

Člověk, stejně jako ostatní živočichové má tělo utvořené z buněk. Tyto jsou tedy základními stavebními jednotkami organismu. Buňky se seskupují do tkání a ze tkání se potom vytvářejí orgány a orgánové soustavy. My se v biologii člověka nebudeme zabývat podrobně histologickým rozбором tkání jednotlivých orgánových soustav lidského těla, která zde budeme postupně probírat, protože nebudeme dublovat předmět obecná biologie, ale krátce se o jejich stavbě pro zopakování přece jen zmíníme.

### Soustava kosterní

Kosterní soustava je tvořena tkání pojivovou.

Pojivové tkáně jsou jednak vazivo a jednak chrupavka a kostní tkáň. Celkovou charakteristikou pojiv je, že se skládají z buněk, které na sebe nepřiléhají, mezi nimi vznikají mezibuněčné prostory vyplněné mezibuněčnou hmotou. Právě vlastnosti mezibuněčné hmoty určují vlastnosti celé pojivové tkáně. Pojivové tkáně se vyvíjejí z mezenchymálního základu tvořeného sítí buněk.

Vazivo je měkké poddajné a je základem pro vývoj kostí.

existuje ho několik typů:

- vazivo řídké - toto vyplňuje mezery mezi jinými tkáněmi a orgány. Nachází se ve svalech, obklopuje orgány, které při své činnosti musí měnit svůj objem (jícen a cévy) a tvoří podkožní vazivo. Nahrazuje poškozené tkáně v těle. Některé jeho buňky mají schopnost fagocytózy a podílejí se na obraně organismu.
- vazivo tuhé obsahuje kolagenní vlákna, která dobře odolávají namáhání, zejména tahu a tlaku. Proto se vyskytuje v těch částech těla, které jsou silně namáhané jako šlachy a vazy a dále se nachází ve škáře.
- elastické vazivo je pružné, obsahuje elastická vlákna a tvoří vazy v těle.
- síťovité vazivo obsahuje méně mezibuněčné hmoty a vytváří v těle prostorové sítě jako třeba mízní uzliny, slezinu a červenou kostní dřev.
- tukové vazivo převažují tukové buňky vyplněné tukem, je zde též málo mezibuněčné hmoty, která buňky po skupinách spojuje v lalůčky. Tukové vazivo tvoří podkožní tuk a chrání některé orgány jako např. ledviny.

Chrupavka je pružná a pevná. Je složena z buněk a mezibuněčné hmoty, která obsahuje fibrily. Nemá regenerační schopnost, tudíž se neobnovuje.

- chrupavka sklovitá je kompaktní a bílá, dvě až tři buňky jsou obklopeny pouzdry. Je základem většiny kostí v embryonálním vývoji. U dospělých jsou z ní vytvořeny chrupavky v kloubech, chrupavčité napojení žeber na sternum, nosní chrupavku, chrupavky vyztužující hrtan, průdušnici, a průdušky.

- chrupavka vazivová má vláknitou strukturu, je velmi pevná, z ní je tvořena spona stydká a meziobratlové ploténky.

- chrupavka elastická obsahuje elastická vlákna, je velice pružná z ní jsou vytvořeny ušní boltce a příklopka hrtanová.

Kostní tkáň je specializovaným typem opěrného vaziva s mineralizovanou mezibuněčnou hmotou.

Kostní tkáň je nejtvrďší z pojivových tkání. Je složena z drobných, vzájemně spojených kostních buněk (osteoblastů, osteoklastů a osteocytů), mezibuněčnou hmotou kostní tkáně tvoří kolagenová vlákna spojená tmelem tzv. osseinem. Tato vlákna dávají kosti pružnost, její tvrdost způsobují minerální látky uložené v mezibuněčné hmotě (jedná se uhličitan a fosforečnan vápenatý).

### Osteoblasty

Jsou buňky které mají přibližně kubický tvar, mají hodně dlouhých výběžků které jsou v kontaktu s dalšími osteoblasty. Prostřednictvím těchto spojů probíhá látková výměna.

Osteoblasty jsou bohatě vybaveny organelami, což svědčí o jejich vysoké schopnosti tvořit bílkoviny. Svou organelovou výbavu ale jak stárnou redukují a mění se na protáhlé vřetenovité buňky osteocyty. V kosti se tedy najednou nacházejí dva typy buněk osteoblasty i osteocyty. Osteoblasty nacházejí v kosti především v místech kde dochází k přestavbě kosti, růstu kosti nebo k reparačním procesům. Proto osteoblasty nejsou v dospělosti u člověka v kostech rozloženy rovnoměrně, ale asi mezi 20. a 45. rokem života se vyskytují jen asi ve 2 – 8% kostní tkáni.

Osteoblasty produkují kolagenní vlákna a amorfní proteoglykanovou mezibuněčnou hmotu. O vysoké metabolické aktivitě osteoblastů svědčí i to, že osteoblast vyprodukuje 500 mikrogramů mezibuněčné hmoty denně, to je třikrát více než je jeho hmotnost. Na mineralizaci kostní tkáni se osteoblasty podílejí tvorbou enzymu alkalická fosfatáza. Osteoblasty jsou polarizované buňky a proto kostní hmota je produkována jen stranou přivrácenou ke kostní tkáni.

