

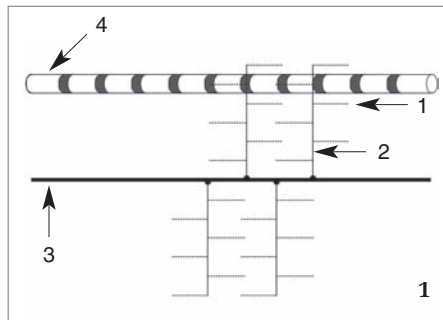
Chrupavka – tkáň mnoha funkcí

Lidské tělo je tvořeno čtyřmi druhy tkání – epitelovou, pojivovou, svalovou a nervovou (krev má zvláštní postavení, i když původem a složením odpovídá pojivové tkáni). K pojivovým tkáním patří spolu s vazivem a kostí (podrobněji v článku na str. 28–33 a XXVII–XXVIII této Živy) také chrupavka, již je věnován následující článek. Oproti ostatním tkáním mají pojiva kromě buněk velký podíl mezibuněčné hmoty amorfní (matrix) a vláknité. Základní buňky pojiv tvoří mezibuněčnou hmotu, jejíž složení pak odpovídá výslednému typu tkáně. Ve vazivu jsou to fibroblasty (klidové stadium obklopené mezibuněčnou hmotou, kterou již tyto buňky dále neprodukuje, označujeme fibrocyty, fibra – vlákno), v chrupavce chondroblasty (chondrocyty, chondros – chrupavka), v kosti osteoblasty (osteocyty, os – kost). Chrupavka je vyživovaná z okolního vaziva nebo kloubní tekutiny a má omezené regenerační schopnosti.

Buňky chrupavky tvoří mezibuněčnou hmotu složenou z vláknité části a amorfní matrix (obr. 1). Podle typu vláken a jejich uspořádání a podle makromolekul proteoglykanů, případně glykoproteinů matrix a jejich vzájemného uspořádání, vznikají tři druhy chrupavky: hyalinní, elastická a vazivová. Chrupavčitá tkáň se vyznačuje pevností, či lépe odolností proti tlaku, tahu a smyku, a také pružností. Při zatížení velmi málo mění tvar a po odlehčení se opět vrací do původního tvaru – tato vlastnost se označuje jako tlaková elasticita. Chrupavka je bezcévná tkáň, s čímž souvisí její špatná regenerační schopnost. Látková výměna i výměna plynů probíhá difuzí z okolního vaziva nebo v případě kloubní chrupavky ze synoviální tekutiny, která vyplňuje kloubní prostor omezený kloubním pouzdrem.

● Hyalinní chrupavka

Hyalinní (sklovitá) chrupavka je v lidském těle nejrozšířenější. Najdeme ji v kloubech nebo jako oporu dýchacích cest (brání jejich kolapsu při výdechu) v nose, hrtanu,

