

Histogeneze a histofyziologie kostní tkáně. Kostrové spoje.

Histogeneze (osifikace desmogenní a chondrogenní). Histofyziologie kostní tkáně. Regenerace kostní tkáně. Kostrové spoje (synartrózy, diartrózy).

Zkouškové otázky

8. Histogeneze kostní tkáně: druhy osifikace (desmogenní, chondrogenní) a jejich stručná charakteristika.
9. Histofyziologie kostní tkáně.
10. Kostrové spoje: synartrózy.
11. Kostrové spoje: diartrózy.

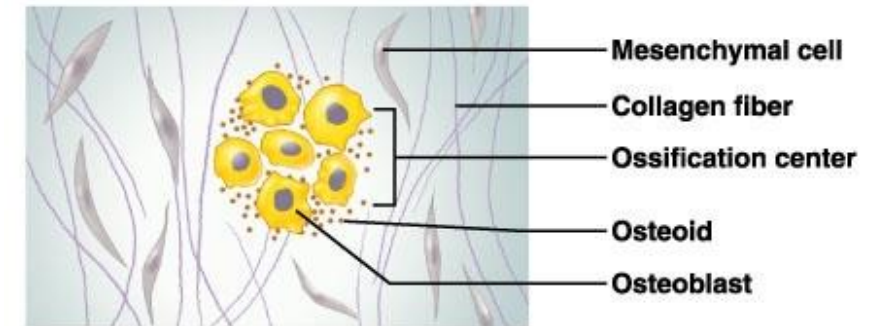
Histogeneze kostní tkáně

- **Desmogenní (intramembranózní) osifikace** – přímo z mezenchymu, kost je tvořena přeměnou skupin mesenchymových buněk v osteoblasty
 - kosti lebky, části mandibuly a clavicula
- **Chondrogenní (endochondrální) osifikace** – hyalinní chrupavka slouží jako model pro tvorbu kostní tkáně
 - všechny dlouhé kosti, kosti nepravidelného tvaru (většina kostí)
- Kostní tkáň vzniklá oběma způsoby je **histologicky totožná!**
- **Osifikace primární** ⇒ primární kost (primitivní) = vláknitá
- **Osifikace sekundární** ⇒ sekundární kost (definitivní) = lamelózní

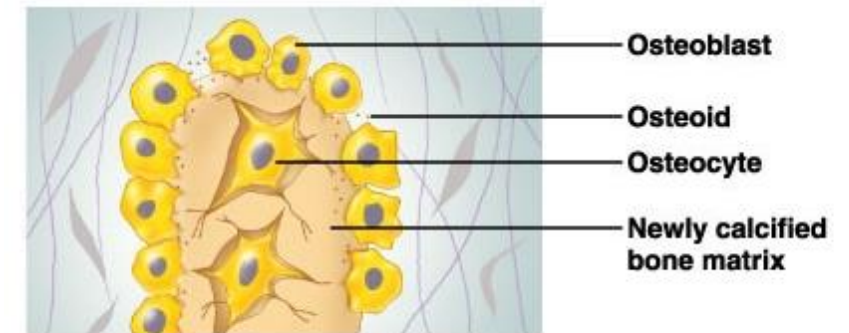
Desmogenní (intramembranózní) osifikace

Primární osifikace

- kondenzace mezenchymu → primární osifikační centrum
- z mezenchymových b. diferencují osteoblasty
- tvorba osteoidu
- kalcifikace ukládáním hydroxyapatitu
- spikuly (kostní trámce)
 - vláknitá kost



① An ossification center appears in the fibrous connective tissue membrane.

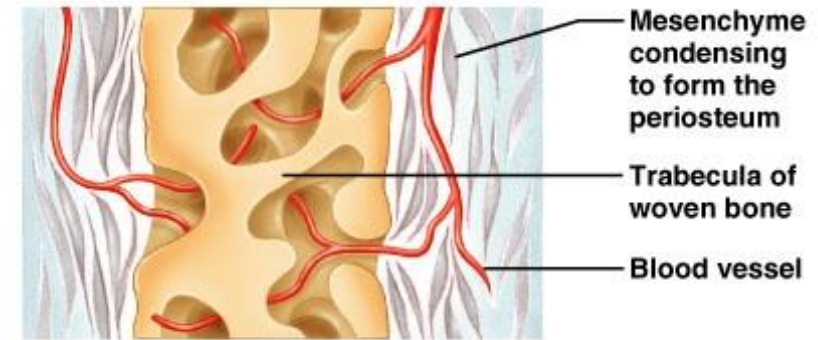


② Bone matrix (osteoid) is secreted within the fibrous membrane.

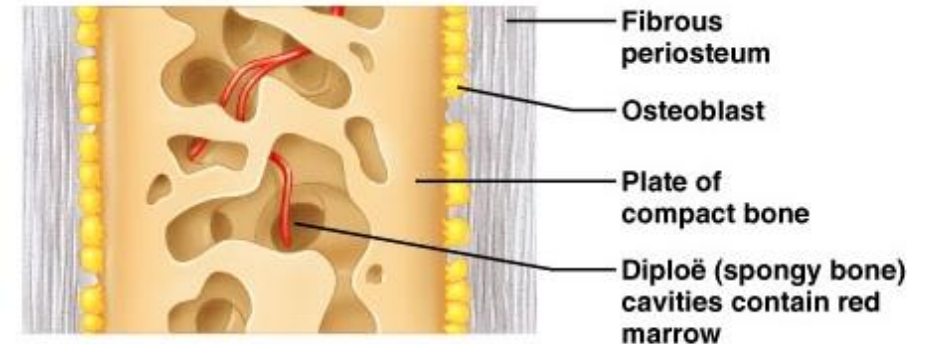
Desmogenní (intramembranózní) osifikace

Sekundární osifikace

- vláknitá kost se přemění na lamelózní činností osteoklastů a osteoblastů
- střední část kosti je přeměněna na spongiózní kost
- povrchová vrstva – kompaktní kost

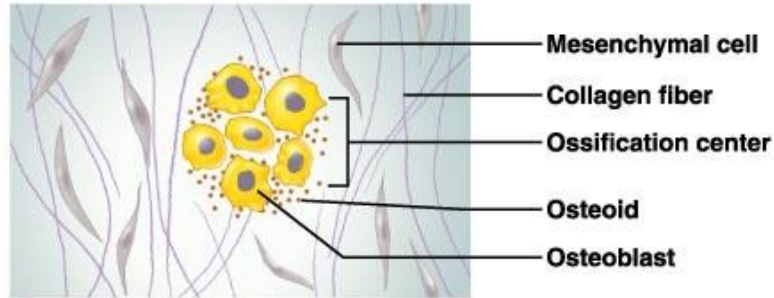


③ Woven bone and periosteum form.



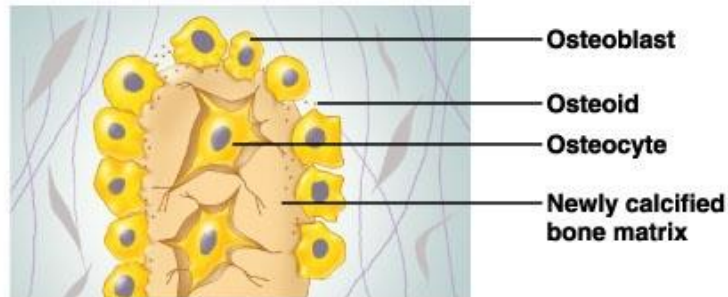
④ Bone collar of compact bone forms and red marrow appears.

Desmogenní osifikace



① **An ossification center appears in the fibrous connective tissue membrane.**

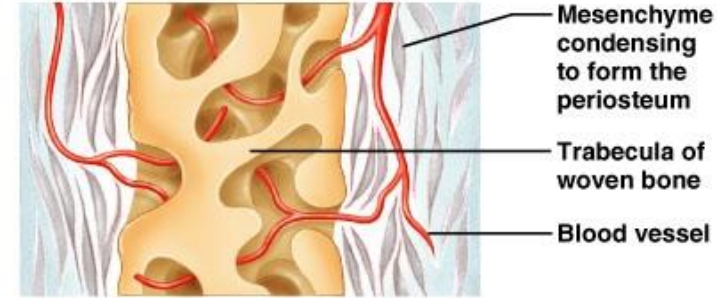
- Selected centrally located mesenchymal cells cluster and differentiate into osteoblasts, forming an ossification center.



② **Bone matrix (osteoid) is secreted within the fibrous membrane.**

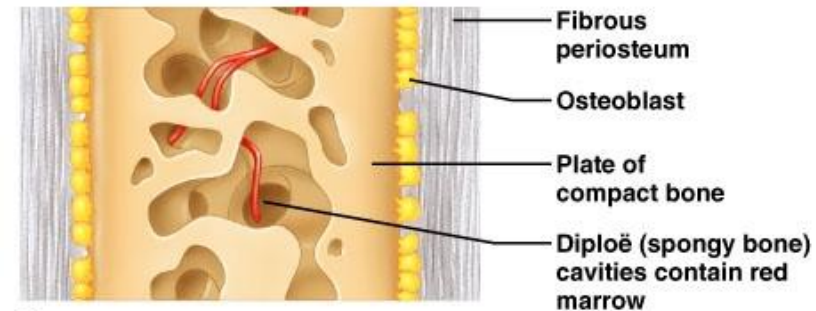
- Osteoblasts begin to secrete osteoid, which is mineralized within a few days.
- Trapped osteoblasts become osteocytes.

Copyright © 2004 Pearson Education, Inc., publishing as Benjamin Cummings.



③ **Woven bone and periosteum form.**

- Accumulating osteoid is laid down between embryonic blood vessels, which form a random network. The result is a network (instead of lamellae) of trabeculae.
- Vascularized mesenchyme condenses on the external face of the woven bone and becomes the periosteum.



④ **Bone collar of compact bone forms and red marrow appears.**

- Trabeculae just deep to the periosteum thicken, forming a woven bone collar that is later replaced with mature lamellar bone.
- Spongy bone (diploë), consisting of distinct trabeculae, persists internally and its vascular tissue becomes red marrow.

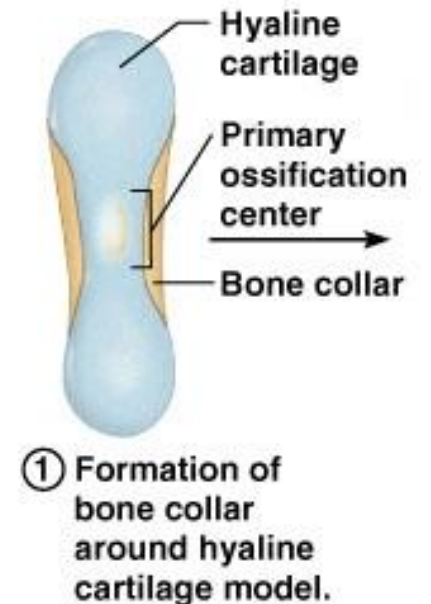
Copyright © 2004 Pearson Education, Inc., publishing as Benjamin Cummings.

Chondrogenní (endochondrální) osifikace

– model kosti z hyalinní chrupavky s perichondriem

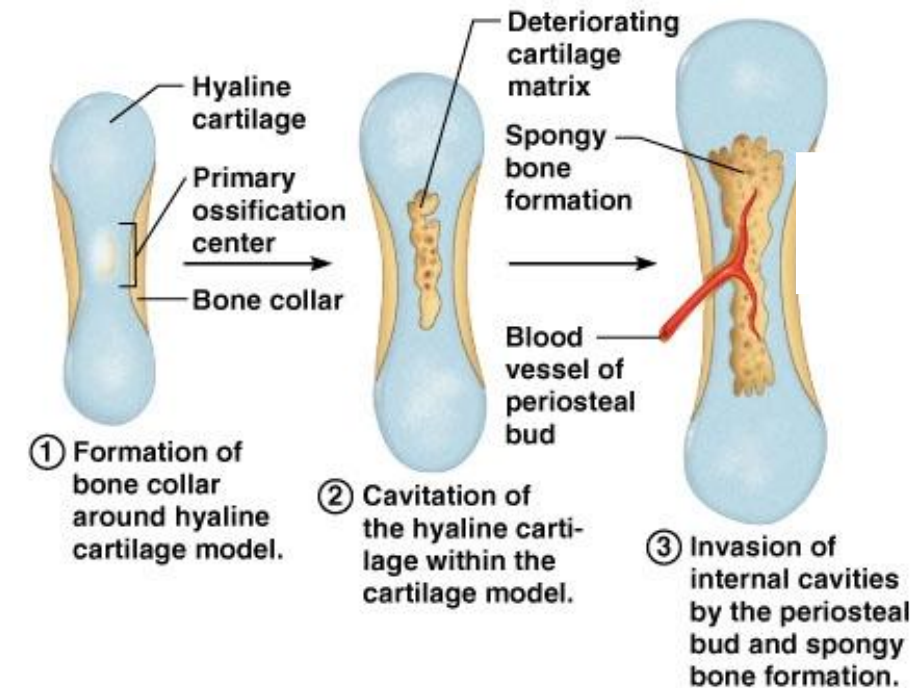
Primární osifikace

- uprostřed **diafýzy** – **perichondrální vaskularizovaný prsteneček** - „osteogenní vlastnosti“ → buňky na vnitřní straně → **osteoblasty**
- osteoblasty ukládají kostní matrix mezi chrupavku a perichondrium → **periostální kostní manžeta**