#### Osteoklasty

Jsou veliké buňky s mnoha jádry. Jejich úkolem je rozpouštět a odbourávat kostní tkáň. Nacházejí se tam, kde dochází k přestavbě kosti, která je doprovázena resorpcí kostní hmoty. Osteoklasty produkují kyselou fosfatázu a kolagenázu. Tyto enzymy uvolňují kostní minerály a rozrušují strukturu kostní tkáni. Vznikají spojováním krevních monocytů (krevní buňky). Osteoklasty jsou velice důležité pro přestavbu kosti. Uvolňují prostor pro nově vytvořenou kostní tkáň a napomáhají její remodelaci. Účastní se růstových procesů. Jakmile kost rozpustí, odbourají kostní buňky a vápník pomocí krevního řečiště. Asi po 3 týdnech zmizí. Tato destrukce provedená osteoklasty je následně opravena osteoblasty.

#### Osteocyty

Osteocyty vznikají přeměnou osteoblastů. Účastní se uvolňování minerálů z kostní tkáni. Jsou součástí regulačních mechanismů, které udržují stálou hladinu vápníku v tělních tekutinách – především v krevní plasmě. Látková výměna v kosti je ztížena její mineralizací. Dochází k ní prostřednictvím výběžků kostních buněk. Látková výměna může probíhat až do vzdálenosti 15 buněk. Osteocyty žijí asi 20 let. Když se rozpadnou, tak již nejsou nahrazeny novými buňkami, lakuny, ve kterých osteocyty leží, zůstávají prázdné.

#### Mezibuněčná hmota kosti

Mezibuněčná hmota kosti je tvořena svazky kolagenních vláken (kolagen I), které jsou tmeleny základní amorfní mezibuněčnou hmotou. Je to proteinglykanová hmota, která obsahuje glykoproteiny jako sialoprotein a osteokalcin, které silně vážou vápník. Základní matrix kosti je proto silně mineralizována.

Jinak minerální složka kosti může dosáhnout až 65% hmotnosti kosti. Je tvořena mikroskopickými krystalky fosforečnanu vápenatého, který je prostorově uspořádaný podobně jako hydroxyapatit

Krystalové jehlice mineralizované složky kostní tkáni tvoří submikroskopické ploténky které jsou vázány na kolagenní vlákna v místech mezi jednotlivými tropokolagenovými molekulami. Kolem jehlic je vodní pouzdro a v tomto pouzdře dochází k výměně mezi krystalky a tělními tekutinami. Obsah minerálů v kosti je různý a to i v rámci stavby jedné kosti. Obecně můžeme říci, že kostní trámce jsou mineralizovány méně a kostní lamely naopak více. Proto kosti, v nichž převažuje trámčina mají nižší obsah minerálních látek. Organické hmoty především se jedná o kolagenní vlákna je v kosti ale také dostatek, takže odvápněná kost si uchová svůj tvar.

#### Biochemické složení kostní tkáni

Minerální složka 60%

Organické látky 24%

Voda 12%  
Tuky 4%

### Mikroskopická stavba kosti

Mikroskopická stavba kosti vychází z prostorového uspořádání kostní tkáně. Rozlišujeme

- vrstevnatou kost lamelární, také ji nazýváme sekundární nebo zralá kost
- vláknitou kost, fibrilární nebo také primární, nezralou.

### Lamelární kost

Je základem převážné

Je základem převážné části kostí lidského skeletu. Nejvíce se vyskytuje v kostech dlouhých a plochých. Lamelární kostní tkáň rozlišujeme na makroskopickém řezu na kost houbovitou (spongiózní) a kost hutnou (kompaktní, kortikální), plášťovou vrstvu kosti.

Lidská kostra se z 80% skládá z kompaktní kostní tkáně. Tato je velice pevná a odolná při mechanickém namáhání. Zbýlých 20% lidského skeletu tvoří trámčina, kde dochází převážně k látkové výměně a remodelaci kosti.

### Kompaktní kostní tkáň

Kompakta je tvořena buď koncentricky uspořádanými trubicovitými lamelami nebo destičkovými lamelami. Komplex až 20 soustředných lamel s centrálním Haversovým kanálkem uprostřed se nazývá osteon nebo taky Haversův systém.

Právě osteon je základní funkční jednotkou kompaktní kosti.

Jeho stěny tvoří 6 – 15 trubicovitých lamel. V jejich stěnách se nacházejí komůrky (lakuny) ve kterých se nacházejí bohatě rozvětvené osteoblasty, později osteocyty. Osteony mohou být uloženy rovnoběžně s podélnou osou kosti nebo probíhají ve spirálách a také mohou být ohnuty do oblouku. Na orientaci osteonů je závislá také pevnost kostí. U osteonů, které probíhají rovnoběžně s podélnou osou kosti má jejich odklon od této osy např. o 10 – 13 stupňů za následek snížení pevnosti kosti v této oblasti o 20 – 25%.

Středem osteonu probíhá centrální Haversův kanálek, vyplněný řídkým vazivem, různými typy pojivových buněk a jednou až dvěma krevními kapilárami, doprovázenými nervovými vlákny, které inervují kapilární stěnu. Haversovy kanálky jsou mezi sebou spojeny příčnými a šikmými Volkmannovými kanálky, takže je mezi sebou spojen krevní oběh všech osteonů, s periostem a kostní dřeví. Některé osteony mohou být na koncích zaslepené.

Trubicovité lamely, které tvoří osteon se skládají z svazků kolagenních vláken zalitých do amorfní mezibuněčné hmoty a z osteocytů (osteoblastů).