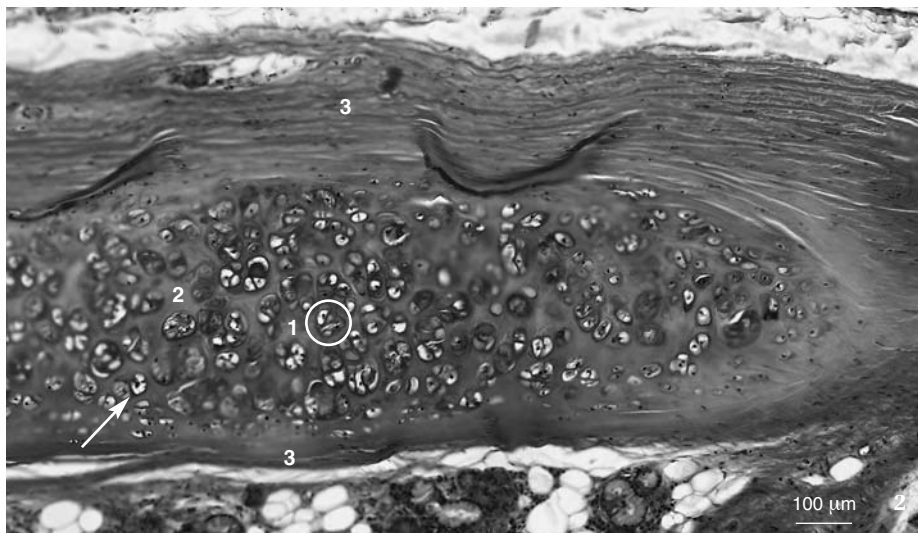


průdušnici a průduškách. Dále také pojí žebra k hrudní kosti, tvoří růstové ploténky a vyvíjející se kostru embrya.

Makroskopicky se jeví jako porcelánově bílá, u mladších jedinců s nádechem do modra. Ve světelném mikroskopu vidíme buňky, chondrocyty, uložené v mezibuněčné matrix v komůrkách (lakunách, obr. 2). Ty vznikají tak, že mateřská buňka se během vývoje chrupavky a tunutí mezibuněčné hmoty uzavírá v lakuně, ale zároveň se ještě stále dělí, a tak v jedné lakuně může být až 8 dceřiných chondrocytů. Tyto sku-

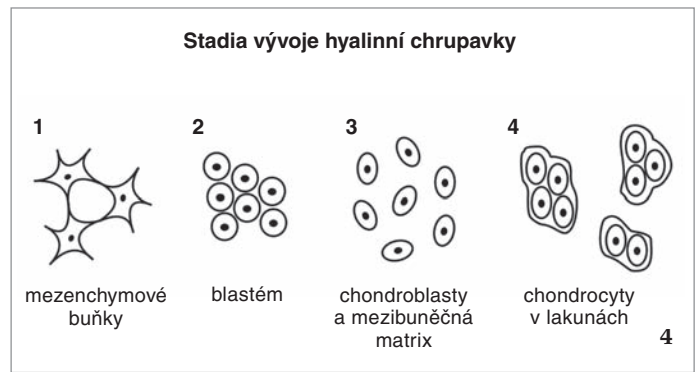
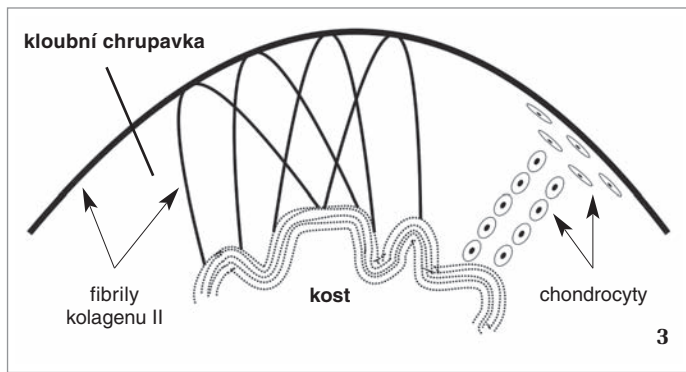
piny se označují jako izogenetické jednotky a jsou pro hyalinní chrupavku typické. Jejich tvar a orientace napovídají o směru růstu nebo zatížení. Buňky sousedních jednotek nejsou nijak propojeny. V mezibuněčné hmotě nelze ve světelném mikroskopu rozeznat vláknitou složku. Je to proto, že kolagen II, který se zde vyskytuje, netvoří vlákna viditelná ve světelném mikroskopu, ale zůstává na úrovni tenkých kolagenových fibril, které prokážeme jen v polarizačním nebo elektronovém mikroskopu. Pro amorfní hmotu jsou typické makromolekuly proteoglykanů. Na lineární proteinové vlákno kolmo nasadají lineární glykosaminoglykany (negativně nabitě opakující se disacharidové jednotky tvořící polysacharid), takže vzniklý komplex připomíná kartáček na čištění zkumavek – proteinové jádro a glykosaminoglykanové štětiny. Protein je pak navázan na dlouhé stočené vlákno hyaluronátu (soli kyseliny hyaluronové a zároveň také jednoho z glykosaminoglykanů). Tak vznikají velké agregáty, které jsou navíc vázány prostřednictvím glykoproteinů, tedy adhezních proteinů, na kolagenní fibrily. Glykosaminoglykany vážou velké množství vody, a právě vázaná voda dává této chrupavce jedinečnou vlastnost – nestlačitelnost, nebo lépe reverzibilní stlačitelnost. Volné tekutiny je v chrupavce málo, a tak je i difuze živin a plynů velmi pomalá, a tudíž omezená na určitou maximální tloušťku chrupavčité tkáně. Proto když chrupavka doroste větších rozměrů, chondrocyty ve středu strádají a dochází zde ke kostnatění (osifikaci) – např. velká chrupavka hrtanu dospělého muže je z velké části zkostnatělá.