Chondrogenní (endochondrální) osifikace

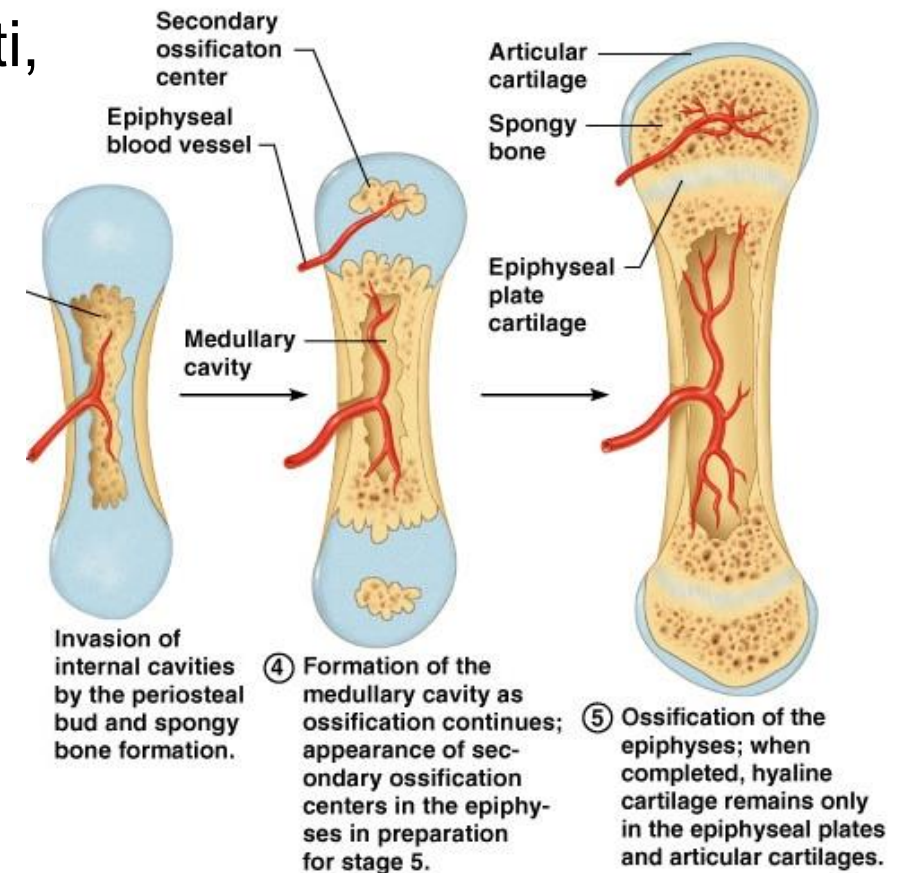
- v centru chrupavčité diafýzy **chondrocyty hypertrofují**, matrix mineralizuje a vzniká **osifikační centrum**
- z vaskularizovaného **perichondria/periostu** vrůstají **cévy a osteoprogenitorní buňky**
- tyto buňky se mění na **chondroklasty** a odbourávají osifikační centrum
→ **primární dřevňová dutina**



Copyright © 2004 Pearson Education, Inc., publishing as Benjamin Cummings.

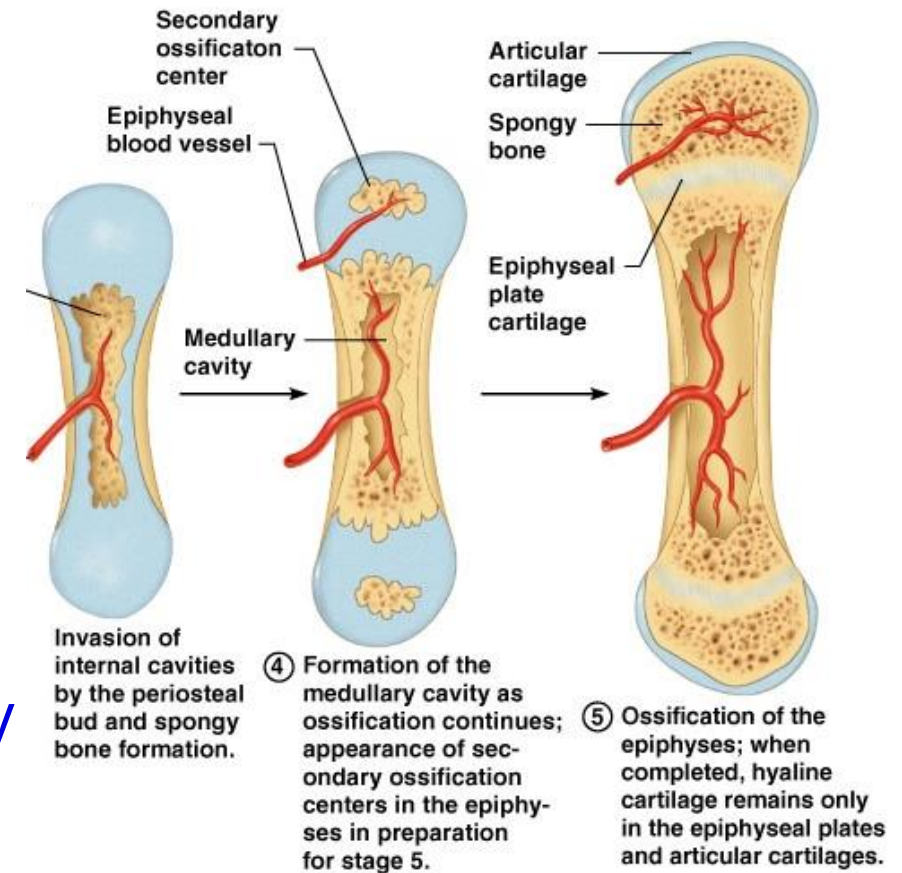
Chondrogenní (endochondrální) osifikace

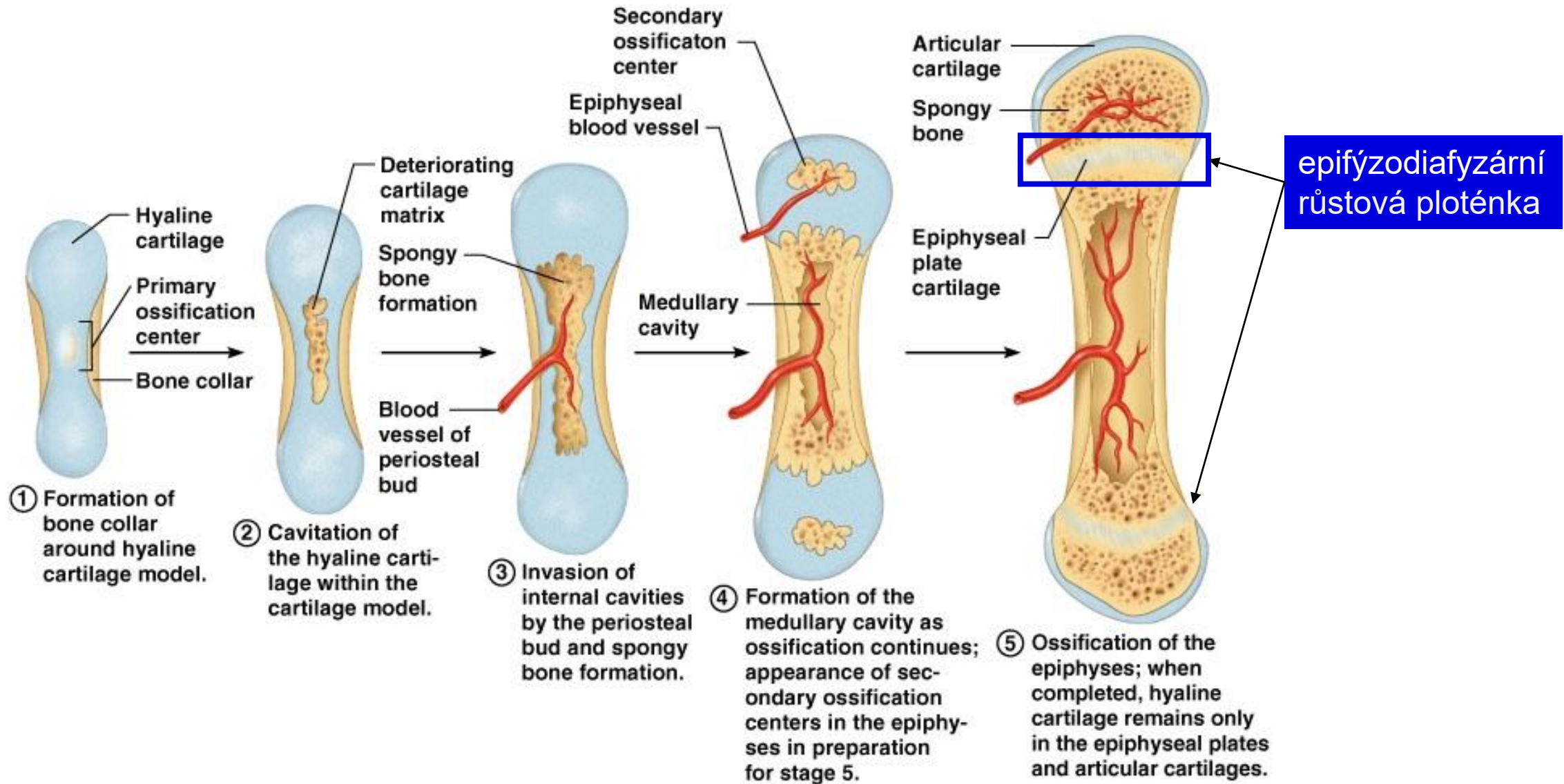
- v dutině obsažené kapiláry zamíří k epifýzám kosti, chondroklasty razí kapilárám cestu
- osteoprogenitorní buňky po stranách kapilár diferencují v osteoblasty
- osteoblasty produkují osteoid na povrch tzv. směrových trámců (= zbytky neresorbované základní hmoty chrupavky)
- dřevná dutina se rozšiřuje směrem k epifýzám
- osteoblasty → osteocyty



Chondrogenní (endochondrální) osifikace

- osifikace **epifýz** později - **procesy se šíří radiálně**
- chrupavka zachovaná pouze v oblasti **kloubní chrupavky** a na rozhraní epifýzy a diafýzy → **epifýzodiafyzární růstová ploténka**
- **epifýzodiafyzární ploténka** je pak **z obou stran rozrušována** chondroklasty a cévami s osteoprogenitorními buňkami, **zároveň ploténka roste proliferací chondrocytů** → **růst kosti do délky**
- **růst kosti do šířky** – **od periostu**





Copyright © 2004 Pearson Education, Inc., publishing as Benjamin Cummings.

Osifikační zóny

Zóna normální chrupavky

Zóna rostoucí chrupavky

- mitózy – izogenetické skupiny - sloupce

Zóna hypertrofické chrupavky

- hypertrofické chondrocyty

Zóna kalcifikace

- zvápenatělá hypertrofická chrupavka (kalcifikovaná základní hmota chrupavky)

Linie eroze

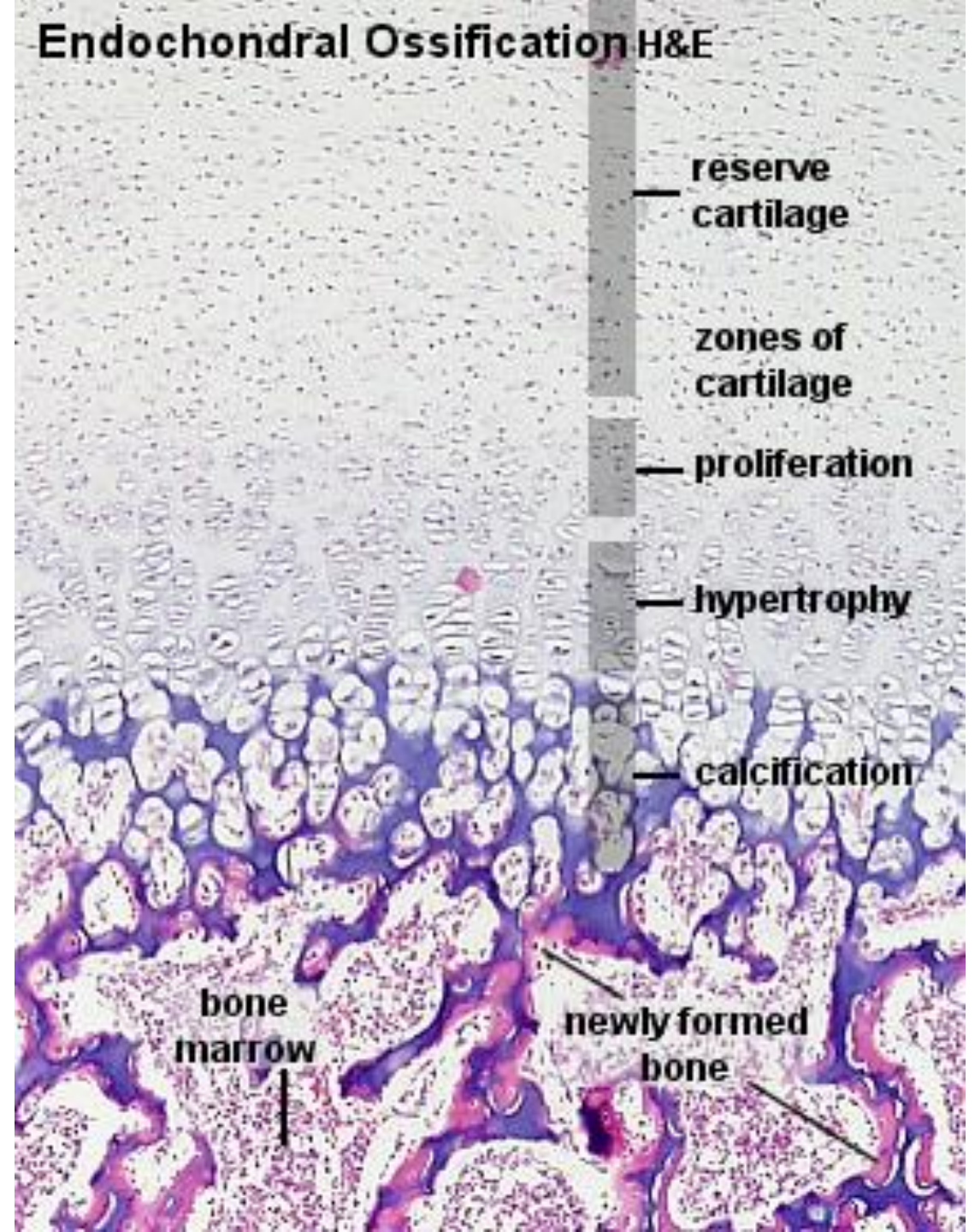
- chondroklasty rozrušují kalcifik. chrupavku, zbytky zůstávají jako směrové trámce

