatálně osifikují epifýzy, osifikační centrum vzniká podobně, ale uprostřed základu epifýzy, nikoliv pod perichondriem a osifikace se šíří radiálně tzn. k povrchu epifýzy!

Zóny osifikace (důležité alespoň vyjmenovat):

1. zóna klidu

- hyalinní chrupavka s klidovými ale mitoticky aktivními chondrocyty

2. zóna rostoucí chrupavky

- mitoticky velmi aktivní zóna, chondrocyty uspořádány do izogenetických skupin

3. zóna hypertrofické chrupavky

- zvětšené buňky, není patrná mitotická aktivita

4. zóna kalcifikace

- kalcifikovaná matrix chrupavky

5. zóna resorpce

- chondroklasty odbourávají kalcifikovanou chrupavku, zbytky kalcifikované chrupavky slouží jako tzv. **směrové trámečky** pro osteoblasty a také základ, na který je ukládána kostní tkáň; nakonec jsou i chrupavčité směrové trámečky odbourány a nahrazeny kostní tkání

6. zóna osifikace

- mineralizace kostní matrix, přeměna osteoblastů na osteocyty

Růst kosti do šířky (apozice) – probíhá tzv. periostální osifikace kosti (pod periostem jsou uloženy osteoblasty viz výše), vzniká mohutný plášť primární kompakty.

!!! Epifýzy osifikují postnatálně ale jejich periostální osifikace se rozbíhá až po uzavření růstové ploténky. Embryonální a později fetální základy epifýz jsou ve srovnání s diafýzami mohutné.

Výsledkem primární osifikace je tlustý plášť s objemnou dřevnou dutinou s červenou hematopoetickou kostní dřevou a trámečky. Následuje resorpce kostní tkáně aktivitou osteoklastů, tvoří se resorpční lakuny, do kterých prorůstají nové cévy s vazivem, z kmenových buněk

vaziva se opět diferencují osteoblasty a ty kolem cév ukládají nové kostní lamely a tím se formují osteony. Zachovávají se vnější a vnitřní plášťové lamely.

Přestavba kostní tkáně probíhá po celý život, důkazem jsou intersticiální lamely Haversova systému.

Pozn. krátké kosti osifikují podobně jako epifýzy dlouhých kostí, většinou mají více osifikačních center. V minulosti se na základě posloupnosti osifikace osmi kostí zápěstí určoval tzv. kostní věk dítěte; fyziologicky by jejich osifikace měla být ukončena mezi sedmým a osmým rokem.

Kosti báze lební, které osifikují chondrogenně - z chrupavky, vznikají splnutím několika embryonálních základů a ty mají samostatná centra osifikace.

Rentgenologie

Klasická rentgenologie je **analogovou vyšetřovací a zobrazovací metodou**, která využívá rentgenové (elektromagnetické) záření. K dalším vyšetřovacím metodám tzv. digitálním se řadí počítačová tomografie, magnetická rezonance, ultrazvuková vyšetření, digitální subtrakční angiografie a digitální radiografie).

Při klasickém snímkování dochází k překrývání jednotlivých struktur a také sumaci absorpčních koeficientů, popis skiagramu (rentgenového snímku) a rozpoznání patologických nálezů proto předpokládá vynikající anatomické znalosti. Jednoduše řečeno – 3D obraz lidského těla je zachycen v podobě **negativu fotografie, který ovšem popisujeme jako POZITIV**.

Standardní je zadopřední, předozadní a boční projekce k dalším patří např. boxerské či šermířské postavení při snímkování srdce. Název projekce vychází ze směru odkud přichází centrální paprsek rentgenky – u zadopřední projekce stojí vyšetřovaná osoba k rentgence zády, obličejem je otočena k rtg kazetě, u předozadní projekce je tomu přesně naopak.

K metodám klasického rentgenování patří **skiaskopie** – prosvěcovací metoda, kdy průběh vyšetření sledujeme na obrazovce a obrazy snímujeme anebo natáčíme; a **skiografie** – pořizování snímků v přesně definovaných projekcích.

Zobrazit struktury lidského těla rentgenovými paprsky lze tehdy, když se struktury od sebe liší **absorpčním koeficientem (AK)**, pokud tomu tak není např. snímkování břicha podávají se látky, které mění AK – pozitivně (síran barnatý, jodované preparáty) a negativně kontrastní látky (plyny nebo tekutiny). Pozitivní kontrastní látky způsobují **zastínění či stíny** (vysoký AK) naopak negativní kontrastní látky způsobují **projasnění**. Rovněž je možné použít oba typy kontrastních látek najednou – bikontrastní vyšetření.

Při popisu snímku je nutné si uvědomit, že před námi leží fotografický negativ většinou umístěný v negatoskopu, ale snímek popisujeme „naopak“, jako by se jednalo o vyvolanou fotografii – pozitiv, proto světlejší místa označujeme jako stíny a tmavší jako projasnění.

Příklad: Kostí lebky a jejich části z kompakty – pyramida kosti spánkové dávají intenzivní stíny naopak diploe plochých kostí klenby lební jeví stíny méně intenzivní, pneumatické dutiny vyplněné vzduchem dávají naopak projasnění. Také platí, že struktury ležící blíže k filmu dávají stíny kontrastnější než struktury od filmu vzdálenější, což je způsobeno menším rozptylem rtg záření.