Chrupavku zevně obklopuje vazivové pouzdro (perichondrium). Jeho vnitřní vrstva obsahuje nediferencované buňky bezprostředně naléhající na chrupavku, které se mohou aktivovat a diferencovat v chondroblasty, představující aktivní formu chondrocytů, produkujících mezibuněčnou hmotu, a zajišťovat tak apoziční růst (příkladání nové chrupavčité tkáně na povrch chrupavky z vnitřní strany perichondria vede k růstu do šířky). Růst zralé chrupavky zevnitř (intersticiální růst) není možný. V této vnitřní vrstvě pouzdra také najdeme řídké vazivo s krevním zásobením. Povrchová vrstva pouzdra je z tuhého vaziva a chrání chrupavku před mechanickým poškozením.



1 Schéma struktury mezibuněčné matrix. Proteoglykany složené z lineárních proteinů (1) a glykosaminoglykanu (2) se vážou pomocí spojovacího proteinu na vlákno kyseliny hyaluronové (3). Glykosaminoglykany jsou propojené s fibrilami kolagenu II (4) pomocí adhezivních proteinů.

2 Hyalinní chrupavka, histologický preparát barvený hematoxylinem a eozinem. Tuhé kolagení vazivo perichondria (3) postupně přechází do chrupavčité tkáně. Chondrocyty (vyznačené šipkou) jsou uloženy v lakunách a tvoří skupiny – izogenetické jednotky (1). Obklopuje je extracelulární matrix (2), která se ve světelném mikroskopu jeví amorfní, protože kolagen typu II netvoří vlákna v pravém slova smyslu, ale pouze jemné fibrily.



Kloubní chrupavka pokrývá kloubní plochy a postrádá perichondrium. Kolagenní fibrily mají klenutý průběh, probíhají nejprve radiálně, kolmo ke kloubnímu povrchu, před jeho dosažením se ohýbají a nakonec běží rovnoběžně s povrchem (obr. 3). Výživu zajišťuje synoviální tekutina filtrovaná z krevní plazmy buňkami kloubního pouzdra. Jiné buňky pouzdra fagocytují cizorodé částice, následky zánětu apod. Při přiměřeném zatížení kloubu je volná tekutina z chrupavky vytlačena do synoviální tekutiny a po odeznění zátěže je opět synoviální tekutina do chrupavky nasáta. Tím se urychlí látková výměna. Nadměrná zátěž nebo dlouhodobá nepřerušovaná zátěž naopak tyto procesy zpomaluje a přispívá k opotřebování chrupavky.