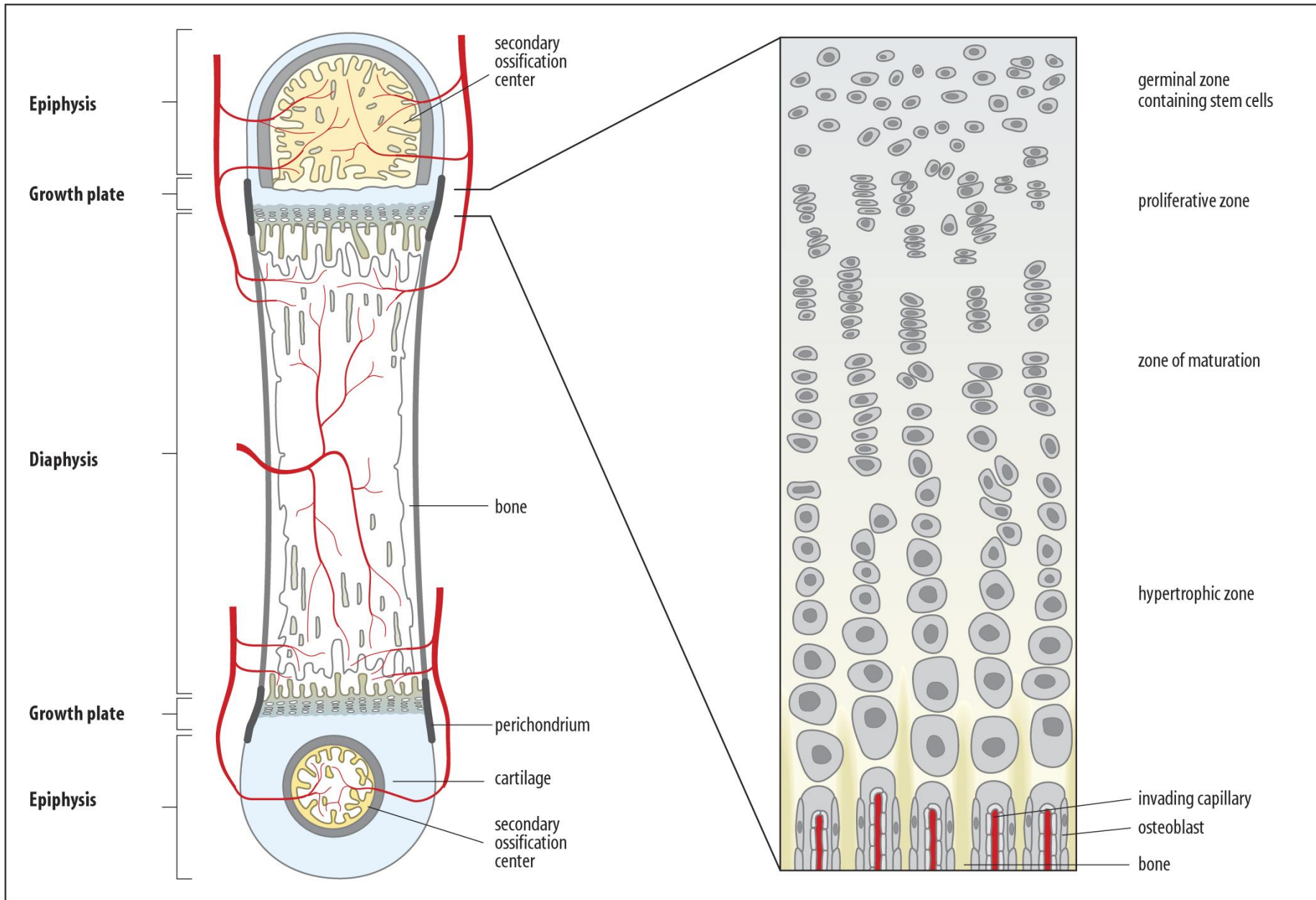
Zóna osifikace

- osteoblasty nasedají na směrové trámce, ukládají osteoid, osteoblasty → osteocyty, mineralizace

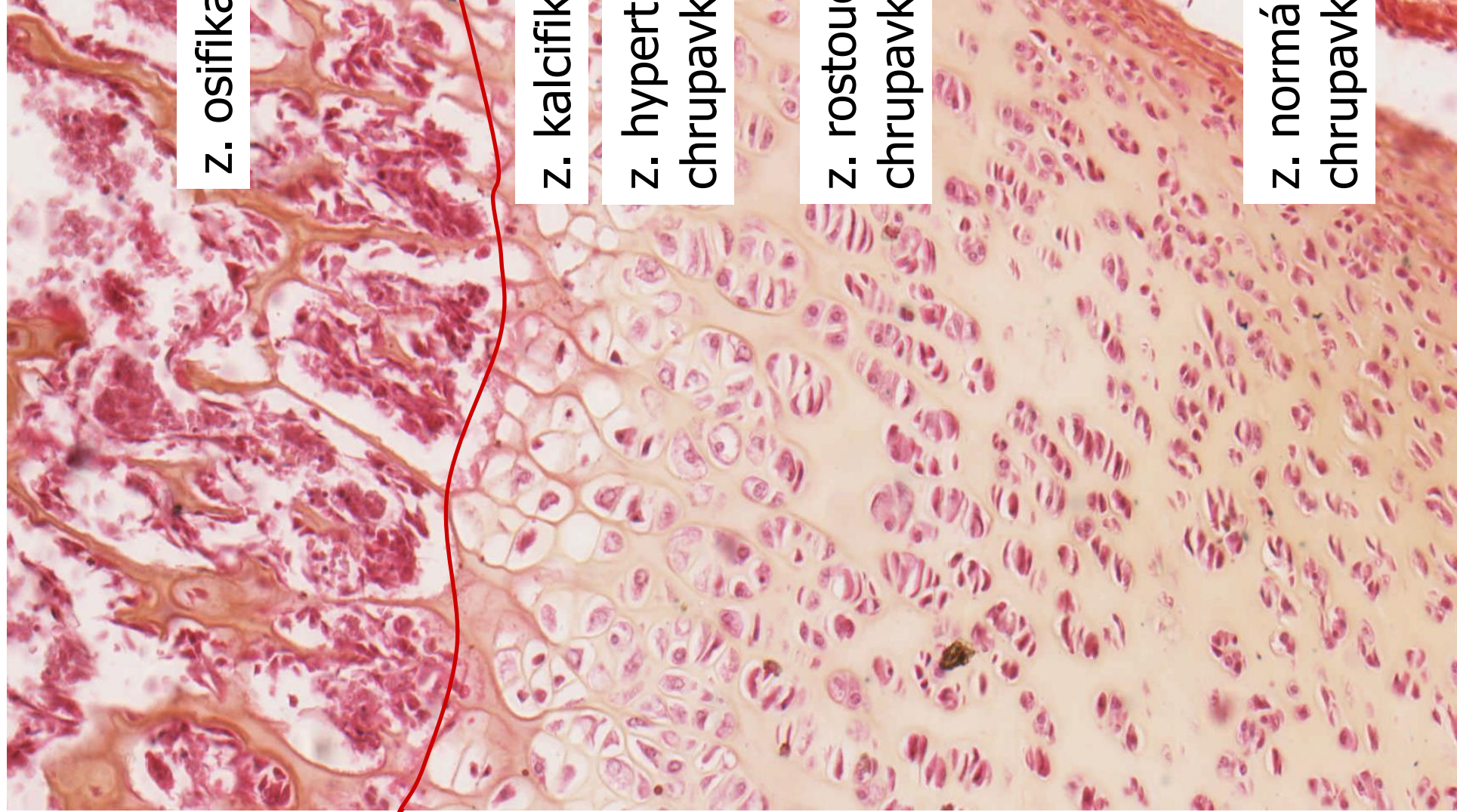
Zóna reabsorpce

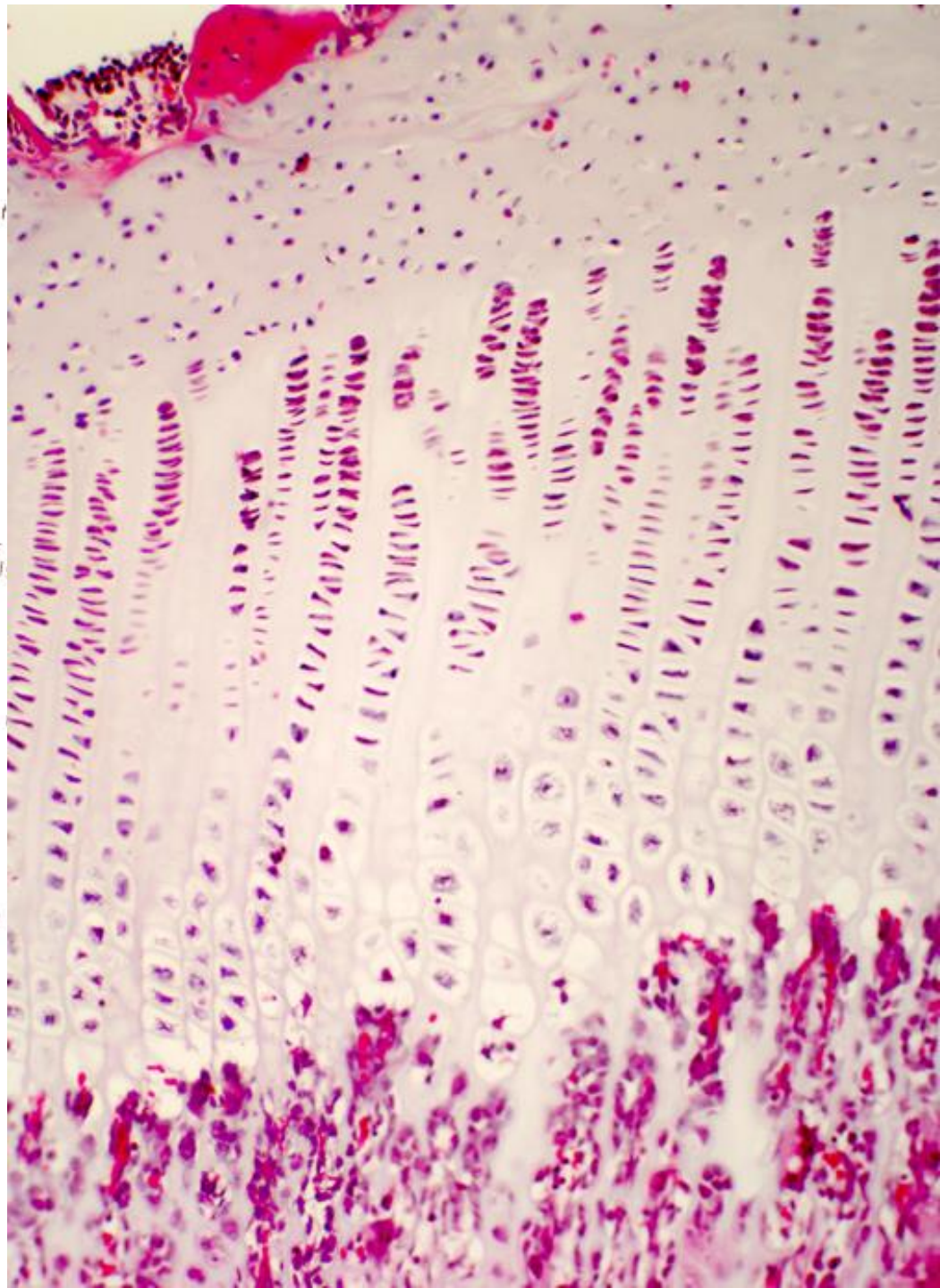
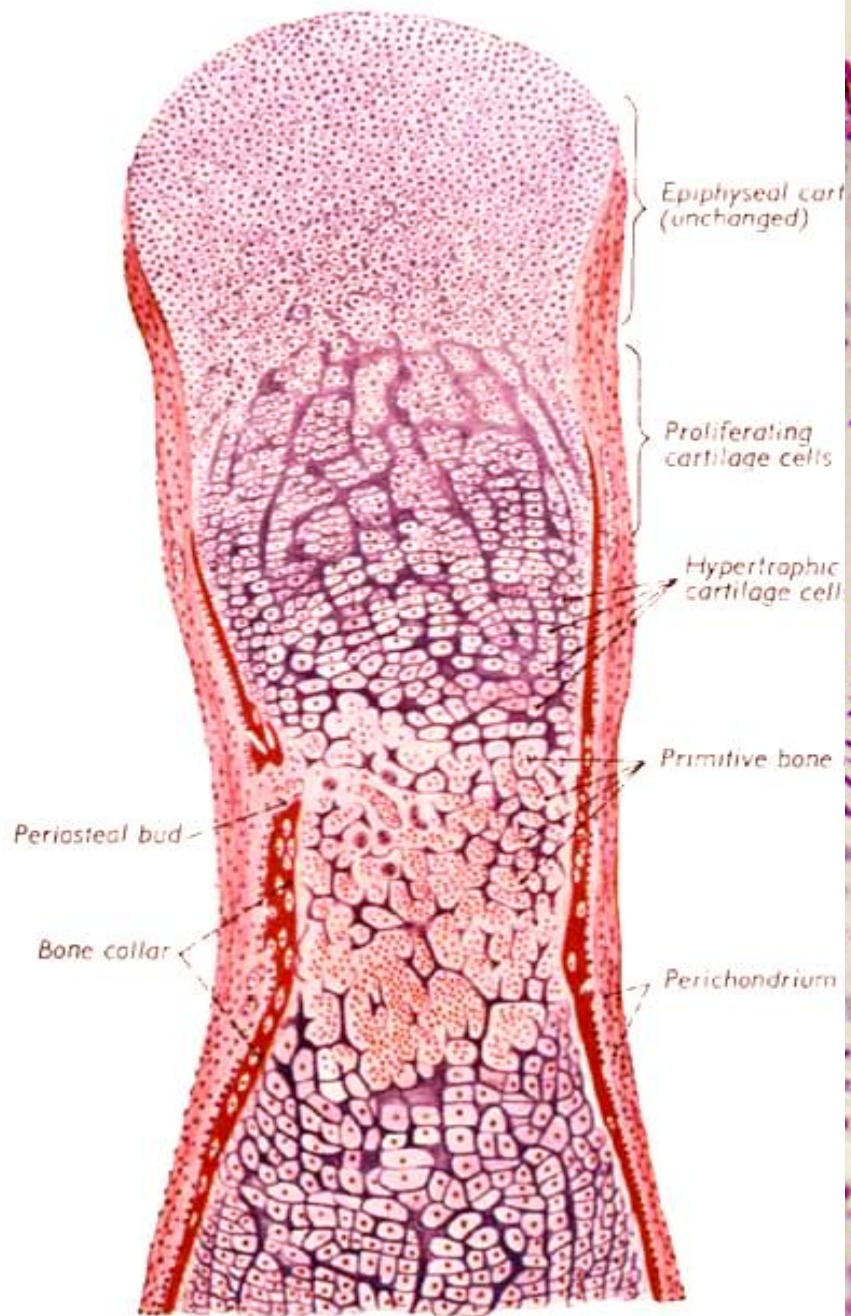
Endochondral Ossification H&E