Svazky kolagenních vláken probíhají v každé lamele přibližně rovnoběžně nebo spirálovitě. Každá lamela má svůj vlastní průběh vláken takže celý osteon je tvořen komplexem křížících se kolagenních vláken. Pokud jsou osteony zatíženy tahem jako je tomu např. v místech svalových úponů, probíhají vlákna ve strmých spirálách. Pokud jsou osteony v místech kde na kost působí spíše tlak, jsou spirály mnohem méně strmé. Podle průběhu vláken lze rozlišit tři typy osteonů: spirálovité, longitudinální (podélné) a alternující (smíšené). V osteonech jak se ukazuje nejsou jen lamely s různou orientací vláken, ale také s různým stupněm mineralizace. Právě vlastnosti lamel osteonů tvoří základ pevnosti kompakty v tlaku tahu i ohybu.

Mezi trubicovými osteony se nacházejí také destičkové osteony, které mají podobnou stavbu. Na zevním a vnitřním povrchu kompaktní kosti se tvoří koncentrické vrstvy, které nazýváme plášťové lamely. Zevní lamely jsou uloženy pod okosticí a vnitřní lamely obklopují dřevňové dutiny.

Ve stěnách lamel se nacházejí jamky – lakuny. V nich jsou uloženy osteoblasty (osteocyty). Některé z osteoblastů po ukončení svého života (přestanou produkovat mezibuněčnou hmotu)

se nemění v osteocyty, ale zanikají a lakuny pak zůstávají prázdné. Ve dnech lakun se nacházejí jemné kanálky canaliculi ossium do kterých vstupují výběžky osteoblastů a tak mohou být kostní buňky vyživovány a komunikovat s ostatními kostními buňkami. Většina kostních buněk je v neustálém kontaktu s ostatními kostními buňkami. Pokud nejsou, tak tento kontakt nahrazuje cirkulující tkáňový mok, který se nachází ve štěrbinách mezi povrchem osteoblastů a dnem lakuny. Některé z kanálků jsou ohnuté a opět se vracejí do lakuny odkud vyšly. Tyto pak nekomunikují s ostatními buňkami. Látková výměna v osteonech probíhá následujícím způsobem kapilára v Haversově kanálku – kostní kanálky – osteocyty – mezibuněčná kostní hmota. Touto cestou dochází k mineralizaci kostní tkáně a k transportu vápenatých a hořečnatých iontů z kompakty do krevního oběhu. Mezibuněčná tekutina cirkulující lakunami a kostními kanálky se dostává do kontaktu s anorganickými látkami v kosti (hydroxyapatit)  $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$ .

V kosti člověka je uloženo asi 99% veškerého vápníku v těle a může být odtud odčerpán a tímto způsobem se udržuje jeho stálá hladina v krevní plasmě a tělních tekutinách. Protože vápník je velice důležitý pro některé fyziologické pochody v těle, a pokud ho člověk nedostává dostatek v potravě, doplňuje si ho tělo rychlým nebo pomalým uvolněním z kostní tkáně. Rychlé uvolnění je fyzikální proces, při kterém se dostávají ionty vápníku do krve a do tkáňového moku. Při rychlém uvolňování vápníku se tento uvolňuje především ze spongiózy a to na místech, kde je právě kost remodelována. Starší lamely a ty které jsou vysoce kalcifikované se uvolňování Ca vůbec neúčastní. Pomalé uvolňování Ca se děje prostřednictvím osteoblastů.

Nedostatek vápníku vyvolává u dětí křivici (deformity skeletu, zpomalení růstu) u dospělých vyvolává dekalifikaci a osteomalacii. Dekalcifikované kosti se pak bortí a nastává osteoporóza.

### Spongióza

Spongióza se nachází v lamelární kosti tam, kde není vytvořena dřevná dutina, to znamená že se nachází např. u dlouhých kostí v epifýzách a pod pláštěvovou vrstvou kompakty.

Je složena z trámců a plotének, které tvoří struktury. Prostorové uspořádání těchto trámců a plotének je závislé na působení mechanických sil na kost. Stavba plotének a trámců je stejná jako stavba lamel osteonů. U některých silnějších trámců jsou sformovány i Haversovy systémy (to znamená, že tyto trámce mají koncentricky uspořádané lamely na povrchu se nacházejí lakuny s osteoblasty).

Směr a uspořádání trámců odpovídá trajektoriím spojujícím místa nejvyššího zatížení kosti. Uspořádání trámců se nazývá architektonika kosti. Toto uspořádání se může v důsledku změny působení tlaku a tahu na kost (to znamená, pokud člověk změní činnost, nebo se zraní a končetinu jinak zatěžuje než dříve, dojde k přestavbě architektoniky kosti) měnit. Tudíž je v každé kosti toto uspořádání jiné.

Existuje tzv. Wolffův zákon, který říká, že zevní tvar a struktura kosti jsou ve vzájemné harmonii. Při jakékoli změně dochází k přestavbě kosti tak, aby byla opět nastolena původní harmonie.

Jak jsme se již zmínili výběžky osteoblastů jsou v neustálém kontaktu s tkáňovým mokem. Jak ale bylo zjištěno, tlak tkáňového moku se mění v závislosti na zatížení kosti. Tyto změny pak ovlivňují metabolickou aktivitu buněk, které produkují mezibuněčnou hmotu. Proto se předpokládá, že právě změny tlaku tkáňového moku v lakunách dávají impuls k hojení fraktur, přestavbě kosti a podobně.

Spongióza není jen souborem trámců a lamel, ale prostory mezi nimi jsou vyplněny tukovými buňkami, buňkami kostní dřevě, cévami a nervy a tkáňovým mokem. Spongióza je hydraulickým systémem kostí. Tukové buňky jsou připojeny především k povrchu trámců. Celý tento systém také chrání kostní trámce. Hydraulické vlastnosti spongiózy se projevují při

jakémkoli zatížení pohybového systému zvýšením hydrostatického tlaku v dutinách spongiózy.