Hyalinní chrupavka tvoří embryonální kostu a má zásadní význam pro vývoj dlouhých kostí (tvarově dlouhých, nikoli velikostně). Chrupavka se během embryonálního období vyvíjí z mezenchymu – nediferencované embryonální tkáně (obr. 4). Ostrůvky mezenchymových buněk vznikají rychlejším dělením a diferenciací mezenchymových buněk na chondroblasty. Ostrůvky chrupavky se zvětšují, splývají a vytvářejí tyčinkovité útvary se středním úsekem, tedy budoucí diafýzou, a volnými konci – budoucími epifýzami. Výživa do tkáně proudí z okolního mezenchymu, který pozvolna vytváří v oblasti diafýzy perichondrium. Když model doroste určité velikosti, ve středu diafýzy se v perichondriu naléhajícím na chrupavku vytvoří přímo z vazivového základu kost (dochází k vazivové – desmogenní osifikaci). Tato kost zabrání difuzi živin a kyslíku do chrupavky a chrupavka strádá. Chondrocyty nejsou schopné pečovat o mezibuněčnou matrix, naopak ve snaze o přežití odčerpávají látky z matrix a stávají se hypertrofními (zmožňují cytoplazmu), nakonec programovanou buněčnou smrtí (apoptózou) zanikají. Kostěný prstenec se rozrůstá směrem k epifýzám a popsaný proces se tímto směrem stále opakuje.

Nepoškozená koncová chrupavka se snaží nepohodě kostěného prstence odrůst, chondrocyty proliferují jedním směrem a vznikají pásovité izogenetické jednotky v ose diafýzy. Ve středu periostu (vazivového obalu kosti) kostěného prstence se objevují krevní cévy (vyvíjejí se v této době také z mezenchymu stejně jako erythrocyty) a jsou doprovázeny nediferencovanými buňkami, ze kterých vznikají fagocyty, splývají a jako osteoklasty, tedy buňky schopné rozrušovat kost, vytvoří kanály v kostěném prstenci. Jimi osifikační arterie prorůstají do místa zanikající chrupavky (primárního

osifikačního centra). Zde doprovodné makrofágy pohltí zbytky rozpadlých chondrocytů a zbylé trámečky zvápenatěle mezibuněčné hmoty chrupavky obsadí buňky diferencující se na osteoblasty, které povléknou tyto chrupavčité trámečky vrstvičkou kosti. Tak vzniknou směrové trámečky orientované ve směru rostoucí diafýzy. Když i epifýzy dorostou určité mohutnosti, jejich centrální část začne degenerovat stejným způsobem (sekundární osifikační centrum), jako se to stalo v centru diafýzy, s tím rozdílem, že povrchová chrupavka není kryta perichondriem a nevytvorí se zde kostěná překážka. Nepoškozená, stále proliferující chrupavka tedy zůstává na volných površích epifýz a jako ploténka mezi epifýzou a diafýzou tam, kde nedosahuje kostěný prstenec, nyní již spíše tunel. Z této rostoucí chrupavčité ploténky dorůstá dlouhá kost pod vlivem růstových faktorů až do puberty, kdy růstové ploténky také zosifikují a další růst již není možný. Popsané směrové trámečky jsou postupně zlikvidovány osteoklasty a nahrazeny zralou houbovitou kostí, mezi jejímiž trámečky se vytvoří krvetvorná (hemopoetická) červená kostní dřev. Z původní chrupavky tedy nezbyde nic, chrupavka při této chondrogení osifikaci slouží pouze k udávání směru růstu kosti.

● Elastická chrupavka

Tato chrupavka se vyznačuje pružností a najdeme ji v uchu – v ušním boltci, v části zvukovodu, v Eustachově trubici, dále jako hrтанovou příklopku, tvoří malé chrupavky hrтанu a nachází se i v nejmenších průduškách. Složením se podobá chrupavce hyalinní, ale s několika odlišnostmi. Makroskopicky je žlutá, neboť obsahuje velké množství žlutě zbarveného elastinu. Ve světelném mikroskopu se zdá být vícebuněčná a matrix vláknitá. Zatímco v hyalinní chrupavce nacházíme izogenetické skupiny, v elastické jsou chondrocyty v lakunách většinou jednotlivě (obr. 5), ojediněle se vyskytují v téže lakuně dvě buňky. Vzniká dojem, že chondrocyty v tomto typu chrupavky více. Kromě fibril kolagenu II obsahuje mezibuněčná matrix četná elastická vlákna, která dodávají tkáni pružnost, snadno mění tvar a snadno se vrací do původního tvaru, proto je tato chrupavka pružná jak v tlaku, tak v ohybu. Elastickou chrupavku obaluje perichondrium. Elastin je odolný vůči vysoké teplotě (varu) i chemickým látkám. Elastická chrupavka nikdy nedorůstá do velké tloušťky a neosifikuje, lépe odolává degenerativním procesům.