Chondrogenní osifikace (HEŠ)





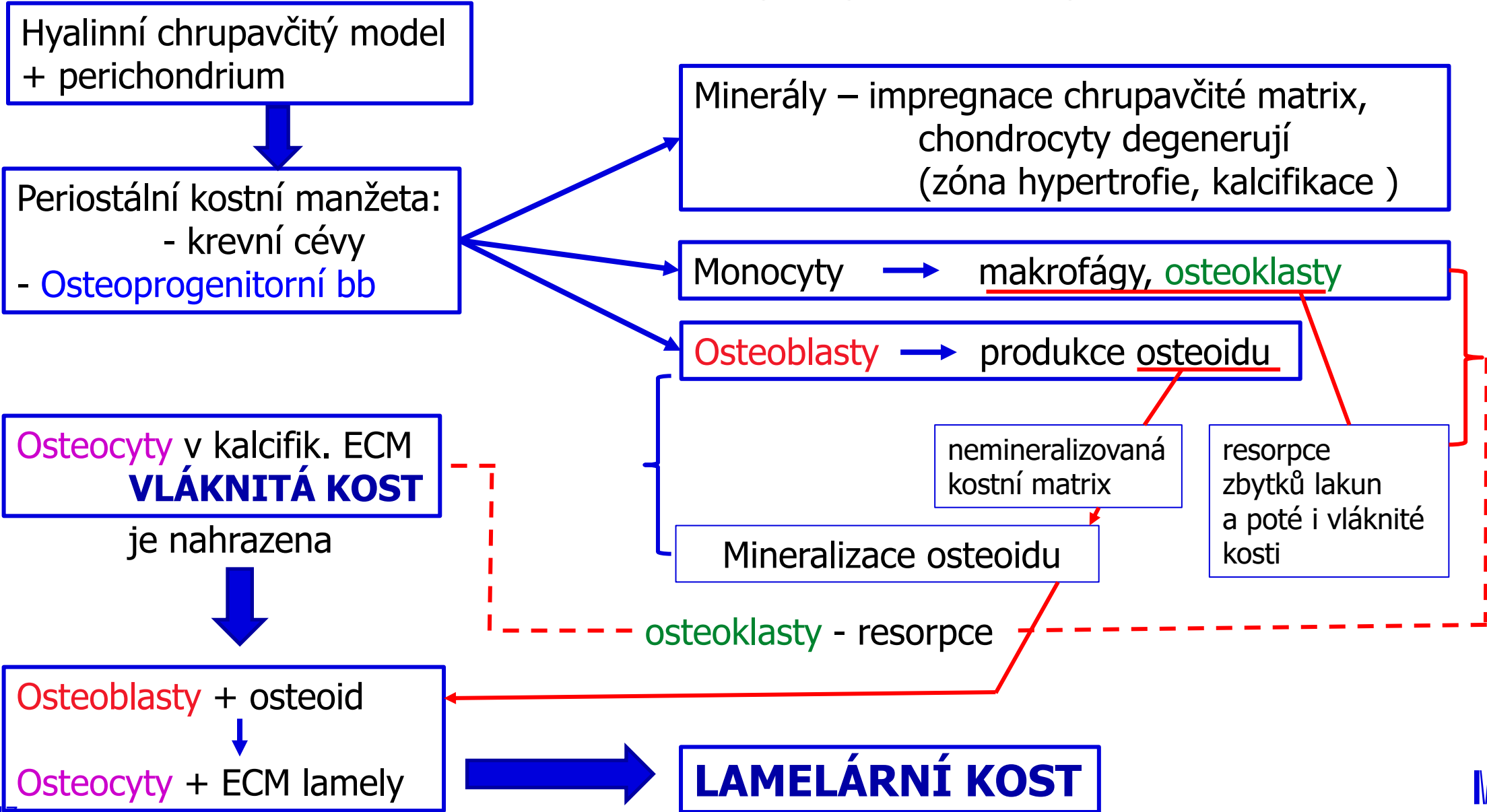
Chondrogenní (endochondrální) osifikace

Sekundární osifikace

- přestavba kosti za účasti osteoklastů a osteoblastů
- vznikají Haversovy systémy (osteony)

- Pozn. přestavba kosti probíhá po celý život – zčásti odbourané Haversovy systémy patrné jako intersticiální lamely

ENDOCHONDRÁLNÍ OSSIFIKACE



Regulace růstu kostní tkáně

- remodelace kostní tkáně – 10 % za rok
- přizpůsobení kosti na proměny zatížení, podíl na metabolismu Ca^{2+} a fosfátů
- osteoblasty a osteoklasty se navzájem ovlivňují a spolu tvoří jednotku

- **cyklus remodelace** (cca čtyři měsíce) - 3 fáze:
 - stimul (např. fyzická zátěž)
 - resorpce kosti osteoklasty
 - novotvorba kosti osteoblasty

- **Hormony**
- **Parakrinní signály**

Hormony

- **růstový hormon** z hypofýzy stimuluje proliferaci chondrocytů a osteoprogenitorních buněk
- **estrogeny** zpomalují odbourávání kostní tkáně (↓E – osteoporosa)
- **parathormon** příštítných tělísek – ↓Ca v kosti, ↑Ca v krvi, (aktivuje osteoblasty, které následně aktivují osteoklasty)
- **kalcitonin** ze štítné žlázy – ↑Ca v kosti, ↓Ca v krvi, (inhibuje osteoklasty)
- **kalcitriol** (derivát vitamínu D) - stimuluje v tenkém střevě absorpci Ca^{2+} a fosfátů, aktivuje osteoblasty k syntéze kolagenu



A řada dalších...

Další hormony

- inzulin - zvyšuje syntetickou aktivitu osteoblastů
- glukokortikoidy - snižují tvorbu kosti (inhibují proteosyntézu v osteoblastech a jejich diferenciaci)
- hormony štítné žlázy - stimulují osteoklasty, aktivují kostní remodelaci

Parakrinní signály

- Faktory stimulující osteoblasty (fibroblastový růstový faktor, kostní morfogenetický faktor, atd.)
- Faktory stimulující osteoklasty (interferon γ , některé interleukiny (IL-1, IL-6 atd.))

Regenerace kostní tkáně

- regenerace obecně od periostu

Zlomená kost

- porušením kostních cév vznikne krevní výron (**hematom**)
- z buněk stěny porušených cév se v hematomu diferencují vazivové buňky, produkují kolagenní vlákna a amorfni hmotu → **vazivový svalek** (kalus)
- vazivové buňky se přemění na buňky chrupavky a přemění vazivový svalek na chrupavčitý (hyalinní chrupavka)
- **chrupavčitý svalek** kalcifikuje ukládáním minerálních látek
- aktivují se osteoprogenitorní buňky (od periostu a endostu), které produkují kostní matrix a vzniká postupně **kostěnný svalek** → **lamelózní kost**

Kostrové spoje

Kostrové spoje (synartrózy, diartrózy).

Kostrové spoje

- **Synartrózy** – souvislá spojení **bez štěrbiny** pomocí vaziva chrupavky nebo kosti
- **Diartrózy** – spojení pomocí kloubů (**štěrbina**)

Synartrózy

- (ne)pohyblivé spoje vazivem, chrupavkou nebo kostní tkání bez štěrbiny
- **syndesmosis** - spojení **vazivem** (sutury lebeční, závěsný aparát zubu = gomphosis).
- **sychondrosis** - spojení pomocí **chrupavky**, symphysis ossis pubis (srůst kostí stydkých – vazivová chrupavka) nebo žebra a kost hrudní (hyalinní chrupavka).
- **synostosis** - spojení pomocí **kosti** - ossa illium + pubis + ischii = os coxae (kost pánevní), os sacrum (křížová) = z pěti obratlů

Pozn.:

- *Ankylóza – patol. synostóza*
- *Artrodéza – operativně navozená ankylóza odstraněním kloubních chrupavek (při nestabilitě kloubu)*

Syndesmosis

Husté kolagenní vazivo uspořádaného typu

- vazy (ligamenta) – delší provazcovité spoje
- švy (sutury) – spoje mezi plochými kostmi
 - okraje kostí rovné – sutura laevis (př. sutura internasalis)
 - okraje kostí seříznuté – sutura squamosa (př. sutura parietotemporalis)
 - okraje kostí vroubkované – sutura serrata (př. sutura sagittalis)
- vklínění (gomphosis) – kořen zubu se zubním lůžkem

Elastické vazivo

- ligamenta interarticularia a lig. stylohyoideum

Synchondrosis

Hyalinní chrupavka

- za vývoje – os coxae
- postnatálně – žeberní chrupavky

Vazivová chrupavka = SYMFÝZA

- **stydká spona** – ploténka vazivové chrupavky, nahoře a dole zpevněna vazy (lig.pubicum, lig.arcuratum pubis)
- **meziobratlové ploténky** – 2 komponenty
 - **Anulus fibrosus** – hutný prstenec, na povrchu vazivový, dovnitř přechází ve vazivovou chrupavku
 - **Nucleus pulposus** – rosolovité centrální jádro (pozůstatek chorda dorsalis) – voda, ostrůvky chordových buněk, nestlačitelné, dobře odolává tlaku

Synostosis

- os coxae, os sacrum
- sekundární synostózy – zvápenatěním švů na lebce (po 40.roce)

Diartrózy

- **pohyblivé spojení** 2 nebo více kostí pomocí **kloubu** (articulatio, arthron, diarthrosis, articulatio synovialis)
- součásti kloubu:
 - kloubní plošky s chrupavkou
 - kloubní štěrbina
 - kloubní pouzdro z hustého kolagenního vaziva
 - synoviální tekutina
 - (pomocná zařízení)

Kloub

- významný pojem v kineziologii a chiroterapii
- pojem vystihuje funkční souvislost kloubů a svalů
- bolestivý kloub → svalový spasmus → blokace pohybu kloubu