### Fibrilární kost

Fibrilární kost je vývojově primitivnější typ kosti. Tato fibrilární kost tvoří většinu částí skeletů drobných savců. U člověka je první kostí která vzniká primární osifikací chrupavčitého skeletu plodu a dítěte v postnatálním vývoji. V dospělosti se v lidském skeletu vláknitá kost vyskytuje jen málo, v podobě některých hrbolků, výběžků a drsnatin tam, kde se ke kosti upínají svalové úpony.

Je složena z plsti kolagenních vláken. Mezi vlákny, které se mezi sebou proplétají se nacházejí lakuny, ve kterých jsou uloženy kostní buňky osteocyty nebo osteoblasty. Tato kost nemá pevnost lamelárních kostí. Vlákna lamelární kosti jsou orientována ve směru, v němž je hrbolek zatěžován a jen v tomto směru mají mechanickou pevnost.

### Obecné principy stavby kostry

Ve fylogenezi je prvním pokusem o tvorbu kostry vnější skelet beobratlých – což jsou ulity, krunýře, desky . Tyto schránky však omezují rozsah pohybu a komplikují nebo dokonce limitují růst organismu.

Teprve vznik vnitřního skeletu vyřešil problém opory, členění těla a připojení kostry končetin. Nejdokonalejší kostru mají obratlovci. U nich se vytváří chrupavčitý a kostěný skelet. Chrupavčitou kostru nacházíme u kruhoústých a žraloků. U vyšších obratlovců se sice také tvoří v průběhu vývoje chrupavčitá kostra, ale je dále nahrazena kostní tkání.

Kostra člověka má několik důležitých funkcí v organismu:

Je to funkce 1. oporná, to znamená, že se na ni upínají svaly. Dále je to funkce 2. ochranná tuto funkci zastávají jen některé kosti jako např. mozek, orgány pánevní, hrudní. Všechny tyto jsou uzavřeny ve schránce (lebce, hrudním koši, mezi kostmi pánevními), podobně je tomu i s obratli, které tvoří trubici, jíž prochází páteř (páteřní kanál). Dále dlouhé kosti plní funkci 3. pák. Jsou to ramena pák, s opěrným boce v ose kloubu. Rameno síly pak tvoří vzdálenost úponu svalu od osy kloubu. Na rameno síly pak působí např. hmotnost končetiny. 4. funkce depozita minerálů v organismu. Tyto se nacházejí v mezibuněčné hmotě, v níž je především vázán fosforečnan vápenatý ( $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot (\text{OH})_2$ ) a uhličitan vápenatý ( $\text{CaCO}_3$ ). Minerální soli tvoří 67% hmotnosti každé kosti. Kolagen tvoří zbylých 37%. V kosti probíhá poměrně silná látková výměna a ona se tak podílí na udržení homeostázy organismu. 5. kost je krvetvorným orgánem. V červené kostní dřeni se netvoří jen krevní buňky, ale také kmenové buňky osteoblastů a osteoklasty. 6. kostní tkáň je také energetickým zdrojem organismu. V dutinách dlouhých kostí se v průběhu stárnutí organismu ukládá tuk, který tvoří tzv. žlutou kostní dřev a ta je významným zdrojem chemické energie pro tělo.

### Typy kostí

Kosti jsou tvrdé orgány lidského těla a v celku tvoří kostru – skelet. Kostra má několik funkcí – je pevnou oporou celého těla, chrání měkké orgány (vytváří na některých místech tzv. ochranná pouzdra (např. lebka) a dlouhé kosti končetin působí při pohybu jako páky. Je také místem kde se ukládají minerály, k čemuž slouží především mezibuněčná hmota kostí (především fosforečnan vápenatý ( $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ) a uhličitan vápenatý  $\text{CaCO}_3$ ). Kosti jsou také krvetvornými orgány. Poslední funkcí kostry je také být energetickým zdrojem. Tuto funkci v kostře plní žlutá kostní dřev, což je vlastně uložená tuková tkáň v dutinách kostí. Aby mohly vykonávat své funkce, jsou kosti různě utvářeny. Tvar kostí je výsledkem velmi dlouhého fylogenetického vývoje. Ve čtvrtém ročníku budete studovat paleoantropologii, vědu o vývoji člověka a tam se budete učit rozdíly v anatomii současného člověka a jeho

různých předků. A tak poznáte, že naše kostra prošla skutečně dlouhou proměnou. To znamená, že tvar našich kostí je geneticky daný. Přesto jej lze do jisté míry ovlivnit. Jedná se především o styl života a činnost, kterou člověk za svého života vykonává. Síla svalstva může kost velmi silně remodelovat. Ale nemůže změnit její tvar.