● Vazivová chrupavka

Tento typ chrupavky tvoří meziobratlové ploténky, sponu stydkou, dále menisky

3 Část kloubní hlavičky s kloubní chrupavkou. Linie mezi kostí a chrupavkou je nerovná pro zvýšení pevnosti spojení obou tkání. Chondrocyty jsou uspořádány radiálně, od kosti běží kolmo směrem k povrchu, zcela na povrchu se oplošťují a orientují horizontálně. Kolagenní fibrily mají klenutý průběh a zcela na povrchu chrupavky jich část leží rovnoběžně s povrchem.

4 Vývoj hyalinní chrupavky.

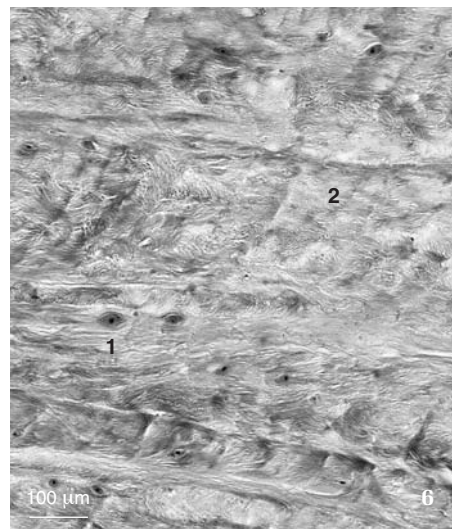
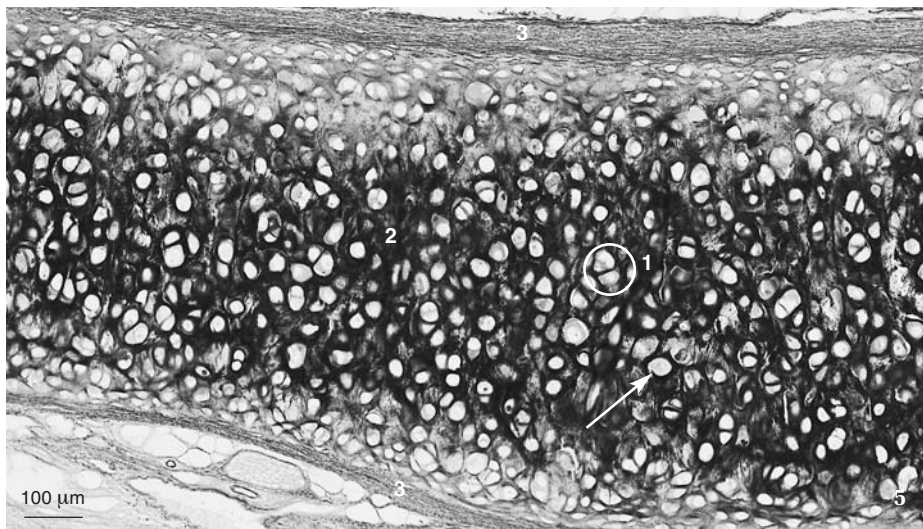
1 – mezenchym, hvězdicovité mezenchymové buňky propojené výběžky tvoří prostorovou síť; 2 – proliferující mezenchymové buňky se zahušťují do blastému (jde o skupinu nediferencovaných buněk v podobě v přibližném tvaru budoucí struktury, jejichž proliferací a diferenciací se vyvíjí základ orgánu) a diferencují se v chondroblasty; 3 – chondroblasty zpomalují dělení a produkují mezibuněčnou matrix chrupavky; 4 – chrupavka vyzářává, chondrocyty uzavřené v lakunách se dále dělí, čímž vznikají izogenetické skupiny, tedy skupiny dceřiných buněk ve společné lakuně, které pocházejí z jedné mateřské buňky.