Pohyby kloubů

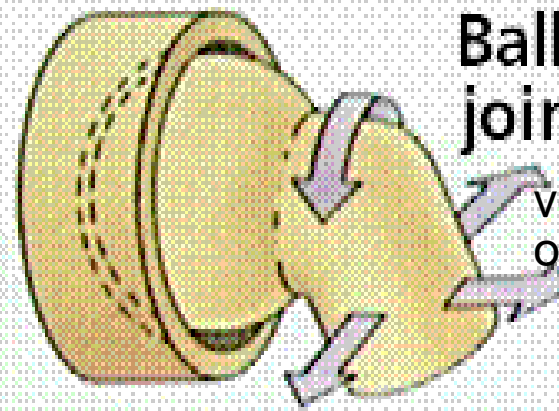
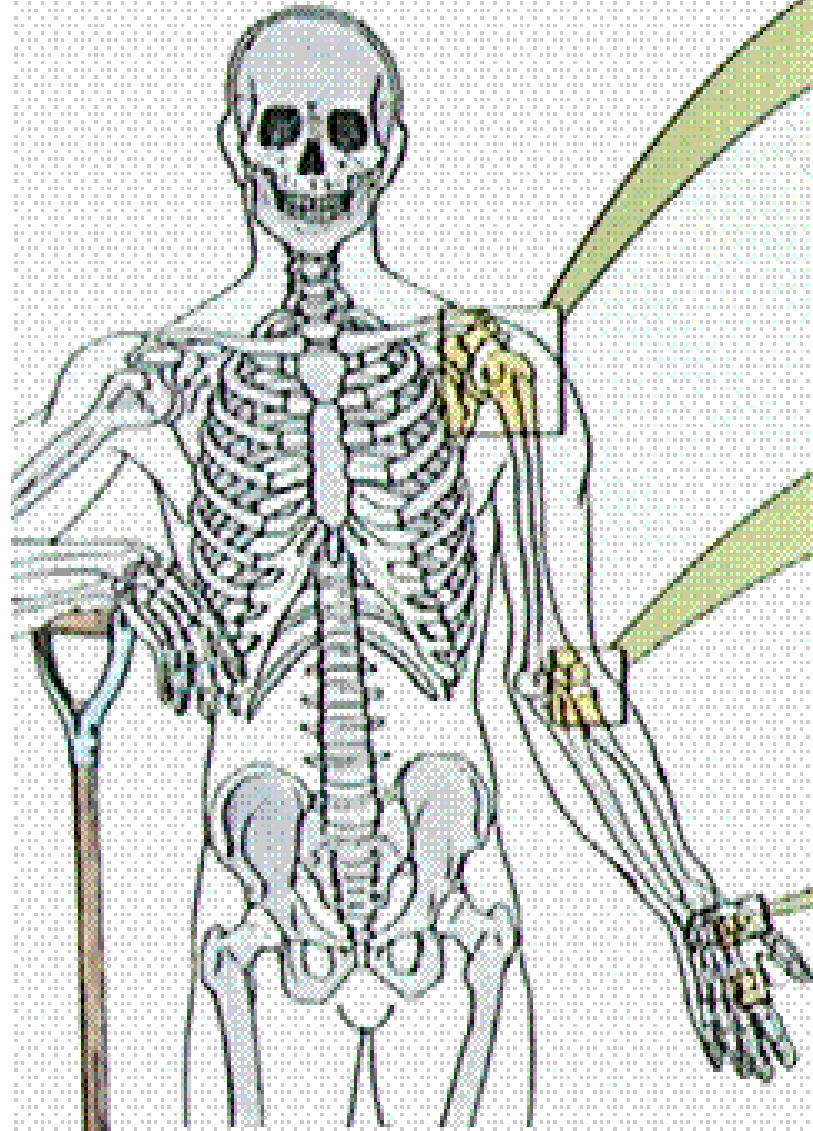
- flexe (ohnutí) – extenze (natažení)
- addukce (přitažení) – abdukce (odtažení)
- rotace (otáčení)
- cirkumdukce (kroužení)

Typy kloubů

- dle počtu prvků kloubu – jednoduché (2 kosti) x složené (více kostí, 2 kosti + discus či meniscus)
- dle rozsahu pohybu – tuhé x více pohyblivé
- dle tvaru styčných ploch – kulový, cylindrický, sedlový, elipsovitý, bikondylární, plochý
- dle pohybu v ose – 1, 2, 3 osy

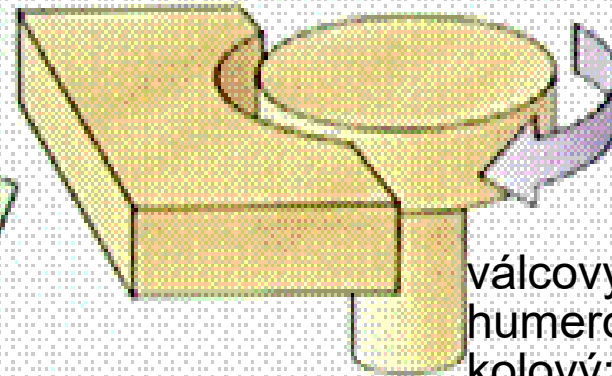
Types of Joints

Typy kloubů



Ball and socket joint **kulový**

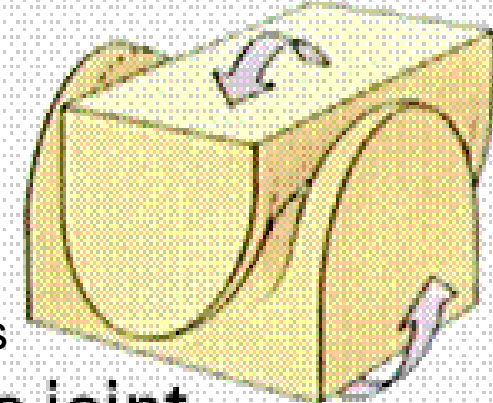
volný: ramenní
omezený: kyčelní



Pivot joint

cylindrický

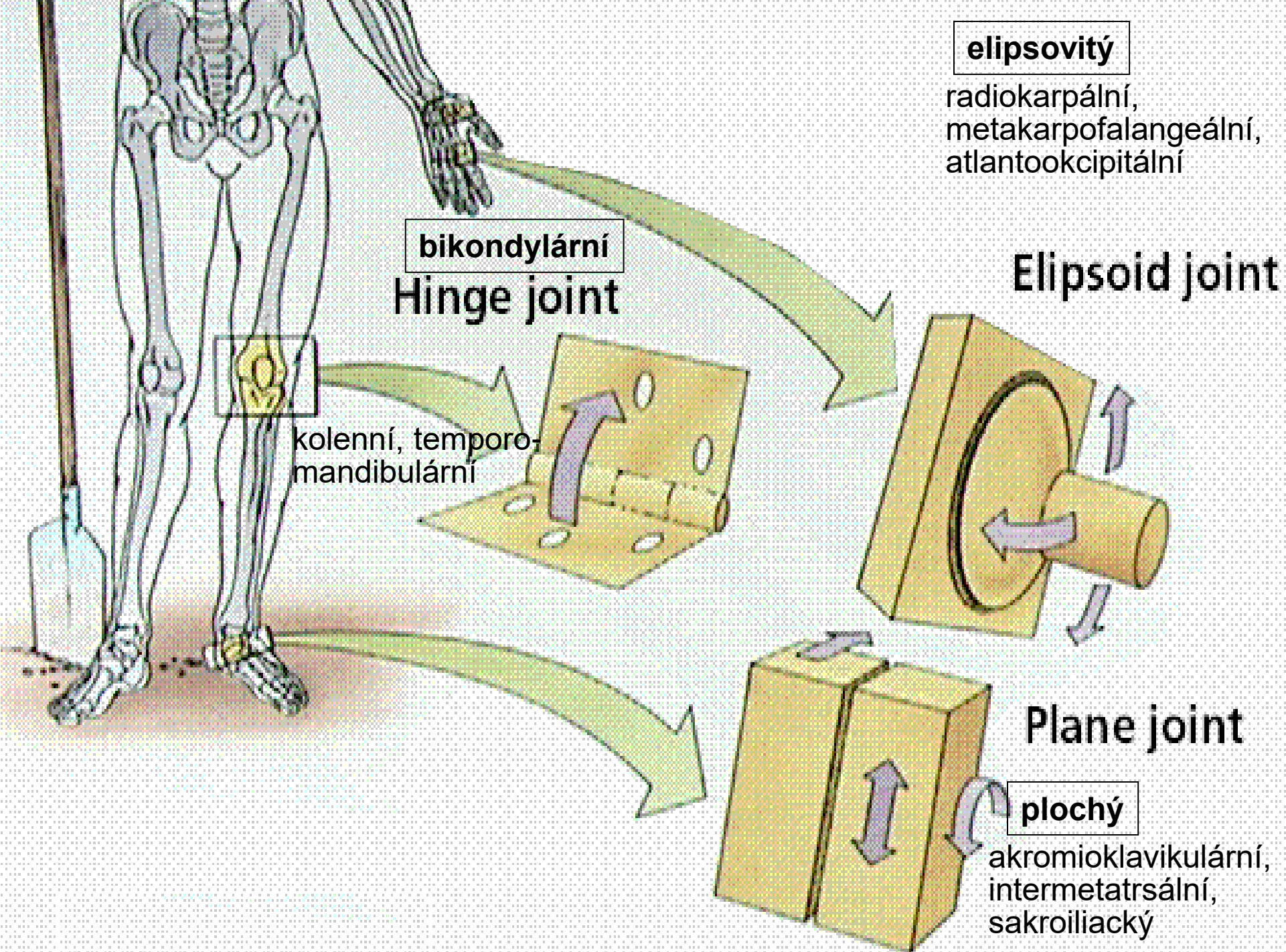
válcový: interfalang.,
humeroulnární;
kolový: atlantoaxiální,
radioulnární



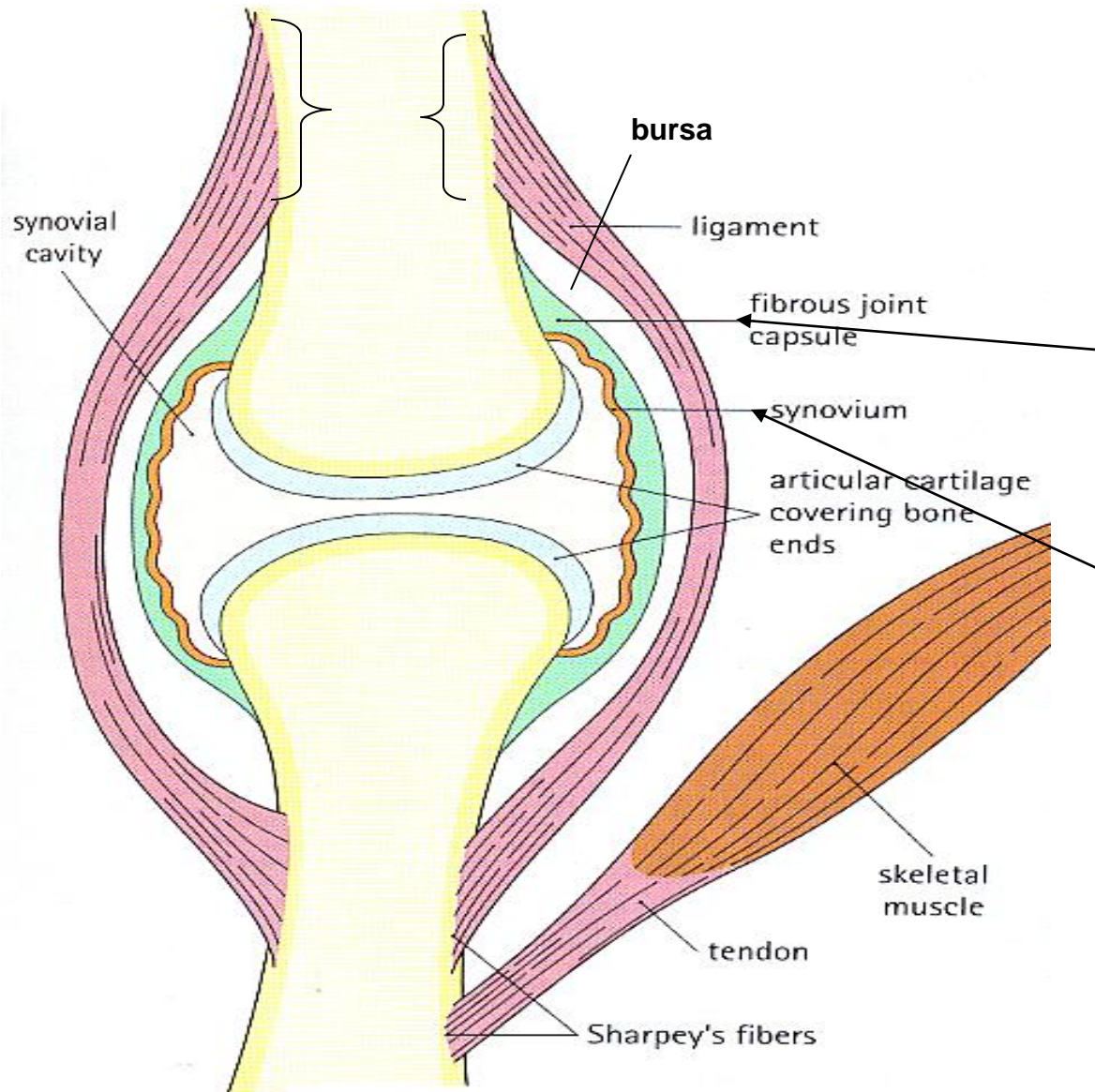
sedlový

Art. carpometacarpalis
pollicis

Saddle joint



Kloub (diarthrosis, articulatio synovialis)