Podle tvaru rozlišujeme několik základních typů kostí:

- a) kosti dlouhé (*ossa longa*) nebo také rourovité. Jejich délka převládá nad ostatními rozměry. Řadíme sem femur, tibií, fibulu, humerus, ulnu, radius, claviculu, a žebra, metacarpý a metatarsi. Na dlouhé kosti rozlišujeme především tři hlavní části: střední část tělo, tělo corpus nebo diaphysis. Uvnitř se nachází dřevná dutina (*cavitas medullaris*) proximální a distální konec - epiphysis. Oba konce jsou vyplněny trémčitou kostí. Kompakta je u nich nejtlustší ve středě diafýzy a v tomto místě také nejlépe odolává torzi. – ohnutí kosti. Horizontálně působícímu tlaku není diafýza odolná, chybí jí spongiózní vrstva. Pro kosti platí modifikovaný Rouxův zákon, který říká, že minimální pevnosti je dosaženo minimální spotřebou materiálu. Dlouhá kost je velmi pevná a její pevnost lze srovnat s pevností mosazi, litiny nebo kujného železa (100 – 200 MPa). Diafýza dlouhých kostí snáší velké zatížení působící ve směru její osy humerus unese 600 – 760 kg, tibiie dokonce 1350 kg. Pevnost v příčném směru je podstatně menší a v krutu má kompakta dlouhých kostí minimální pevnost u fibuly je to asi jen 6 kg. V tahu jsou kosti odolnější než v tlaku.
- b) kosti krátké (*ossa brevia*) mají všechny tři rozměry (délku, šířku i výšku) malé a přibližně stejně velké. Patří sem kosti jako obratle, kosti karpální, tarzální. Jejich tvar se blíží válci, hranolu nebo krychli. Stavbou se podobají epifýzám dlouhých kostí, na povrchu mají tenkou vrstvičku kompakty. Dřevná dutina se u krátkých kostí netvoří.
- c) kosti ploché (*ossa plana*). Jejich tloušťka je malá, zato délka a šířka jsou větší. Vzhledem připomínají desky nebo ploténky (např. klenba lební, lopatka, pánevní kost. Hrudní kost). Mezi deskami kompaktní kosti se nachází trémčina s velkými prostory mezi trémci, kde se až do pozdního věku nachází červená kostní dřev. Podílejí se na stavbě pletenců obou končetin a lebeční klenby.
- d) kosti, které nelze zařadit do žádné z výše uvedených kategorií označujeme jako kosti nepravidelného tvaru (*ossa irregularia*). Sem řadíme některé kosti obličejové části lebky
- e) kosti vzdušné (*ossa pneumatica*) obsahují dutinky vystlané sliznicí a vyplněné za normálních okolností vzduchem. Patří sem např. kosti lebeční, které obsahují dutiny (*sinusy*) např. kost čelní, čichová horní čelist.

### Kostní dřev

Dřevné dutiny diafýz, prostírky spongiózy a širší Haversovy kanálky vyplňuje kostní dřev – medulla ossium. Je to rosolovitá měkká tkáň jejíž vzhled a stavba se mění v průběhu života. V mladším věku převažuje v těle člověka červená kostní dřev a jak stárne je nahrazována žlutou kostní dřeví a nakonec šedou kostní dřeví.

### Červená kostní dřev

Skládá se ze sítí retikulárních vláken, prostoupených širokými krevními vlásčnicemi, do kterých tady vstupují krevní buňky a krevní destičky. V okách těchto sítí jsou uloženy výchozí buňky pro tvorbu všech základních typů červených i bílých krvinek, krevních destiček a kostních buněk. Nacházejí se zde i krevní buňky v různých fázích zralosti. Červená

kostní dřev je krvetvorným orgánem a po narození jediným místem kde krvinky v těle vznikají. V průběhu vývoje lidského organismu červené kostní dřev ubývá a ve věku kolem 20 let už krvetvorba probíhá jen v hrudní kosti a ve spongióze epifýz dlouhých kostí a v obratlových tělech, kůstkách zápěstních a zánártních, také v žebrech, kde probíhá i ve vysokém věku, dále také probíhá v plochých kostech lebky, pánve a v drsnatinách a výběžcích dlouhých kostí.

#### Žlutá kostní dřev

Postupně nahrazuje červenou kostní dřev. Síť retikulárních vláken ve dřeví jsou vyplňovány tukovými buňkami, které nakonec převládají. Nastává proměna kostní dřev v tukové vazivo. Žlutá kostní dřev má v těle velký objem. Je bohatě cévně zásobená a představuje pro tělo energetickou rezervu. Ve vysokém věku ji nahrazuje tzv. šedá kostní dřev. Je to vazivo, které v kostech zůstává po ztrátě tukových buněk.

#### Povrch kostí

Může být hladký nebo různým způsobem formován. Pro začátek úponů svalů, šlach a vazů mají kosti výběžky – processus, výrůstky apophysis, hrboly – tubera. Hrbolky – tubercula, trny – spinae, hrany cristae a drsnatiny – tuberositates. Naléháním sousedních kostí nebo šlach, cév nebo nervů vznukají na kostech prohlubně – jámy – fossae, jamky fossulae, foveolae, otisky – impressiones, rýhy – sulci, zářezy – incisurae. Na povrchu kosti také nacházíme styčné plošky – facies articulares.

Právě všechny výše zmiňované útvary podléhají velice značné variabilitě. Záleží na síle kosterního svalstva a průběhu cév a vazů.

#### Růst a vývoj

Většina kostí skeletu člověka se v prenatálním vývoji zakládá z chrupavčitého základu. Pouze kosti lebeční a část kosti klíční se zakládá z vaziva. Později je chrupavka nahrazena kostní tkání a to prostřednictvím kostitvorných buněk - osteoblastů a dochází ke kostnatění - osifikaci.

Tvoří –li se kostní tkáň z vazivového základu kosti, jedná se o tzv. intramembranózní – desmogenní osifikaci. Pokud kost vzniká z chrupavčitého základu, jedná se o enchondrální osifikaci.

#### Desmogenní osifikace

Začíná z kondenzátu mezenchymových buněk, které se na začátku osifikačního procesu diferencují na buňky schopné produkovat kostní hmotu, to znamená na osteoblasty.