5 Elastická chrupavka, histologický preparát. Chondrocyty (šipka) jsou většinou jednotlivě v lakunách (1) a v extracelulární matrix (2) převažují elastická vlákna, dobře viditelná při barvení na elastiku, kde selektivní barvení resorcin-fuchsinem umožní jejich zobrazení. Na povrchu je perichondrium, podobné perichondriu hyalinní chrupavky (3).

6 Vazivová chrupavka, histologický preparát barvený hematoxylinem a eozinem. Chondrocyty (1) jsou v lakunách jednotlivě i ve skupinách obklopené extracelulární matrix (2), ve které jasně dominují husté svazky vláken kolagenu typu I. Snímky a orig. M. Halašková, Ústav histologie a embryologie 3. lékařské fakulty UK. Histologické preparáty (obr. 2, 5 a 6) barevně na webu Živý

a kloubní disky a pokrývá kloubní plošky čelistního kloubu.

Je velmi pevná v tahu a zároveň odolná tlaku, elastická. Těchto vlastností dosahuje díky silným svazkům vláken kolagenu I (obr. 6), čímž se podobá hustému kolagennímu vazivu, např. šlaše. Vlákna jsou v matrix uspořádána lineárně s působící silou. Tak např. vlákna úponové šlachy velkého svalu přecházejí postupně přes vazivovou chrupavku do kosti. Chondrocyty bývají v lakunách samostatně nebo tvoří sloupce rovnoběžně s probíhajícími vlákny. Tato chrupavka nemá perichondrium.



Jak jsme uvedli výše, vazivová chrupavka tvoří mimo jiné meziobratlové ploténky, které leží mezi těly obratlů. Zde je vystavena tlakové zátěži při stoji, úhlové zátěži při úklonech všemi směry a smykovému působení při rotaci. Ploténka má centrálně uložené měkké nestlačitelné rosolovité jádro (tlumič nárazů), kolem něhož jsou spirálovitě, téměř cirkulárně probíhající kolagenová vlákna tvořící chrupavčitý prstenec

obalený vazivem (anulus fibrosus). Vlákna kolagenu mají krátké pravidelné odbočky tak, že vypadají jako smrkové větvičky s jehličím, které jdou proti sobě. Při smyku se jehličkovité výběžky do sebe zaklesnou a zvyšují tak stabilitu tkáně. Dalším příkladem je stydká spona, chrupavčitý pevný kloub, který vpředu spojuje obě pánevní kosti. Tato vazivová chrupavka se u žen před porodem částečně rozvlákní a mezi-

buněčná matrix prosákne, čímž chrupavka „změkne“ a stane se elasticitější.

Chrupavka je tedy tkáň pružná, ale zároveň i pevná. Uspořádání jejích složek – buněk, vláken a amorfní matrix – určuje její klasifikaci a odpovídá požadavkům na funkci, kterou v dané části těla vykonává.

Použitou literaturu a pracovní listy uvádíme na webové stránce Živy.

Ondřej Naňka

K výuce

Terminologický slovník k článku Kost je živý orgán (str. 28–33)

anastomózy – cévní spojky

angioblasty – embryonální prekurzory cévních buněk

axiální struktury embrya – osová struktury, u embrya myšlena neurální trubice, chorda dorsalis a dorzální aorta

blastém – embryonální skupina nediferencovaných buněk, jejichž další proliferací a diferenciací se vyvíjí základ orgánů

dermomyotom – část somitu (viz dále), ze které vzniká svalovina zad, trupu a končetin a podkoží na zádech