Kloubní plochy - chrupavka -
hyalinní* bez perichondria; kryje
konce kosti

Kloubní pouzdro navazuje na
periost

Synoviální membrána vystýlá
kloubní pouzdro, produkuje
synoviální tekutinu

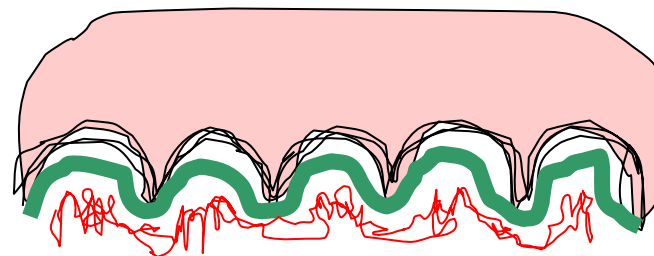
Kloubní šterbina

Kloubní plochy - chrupavka

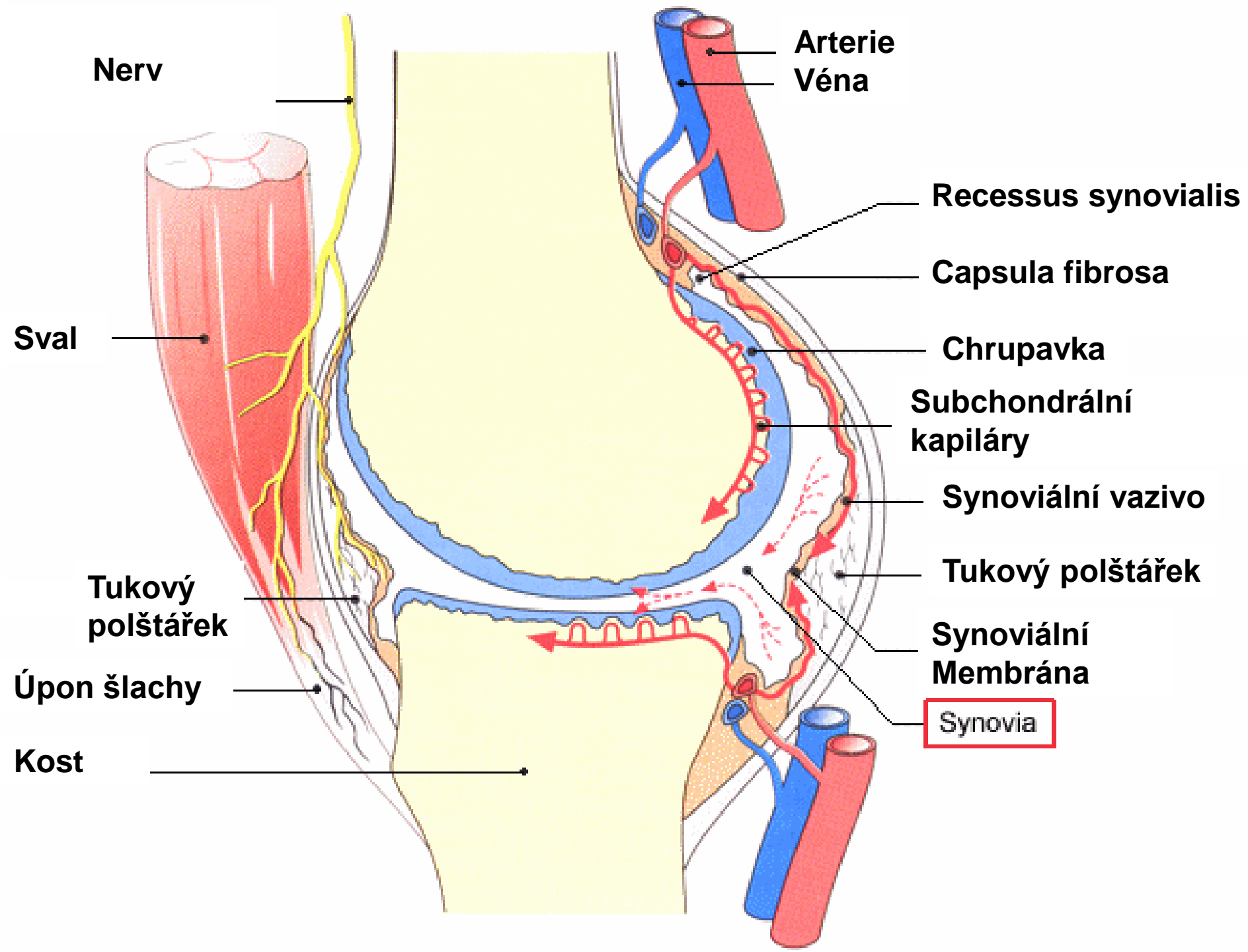
- povrch kloubních ploch pokryt bezcévnou **hyalinní chrupavkou** (0,2 - 6 mm),
- zabezpečuje jemný a pružný pohyb kloubu → brání tření kostí o sebe
- vzácněji **vazivová chrupavka** (art. temporomandibularis, art. acromioclavicularis, art. sternoclavicularis)
- kloubní chrupavka - **porézní materiál** se submikroskopickými otvory, do nich je **vtlačována** a z nich **vytlačována synoviální tekutina** → při zatížení se chrupavka pružně deformuje

Kloubní chrupavka

- kloubní chrupavka nemá perichondrium - je vyživována synoviální tekutinou a subchondrálními* kapilárami v kosti
- základní hmota obsahuje hodně vody (60-80%) a protein-polysacharidový komplex s kys. hyaluronovou (vysoká viskozita a hydrofilie), obě složky významné při mazání a pružnosti kloubu
- připojuje se na kost kolagenními vlákny uspořádanými do podoby arkád



linie osifikace
subchondrální kapiláry

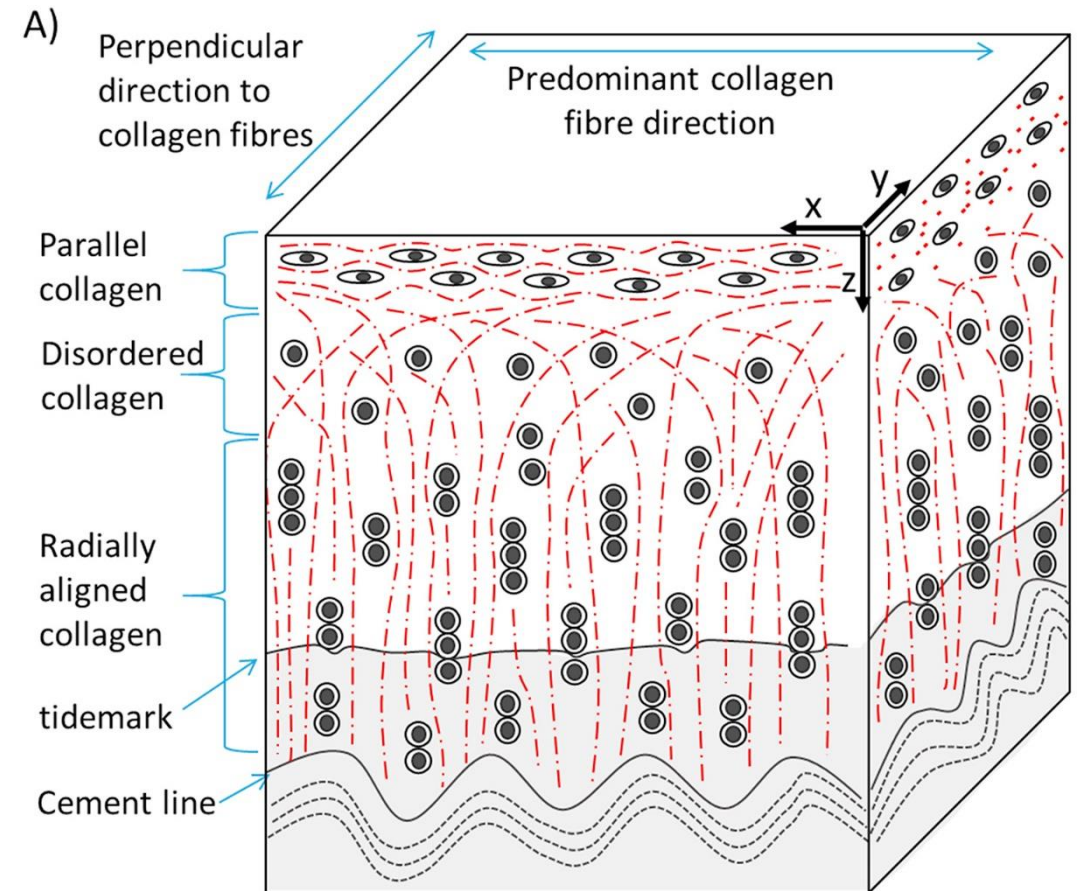


Kloubní chrupavka

Stavba se mění od povrchu do hloubky:

- **chondrocyty** **oploštělé** rovnoběžně s povrchem → **kulovité** → **protáhlé** v ose kolmé k povrchu a **vertikální izogenetické řady**
- **kolagenní vlákna** rovnoběžně s povrchem → **neuspořádaně** → **obloukovitě až radiálně**

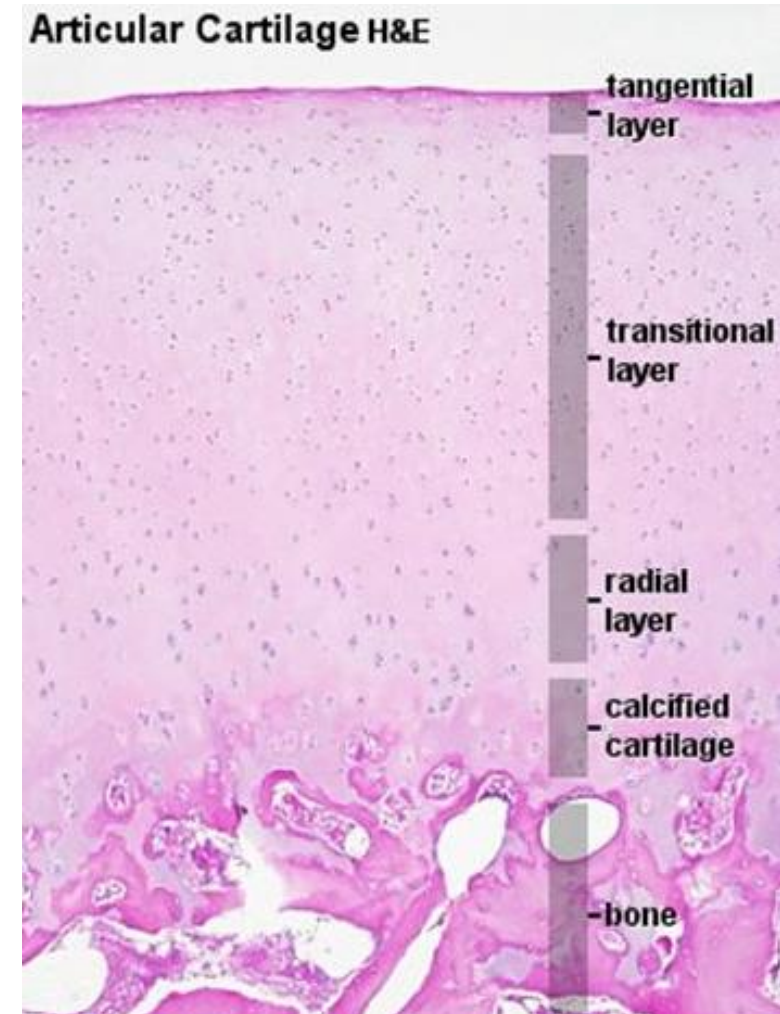
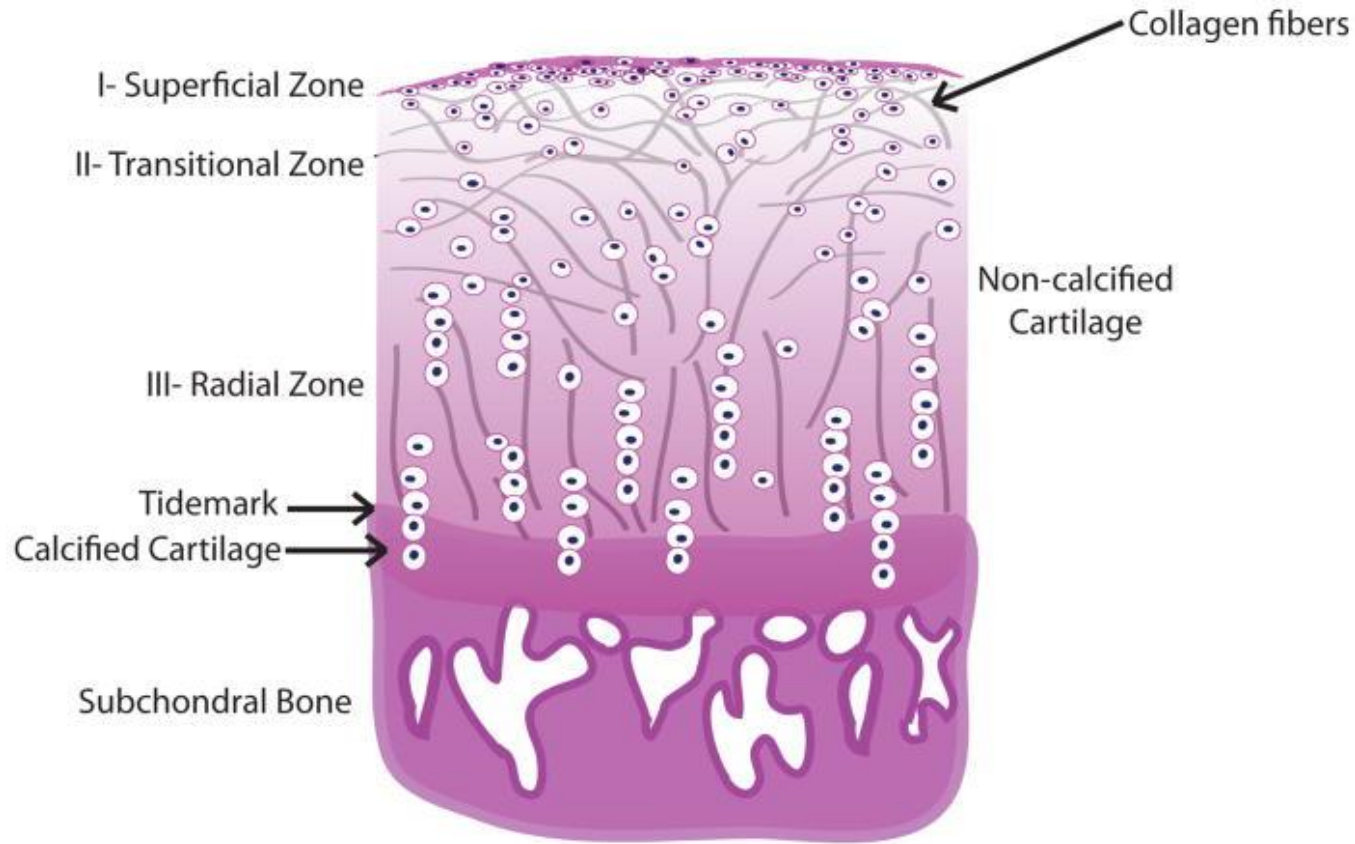
Chrupavka tedy dobře odolává namáhání