Mezenchymový kondenzát už má přibližný tvar vznikající kosti.

Hmota, kterou osteoblasty vytvoří postupně klacifikuje a osteoblasty se postupně mění na osteocyty. Zvětšují se ostrůvky nové kostní tkáně a ty pak splývají ve větší celky. Tak vzniká základ trámčité kosti.

Mezenchymové buňky, které zůstávají mezi trámci a nevznikají z nich osteoblasty ani osteoklasty dávají vznik buňkám kostní dřev. Z mezenchymálních buněk na povrchu kalcifikovaného základu kosti se vyvíjí okostice.

Desmogenní osifikací vznikají především ploché a miskovité kosti, které tvoří lebeční klenbu – kost temenní, část kosti čelní, spánkové a týlní, dolní čelist a klíční kost. Osifikační proces začíná uprostřed těchto kostí a proto je střed definitivní kosti mnohem silnější než její kraje, které jsou u novorozence ještě vazivové – např. fontanely – lupínky.

## Enchondrální osifikace

Při enchondrální osifikaci kost napřed vznikne z chrupavčitého základu který je podobný tvarem definitivní kosti.

Enchondrálně osifikuje většina kostí skeletu – dlouhé kosti končetin, obratle, žebra, kosti pletenců kosti lební báze a další. Při enchondrální osifikaci krátkých kostí vzniká osifikační jádro v centru chrupavčitého základu a z tohoto centra pokračuje osifikace na periferii.

Z chrupavčitého základu vzniká fibrilární kost, pokrytá vrstvou chrupavčitých buněk.

Z okolního vaziva se tvoří okostice a po jejím vzniku teprve zmizí chrupavčitý lem z povrchu kosti. Kompakta krátkých kostí se tvoří později, z hlubokých vrstev okostice.

Při enchondrální osifikaci dlouhých kostí jde o sled změn na povrchu a v centru chrupavky, kterými vznikají napřed ložiska a potom i okrsky a úseky kostní tkáně v kosti.

Na povrchu chrupavky se v periostu aktivují vazivové buňky z nichž vznikají osteoblasty které produkují základní mezibuněčnou hmotu. Mineralizací této mezibuněčné hmoty, vzniká např. fibrilární plášťová vrstva kosti a pak z ní teprve vzniká kompakta.

Uprostřed chrupavky dochází k degeneraci a rozpadu chondrocytů a ke vrůstání krevních kapilár z povrchu kosti. Stěna vrůstajících kapilár je zdrojem osteoprogenitorových buněk jejichž přeměnou vznikají v centru chrupavky osteoblasty. Kostní tkáň nevzniká tedy přímou přeměnou chrupavky, ale vždy až po jejím úplném odbourání.

V místě kde se rozpadají buňky chrupavky vzniká dutina, tzv. primární dřevná dutina. Tato se postupně rozšiřuje až ke koncům kosti. Osteoblasty v střední části chrupavčitého základu – na povrchu budoucí dřevné dutiny dávají vznik kostním trámčům – budoucí houbovitě struktuře kosti.

Takto vzniklá kost kompaktní a spongiózní ještě není definitivní – takto vznikla teprve fibrilární kost. Je to výsledek tzv. primární osifikace. Odbourávání a tvorba kosti se několikrát opakuje až vznikne definitivní lamelární a spongiózní kost. Jejich vznik nazýváme sekundární osifikací.

Proces přestavby kostí probíhá celý život. Ložiska primární – fibrilární kosti vznikají uprostřed chrupavčitého základu a říkáme jim primární osifikační centra. Vytvářejí se asi od 3. měsíce intrauterinního vývoje plodu. Za vznik primárních osifikačních center nese patrně odpovědnost hydrostatické zatížení v určitých bodech. Hovoří o tom tzv. hydrostatická teorie. Lokalizace hydrostatických bodů se shoduje se zatížením kosti a tahem okostice a svalových úponů a vlivem spontánních pohybů plodu.

## Kostní věk a růst kostí

Osifikace u plodu začíná také v kloubních hlavicích, nejen v těle kosti ale také v hlavicích kostí z tzv. sekundárních osifikačních center. – ostrůvků primární kostní tkáně. Sekundární osifikační centra se také nazývají osifikační jádra a jsou velice důležité pro určování věku dětí a nedospělců a také pro stanovení kostního věku živého člověka. Podle stupně uzavření růstových štěrbin můžeme určit věk posuzovaného jedince a to buď u historických nálezů přímo na kostě a ve forenzní antropologii, nebo u živých jedinců na rentgenogramu, obvykle se používá atlasů rentgenogramů zápěstí.

Osifikace z primárních a sekundárních osifikačních center se šíří všemi směry, takže je na kost přetvářen postupně celý osifikační základ kosti.

V průběhu osifikace se zachovávají jen růstové chrupavky mezi primárním a sekundárním osifikačním centrem. Protože kost je mineralizovaná a její buňky jsou uzavřeny do pouzder – lakun, nemůže růst jako ostatní tkáň dělením buněk. Kost může růst pouze apozicí, to znamená přikládáním nové tkáně ke tkáni starší (rostoucí). Proto kost musí neustále upravovat svůj tvar. Říkáme, že prochází permanentní tvarovou remodelací.



### Růst kosti do délky

Jak jsem zmínila výše, nachází se mezi epizýzami a diafýzami dlouhých kostí růstová chrupavka. Dlouhé kosti končetin (humerus, ulna, radius femur, tibia, fibula) mají dvě růstové chrupavky. Jiné kosti končetin, včetně kostí plochých a krátkých mají jen jednu růstovou chrupavku.