diafýza – střední část dlouhé kosti, kde začíná osifikace

enchondrální osifikace – tvorba kosti uvnitř jejího chrupavčitého modelu

gap junctions – typ mezibuněčných spojů, mezi buňkami jsou vytvořeny „póry“, jimiž jsou spojeny cytoplazmy

hypertrofické chondrocyty – buňky chrupavky, zvětšují se v důsledku jejich špatného metabolismu v průběhu osifikace

chondroklasty – mnohojaderné buňky degradující mezibuněčnou hmotu chrupavky; původ je odvozen z kostní dřevě

laterální části – zevní části

melanoblasty – prekurzory melanocytů, tedy pigmentových buněk

metafyzární cirkulace – krevní oběh v metafýze kosti

myogenní buňky – prekurzory svalových buněk

osteoprogenitorové buňky – buňky, ze kterých mohou vznikat osteoblasty

paraaxiální mezoderm – mezoderm podél osových struktur embrya, v hlavové oblasti není segmentově uspořádaný, jinde je tvořen segmentově uspořádanými somity

perichondrium – tuhé vazivo na povrchu chrupavky, je prokrveno, zajišťuje výživu

separace epifýzy – oddělení epifýzy zpravidla v růstové chrupavce

Schwannovy buňky – buňky, které tvoří myelinové pochvy kolem periferních nervů

sklerotom – část somitu, z níž vzniká obratlové tělo

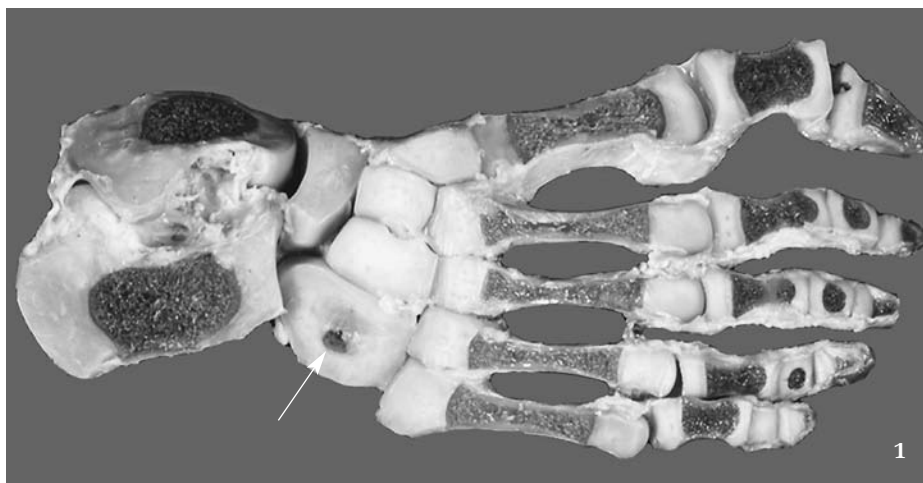
somatopleura – kombinace somatické (parietální) vrstvy mezodermu laterální ploténky a přilehlého ektodermu; z jejího mezenchymu vznikají pojiva končetin

somity – segmentově uspořádaný mezoderm podél neurální trubice

střížné síly – vznikají kombinací tlaku a tření, podobně jako působí čelisti nůžek

torzní síly – kroutivé, pokud působí otáčivé síly opačným směrem

tuberculum majus – část hlavičky pažní kosti se samostatným osifikačním jádrem



1 Kostra nohy novorozence. Nártní kosti a články prstů, které osifikují podobně jako dlouhé kosti, mají osifikované pouze diafýzy. Epifýzy jsou dosud chrupavčité a sekundární jádra nejsou zatím přítomna. U dvou největších zánártních kostí jsou vytvořena jádra nepravidelného tvaru již prenatálně. Jádro krychlové kosti (šipka) se manifestuje v období narození, ostatní zánártní kosti jsou zcela chrupavčité. Podle stavu osifikace lze určit přibližně tzv. kostní věk. Foto O. Naňka