Mansfield et al.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1063458415011875>

MUNI
MED

Kloubní chrupavka



Kloubní pouzdro

- vazivová manžeta, upíná se na konce kostí, odděluje kloubní dutinu od okolí
- zevní vrstva – **stratum fibrosum**
- vnitřní vrstva – **stratum synoviale**

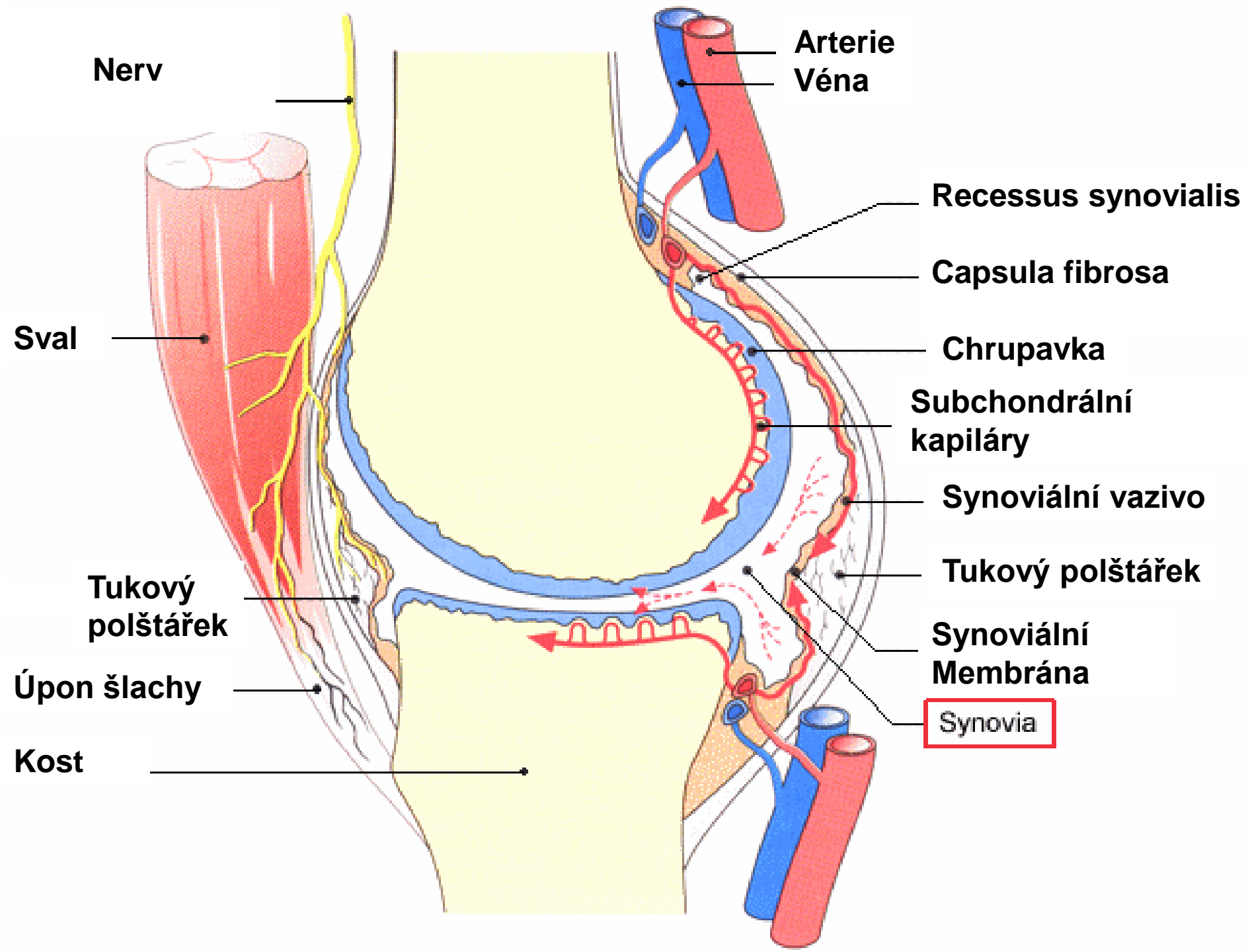
Kloubní pouzdro – **stratum fibrosum**

- husté kolagenní vazivo, do různé míry protkáno **elastickými vlákny**
- přechází plynule do periostu a upíná se na kost
- obsahuje **cévy a nervy**

- + **kapsulární a extrakapsulární vazy** – zpevňují pouzdro a stabilizují klouby
- + **úpony mm. articulares** - napínají kloubní pouzdra a zabraňují jejich uskřinutí

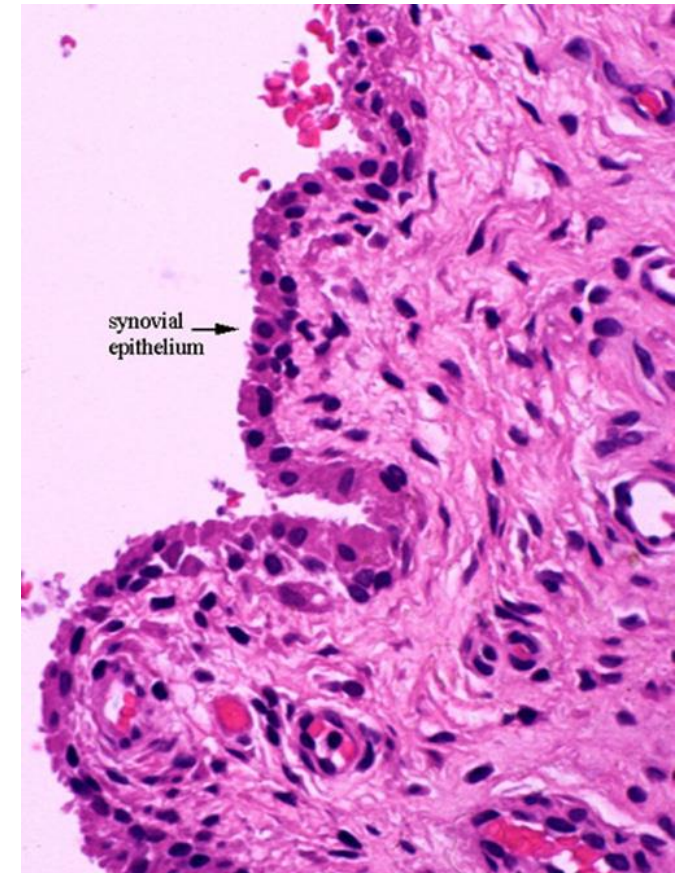
Kloubní pouzdro – **stratum synoviale**

- „**synoviální membrána**“
- řídké kolagenní vazivo, četné tukové buňky, elastická vlákna, krevní a mízní cévy, nervy, nervová zakončení (volná a Vater-Paciniho tělíška)
- vnitřní povrch je lesklý a hladký, nesouvislá vrstva buněk epiteloidního vzhledu - **synovialocyty**, může však vybíhat v řasy (**plicae synoviales**) a v drobné klky (**villi synoviales**)

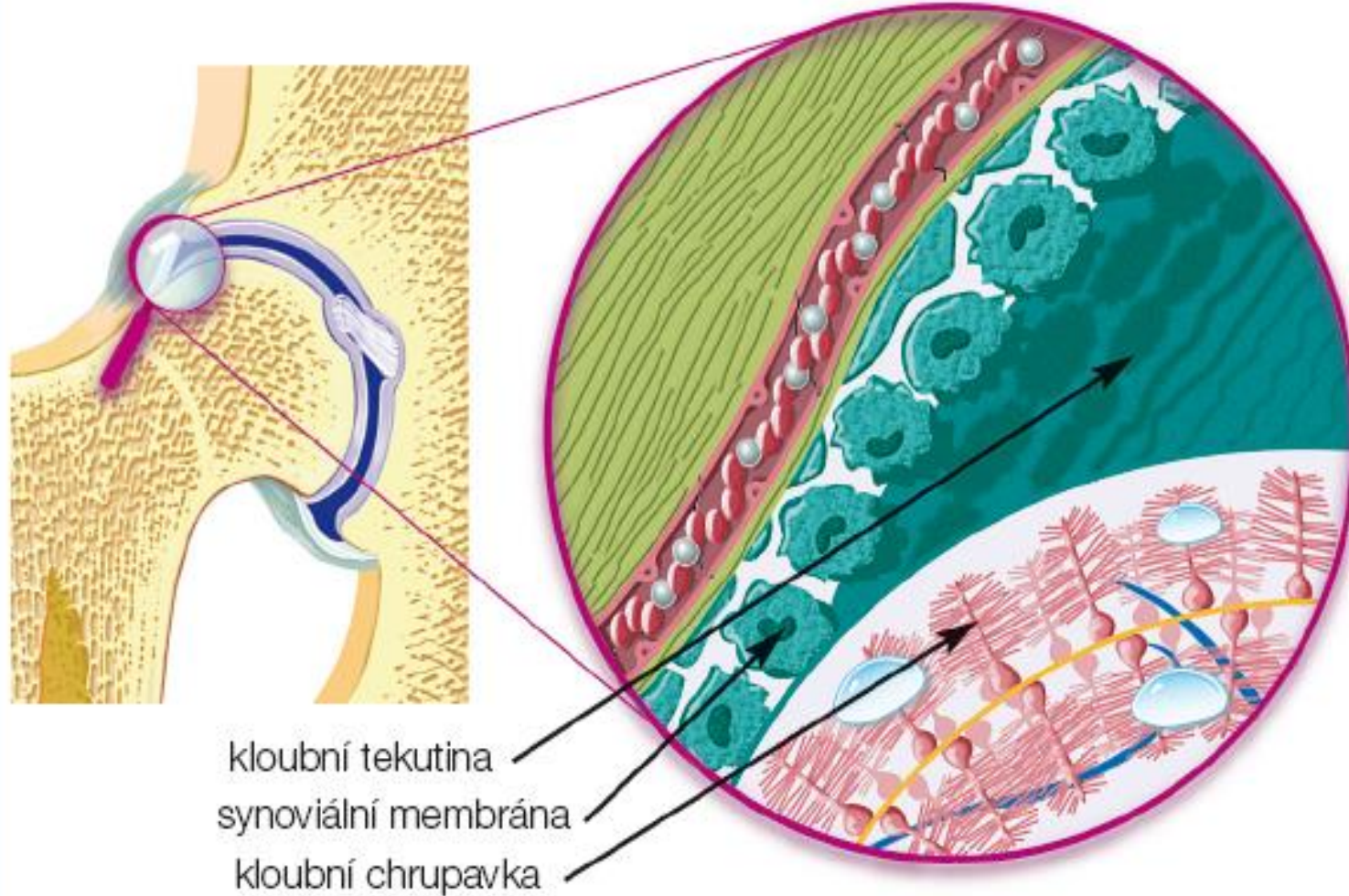


Synoviální buňky - synovialocyty

- **synovialocyty** – leží na kolagenních vláknech hlubších vrstev, ale i mezi nimi
- **synovialocyty A** – **fagocytují** např. lipidy, hemosiderin, imunokomplexy apod., obsahují velký Golgiho aparát a mnoho lyzozomů
- **synovialocyty B** (~ fibroblasty) – obsahují drsné endoplazmatické retikulum, podílí se na produkci **synoviální tekutiny** (proteoglykany a kys. hyaluronová)



Synoviální membrána



Kloub je chráněn kloubním pouzdrém, které zevnitř vystýlá synoviální membrána. Ta produkuje kloubní tekutinu, nezbytný zdroj živin pro chrupavčitou část kloubu.