Některé kosti mohou mít kromě typických růstových chrupavek vložených mezi epifýzy a diafýzu ještě další růstové chrupavky např. u femuru u trochanter major, nebo na patní kosti tuber calcanei.

Růstová chrupavka je typem hyalinní chrupavky. Je složena z několika vrstev z nich je však jen jedna proliferující – to znamená že se dělí. (vrstvy rezervní vrstva chrupavky – difúzně rozptýlené buňky, proliferační vrstva, hypertrofická vrstva – velké chondrocyty a pak už vrstva kalcifikované chrupavky a pak osifikační zóna). Je to tzv. unipolární vrstva a tak kost roste jen jedním směrem- to znamená, že vzdaluje epifýzu od středu kosti. Vyjímkou jsou jen některé růstové chrupavky plochých kostí které jsou bipolární (multipolární). Nachází se např. ve dně acetabula, v místě srůstu pánevních kostí. Růst růstové chrupavky se zastavuje vytvořením mineralizované kostní tkáně mezi spongiózou distální části diafýzy a epifýzy. Po zastavení růstu celá chrupavka osifikuje. K zániku růstových chrupavek dochází mezi 15. a 21. rokem.

### Růst kosti do šířky

Do šířky kost přirůstá apozicí (tloušťne) a to z hlubokých vrstev periostu a endostu. Aby byl zachován tvar a proporce budoucí kosti, je proces periostální aspozice doplněn procesy, které odbourávají kost (resorpce) a při tom dochází k celkové remodelaci kosti.

Faktory, které ovlivňují procesy řízení a regulace růstu:

- vnitřní faktory: genetické informace v genomu chondrocytů a chondroblastů a fibroblastů
- zevní faktory výživové a hormonální vlivy.

Zvyšování axiálního tlaku na růstovou chrupavku vede k omezení až zastavení růstu, naopak snižování tlaku růst do délky urychluje.

Dlouhé kosti mají dvě epifýzy a jejich růstové aktivity nejsou stejné. Není jasné jak je rozdílná aktivita růstových chrupavek regulována. Snad se jedná o místní mechanické poměry jako tak svalů.

Pokud dojde k poškození růstových chrupavek, dochází ke vzniku růstových poruch. U dlouhých kostí závisí rozsah poškození na aktivitě růstových chrupavek.

### Remodelace kostí

Remodelace kostní tkáně je trvalou součástí životního cyklu člověka (i každé kosti), ale převažuje u dětských kostí. U dospělých je remodelace v klidovém stavu u 80% spongiózy a 93% kompakty.

Na remodelaci se podílejí osteoblasty, osteoklasty a osteocyty, žírné buňky, bílé krvinky a další fagocytující buňky.

Osteoklasty vznikají v kostní dřeni. Jsou to pohyblivé buňky které během kostní resorpce kloužou po povrchu kostní hmoty (pohnou se až o 390 mikrometrů denně) a produkují enzymy, které degradují kostní kolagen. Opravdový rozklad kolagenu kolagenázami, ale způsobují osteoblasty. Jen tyto totiž produkují kolagenázu.

Při resorpci kosti tvoří osteoklasty první linii. Jeden osteoklast dokáže zlikvidovat produkci až 1500 osteoblastů. Co reguluje jejich rychlost zatím nevíme. Resorpcí se uvolňuje prostor pro novotvorbu kosti a kost může být i remodelována.

Nevyváženost novotvorby a odbourávání kosti jsou příčinou osteoporózy. U nás jí trpí asi 10% obyvatel. Především se jedná o ženy nad 50 let. Osteoblasty mají totiž ve své membráně receptory, které se vážou na estrogény, které podporují tvorbu kostních bílkovin. V období po klimakteriu estrogény chybějí a neobsazují receptorová místa a buňky pak snižují produkci kostních bílkovin. Potom kostní hmoty postupně mizí, kosti se bortí a lámou i při drobném mechanickém zatížení. Osteocyty také produkují poměrně velké množství kostních bílkovin, které slouží k opravě kostních mikrofraktur. K těmto mikroskopickým zlomeninám dochází v průběhu stárnutí organismu a osteocyty tyto poruchy trvale likvidují. Další buňky jako žírné buňky a lymfocyty mají podpůrnou funkci při remodelaci kosti. Např. žírné buňky produkují heparin, který podporuje kostní resorpci.

Regenerace kostí se uplatňuje také při hojení kostních zlomenin – fraktur. Zlomená kost je schopna se zcela zahojit. V místě, kde se kost zlomí dojde ke vzniku hematomu z porušených cév. Krevní sraženina a úlomky kosti jsou likvidovány fagocytózou. Další hojení probíhá v těchto etapách:

1. poškozený periost a endost jsou zdrojem osteoprogenitorových buněk. Tyto buňky vnikají mezi okraje zlomených kostí a produkuje základní amorfní mezibuněčnou hmotu vaziva a vlákna. Postupně vzniká vazivový svalek - procallus (procallus).
2. V vazivovém svalku, který je silně prokrvený z vazivových buněk vznikají buňky chrupavčité a z chrupavčitých ostrůvků vzniká souvislejší chrupavčitý svalek Callus fibrocartilagineus.
3. Chrupavčitý svalek enchondrálně osifikuje a kalcifikuje ukládáním vápenatých solí. Aktivují se původní se původně vazivové osteoprogenitorové buňky kostní dřevě, periostu a endostu a začínají produkovat základní kostní hmotu.
4. Svalek je nahrazen kostním svalkem callus osseus.