Synoviální tekutina

- **ultrafiltrát krevní plazmy**

(za fyziol. podmínek obsahují synoviální klouby malé množství tekutiny; v kolenním kloubu asi 2ml)

- usnadňuje hladké klouzavé pohyby kloubních ploch
- zvyšuje a udržuje pružnost chrupavek
- přináší kyslík a živiny k bezcévné hyalinní chrupavce

- čirá, nažloutlá, viskózní, (pH = 7,4 – 7,7) a obsahuje:
 - 97 % vody,
 - 1-2 % proteoglykanů a kys.hyaluronové (2,6 g/l),
 - glukózu (66 mg/100 ml)
 - 1 % minerálních látek
 - vyskytují se v ní také buňky (lymfocyty, monocyty, synovialocyty,... - cca 60/ml) či větší kousky utržených klků

Kloubní pouzdro – stratum synoviale

- **Synoviální membrána - značná reparační schopnost**
- schopna rychle a úplně regenerovat, mitotickým dělením subsynoviálních buněk a buněk stratum fibrosum (relativně málo diferencovaných) a synoviální tkáň může rychle růst
- *[Tato vlastnost má význam v případech, kdy je třeba synoviální membránu chirurgicky odstranit. Synoviální membrána, v pokusu úplně odstraněná, zregenerovala do 60 dnů.]*

Pomocná kloubní zařízení

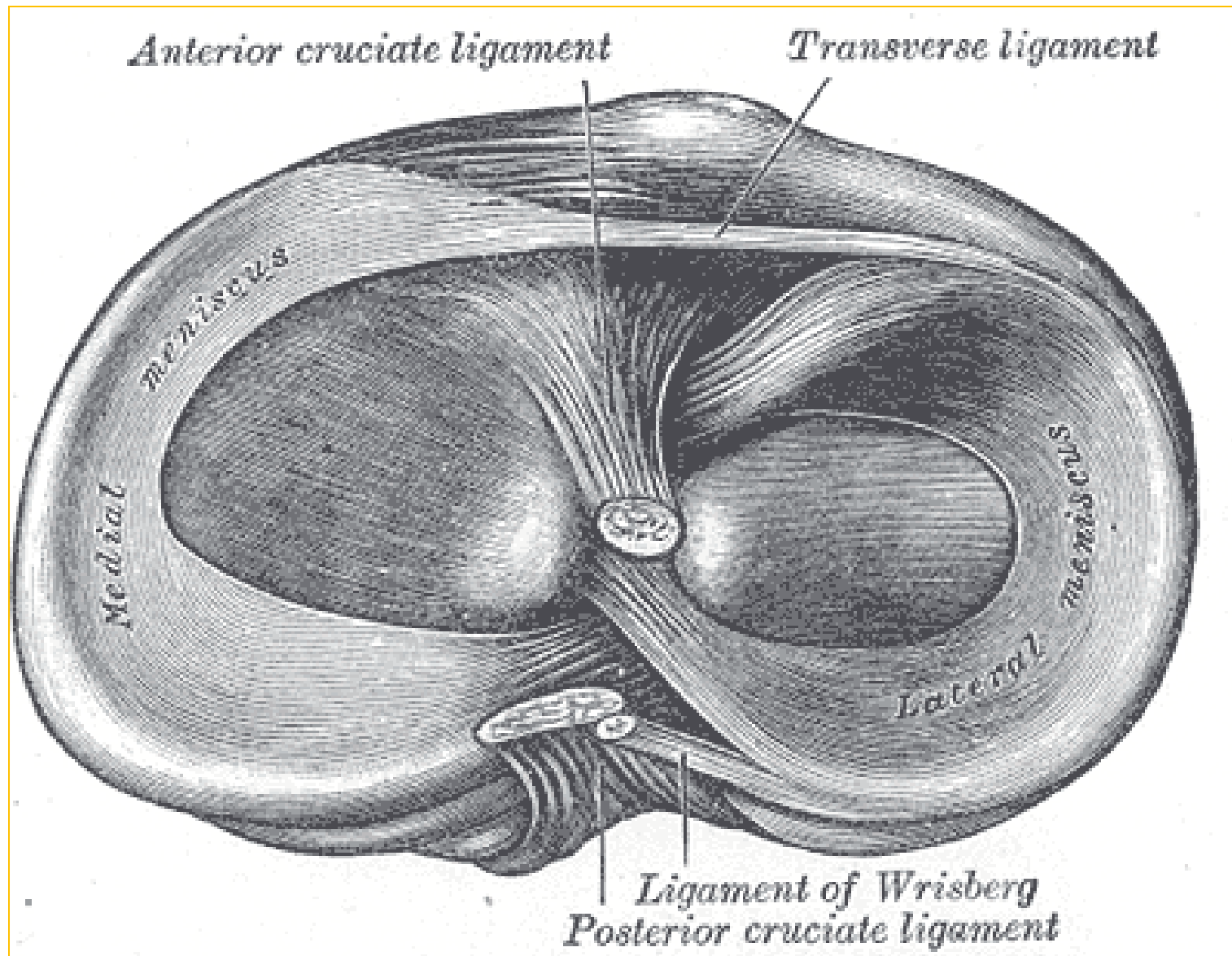
- Kloubní vazy
- Kloubní ploténky (disky, menisky)
- Kloubní rty
- Synoviální váčky a pochvy

Kloubní vazy (ligamenta articularia)

- husté kolagenní uspořádané vazivo
- zabraňují oddálení kloubních plošek od sebe
- kapsulární a extrakapsulární vazy – zpevňují pouzdro a stabilizují klouby
- úpony mm. articulares - napínají kloubní pouzdra a zabraňují jejich uskřinutí

Intraartikulární struktury

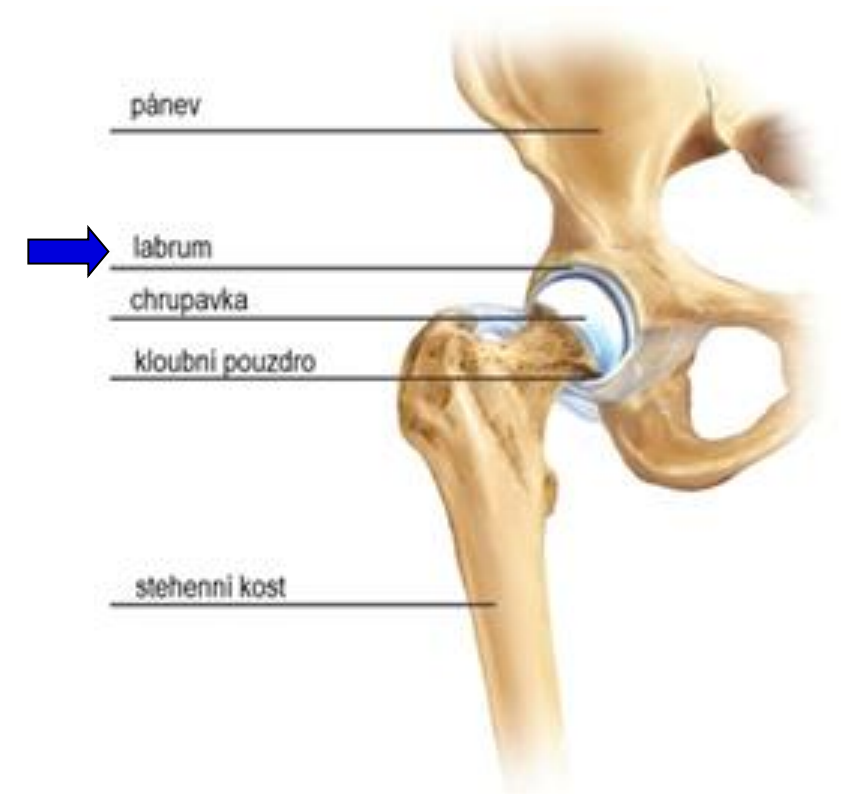
- v některých kloubech - kloubní disky nebo menisky, tvořené bezcévnou **vazivovou chrupavkou**, výživa difúzí ze synoviální tekutiny
- **menisky** (meniscus lateralis et medialis) - v kolenních kloubech, srpovitý tvar
- **disky** (discus articulares) se upínají na kloubní pouzdro, mají tvar souvislé ploténky a rozdělují kloubní dutinu na 2 části (klouby sterno-klavikulární, temporomandibulární, akromioklavikulární a distální radioulnární)



Menisky jsou pružné a pevné – tlumí nárazy, přenášejí a rozkládají hmotnost těla a brání opotřebení kloubní chrupavky.

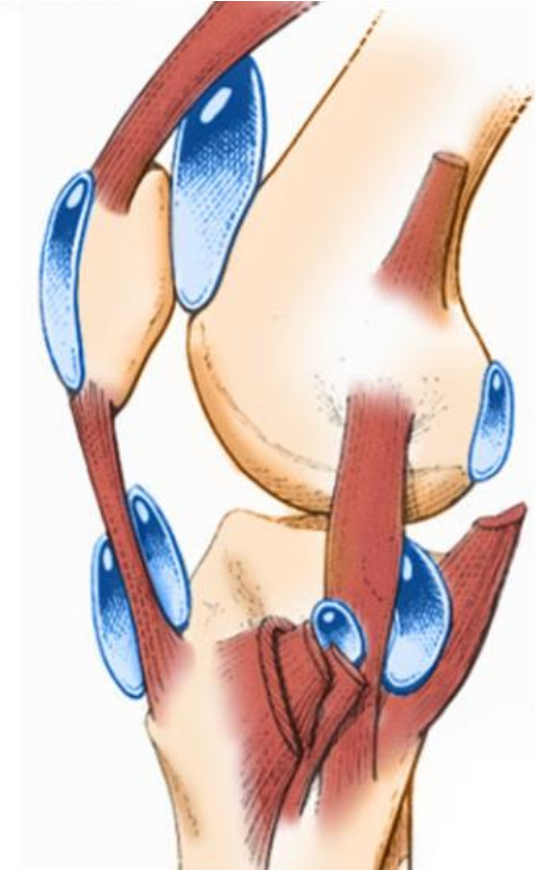
Kloubní rty (labia/labra articularia)

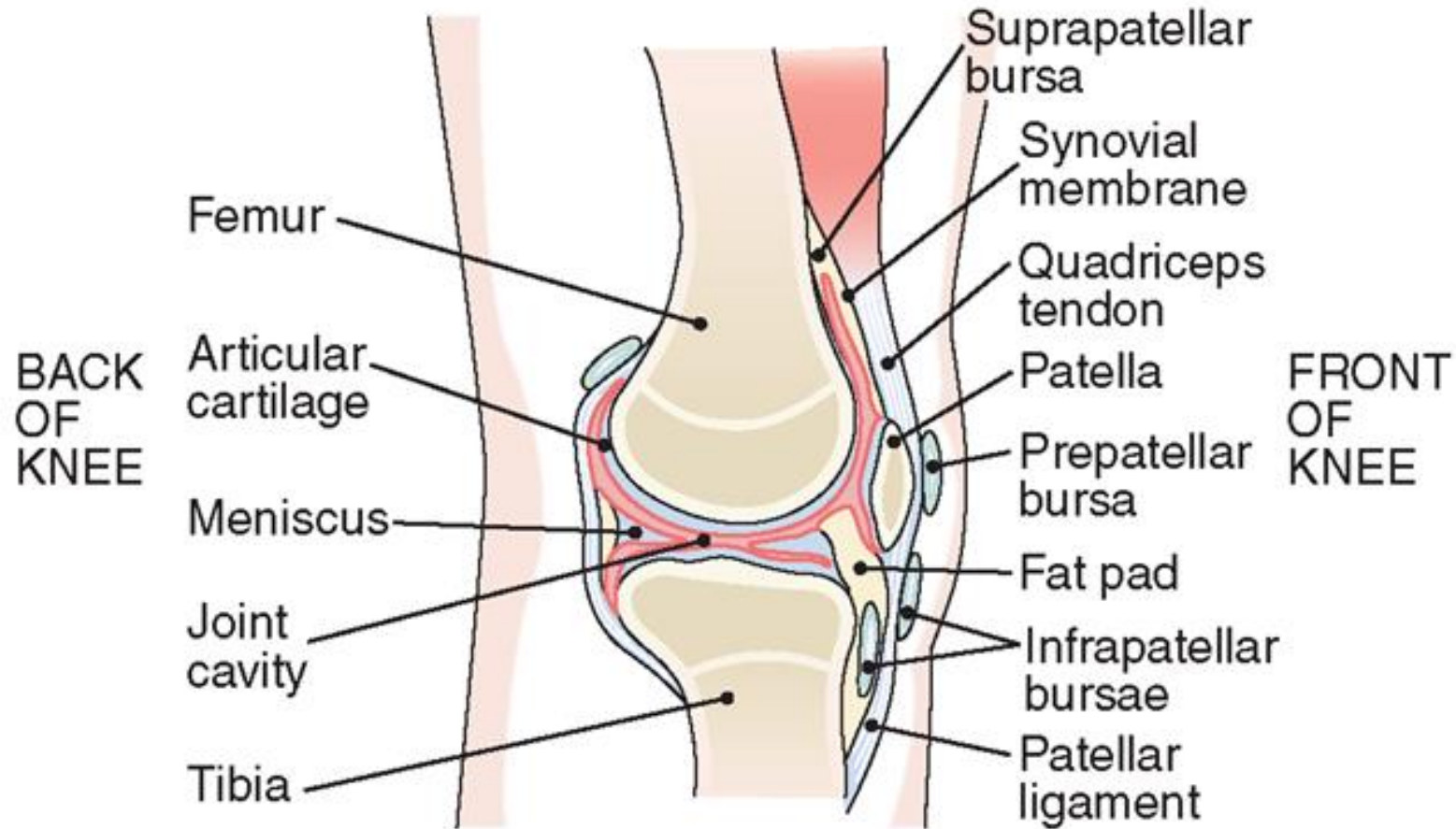
- lem kloubní jamky z **vazivové chrupavky**
- prohlubuje a zvyšuje stabilitu kloubu
(př. kyčelní a ramenní kloub)



Synoviální váčky (burzy) a pochvy

- stejná stavba jako kloubní pouzdro
- tíhové váčky tvořené synoviální blankou a vyplněné kloubním mazem
- výskyt: v místech styku svalů a šlach s kostním podkladem kloubu
- minimalizují tření a usnadňují posun kloubů





Poznámka na závěr:

Vlastnosti pojivových tkání se v průběhu života mění a proces stárnutí významně ovlivňuje fyziologický rozsah pohybu a pevnost a pružnost pojivového aparátu