Kostní svalek je napřed tvořen houbovitou kostí. Trámce má nepravidelně uspořádaný a svalek je málo odolný proti zatížení. Proto je při zlomeninách nutná rehabilitace. Tento typ svalku je přestavován na lamelózní kost. Když probíhá hojení na epifýzách orientují se kostní trámce podle zatížení kosti a obnovuje se architektonika kosti. V kompaktní diafýze se vytvářejí osteony a Haversovy systémy.

Podle stupně uzavření růstových štěrbin můžeme určit věk posuzovaného jedince a to buď u historických nálezů přímo na kostře a ve forenzní antropologii, nebo u živých jedinců na rentgenogramu, obvykle se používá atlasů rentgenogramů zápěstí.

Délka kosti závisí na tom, jak dlouho jsou buňky chrupavky schopné dělení. Růstové chrupavky se uzavírají u každé kosti v jiném období v průběhu dospívání. Když růstová chrupavka zmizí, kost přestane růst a kost dosáhla délky, kterou již bude mít navždy. To znamená, že tělo jedince dosahuje konečných proporcí po uzavření všech růstových štěrbin na kostře.

Protože kost se může měnit, může se měnit též tloušťka kosti a to buď prostřednictvím silného opotřebování nebo v důsledku změny hladiny hormonů v těle. U většiny dospělých se kost stává tenčí v důsledku ztráty minerálních látek v ní uložených. Může se nám proto zdát divné, že dospělí potřebují v potravě přijímat mnohem více vápníku než děti, aby přinutili osteoblasty k činnosti. Mnoho starších žen trpí osteoporózou, kterou zapříčiňuje pokles hladiny hormonu estrogenu v jejich těle. Při této nemoci kosti řídnou a mají sklon k lámání. Jako možná příčina této nemoci je uváděn nedostatek pohybu a malé množství vápníku v potravě.

Kosti jsou spojeny pomocí kloubů. Klouby rozlišujeme na základě množství pohybu, který umožňují. Některé kosti, jsou spojeny nepohyblivě a to buďto chrupavčitě, srůstem nebo vazivově. Jsou to např. obratle, oddělené od sebe meziobratlovými ploténkami, které jim pomáhají zvyšovat pružnost páteře. Podobně pánevní kosti jsou nepohyblivě spojeny, jednak mezi sebou (spona stydká) a jednak s kostí křížovou. Tato spojení se ovšem v době porodu stávají pohyblivými v důsledku hormonálního působení a tak pomáhají rozšířit porodní kanál pro hlavičku novorozence. Volně pohyblivá spojení kostí nazýváme klouby. Ve těchto jsou dvě kosti jsou od sebe odděleny kloubní dutinou. Každý kloub se skládá z kloubních ploch, kloubní chrupavky, kloubního pouzdra a kloubní dutiny, dále z pomocných útvarů jako jsou vazy, disky a menisky. Kloubní plochy do sebe navzájem zapadají, obvykle se jedná o hlavici a jamku. Tvar kloubních ploch určuje rozsah pohybu, kterého je ten který kloub schopen. Typy kloubů máme - kulovitý - ramenní kloub, ořechový - kyčelní kloub, šroubovitý - hlezenní kloub, elipsovité - radiokarpální kloub, točivý - radioulnární kloub, kladkový kloub - interfalangeální kloub, sedlový kloub - carpometacarpální kloub. Nejvíce pohybu dovolují klouby kulovité, které umožňují pohyb kolem tří os (frontální - ohnutí a natažení, sagitální - přitážení a odtažení a vertikální - otáčení) a jejich omezenější varianta kloub ořechovitý. Omezenější pohyb umožňují klouby dvouosé sem řadíme klouby elipsoidní a sedlovité. Nejomezenější pohyb pak umožňují klouby jednoosé, sem patří jednak klouby kladkový a šroubovitý - pohyb kolem frontální osy a jednak kloub točivý, který umožňuje pohyb pouze kolem vertikální osy. Oba konce spojovaných kostí jsou potaženy chrupavkou. Kloubní dutina je vystlána vazivovou membránou jejíž vnitřní vrstva (membrana synovialis) produkuje tekutinu, synovii a ta slouží jako mazadlo, zmírňuje tření a vyživuje kloubní chrupavku. Příkladem kloubního spojení je např. kloub kolenní. Zde stejně jako v ostatních kloubech jsou konce kostí potaženy chrupavkou, dále se zde nacházejí přídatné chrupavčité ploténky zvané menisky. Tyto přidávají kloubu na stabilitě a pomáhají rozkládat hmotnost, která působí na kolenní kloub. Atleti většinou trpí zraněním menisků. V kolenním kloubu se nachází 13 váčků vyplněných synoviální tekutinou, které nazýváme burzy. Tyto působí jako ložiska mezi vazy a šlachami. Zánět těchto burz se nazývá bursitis a příkladem této choroby je např. tzv. tenisový loket.

Klouby podléhají artróze. Při revmatické artróze se synoviální membrána zanítí a ztloustne. Nastanou degenerativní změny, které způsobí bolestivost kloubu při pohybu. Bylo zjištěno, že bolesti jsou vlastně způsobeny autoimunitní reakcí. Při starobní artróze nebo osteoartritis

dochází k zániku částí chrupavky povlékající kosti a jejich povrch se stane nepravidelný. Tento typ artrózy napadá klouby, které byly nejvíce po celý život namáhány.