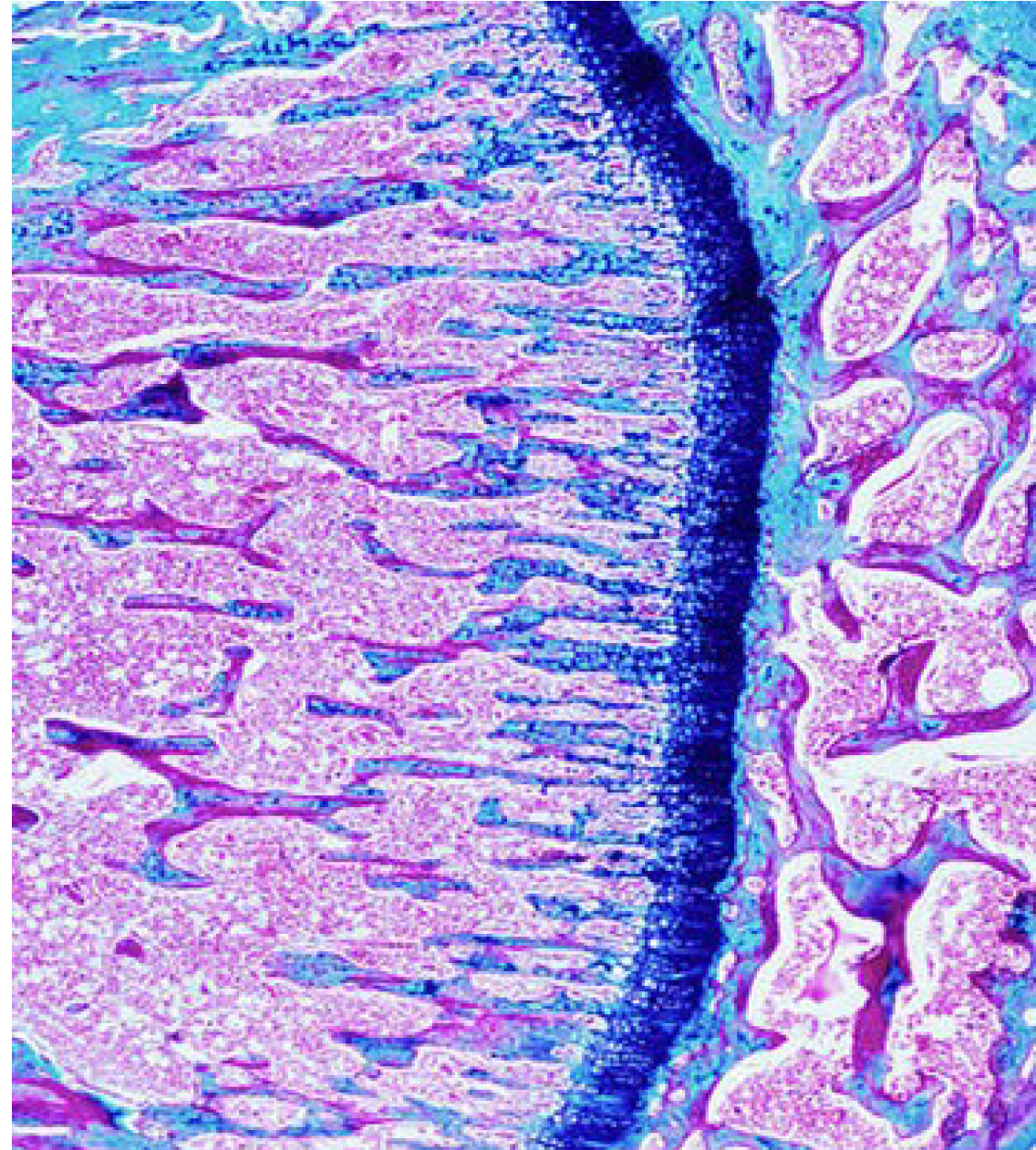


# Osteokinematika a chrupavka

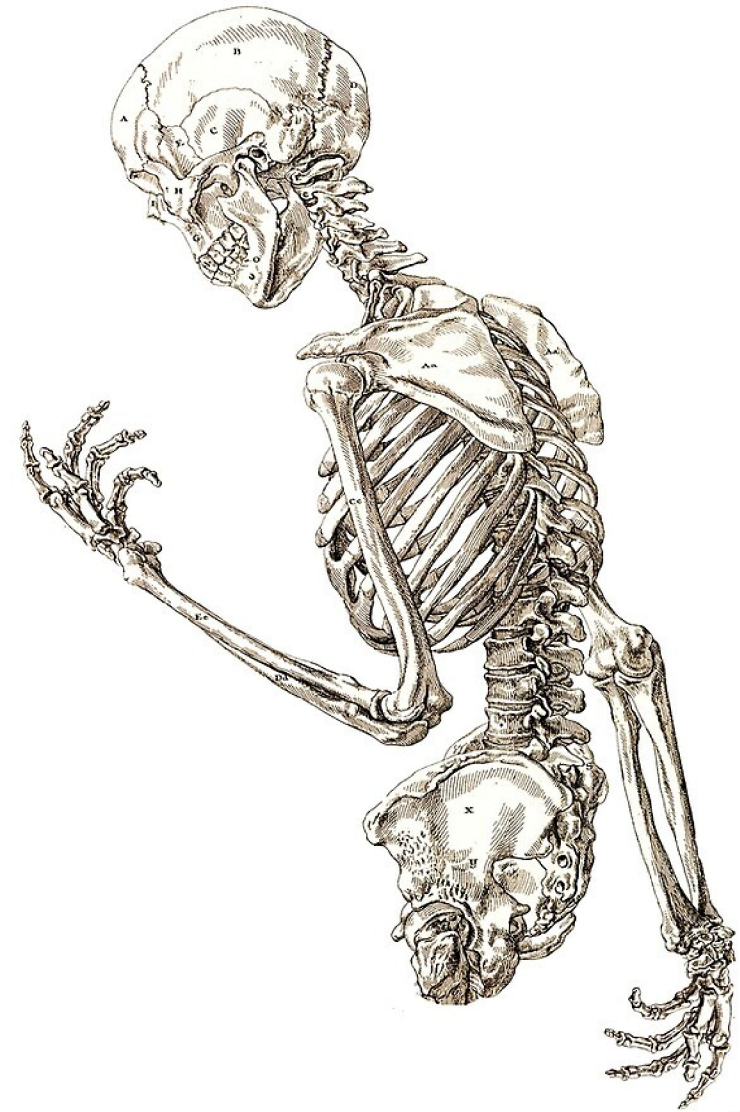
bp4803 Kineziologie, algeziologie a odvozené techniky diagnostiky a terapie 1

Mgr. Zuzana Kršáková



## Struktura pohybového systému

- Řídící podsystem vs. feedback
- Skeletální podsystem + mezilehlé prvky
- Svalový podsystem
- Energetický podsystem



# Skeletální podsystem-funkce

**protektivní role:** mozek (lebka), mícha (páteřní kanál), srdce a plíce (hrudník) aj.

**opěrný a závěsný systém** pro měkké tkáně umožňující růst do většího rozměru i přes pobyt v gravitačním poli mimo vodní prostředí

**krvetvorba**

**depozit minerálních látek:** kalcium (90%), fosfor (80%) aj.

**depozit energie** (tuková tkáň v kostní dřeni)

**detoxikace krve**

**přenos zvuku** (sluch)

# Složení kosti

## **organická matrix (flexibilita, odolnost, adaptace)**

- osteony (kostní buňky – osteoblasty a osteoklasty)
- extracelulární hmota (90% vláknitá hmota - kolagen, minimální extensibilita, 25-30% sušiny)
- 5% amorfní hmota - proteoglykany

## **anorganická minerální část (tvrdost, tuhost)**

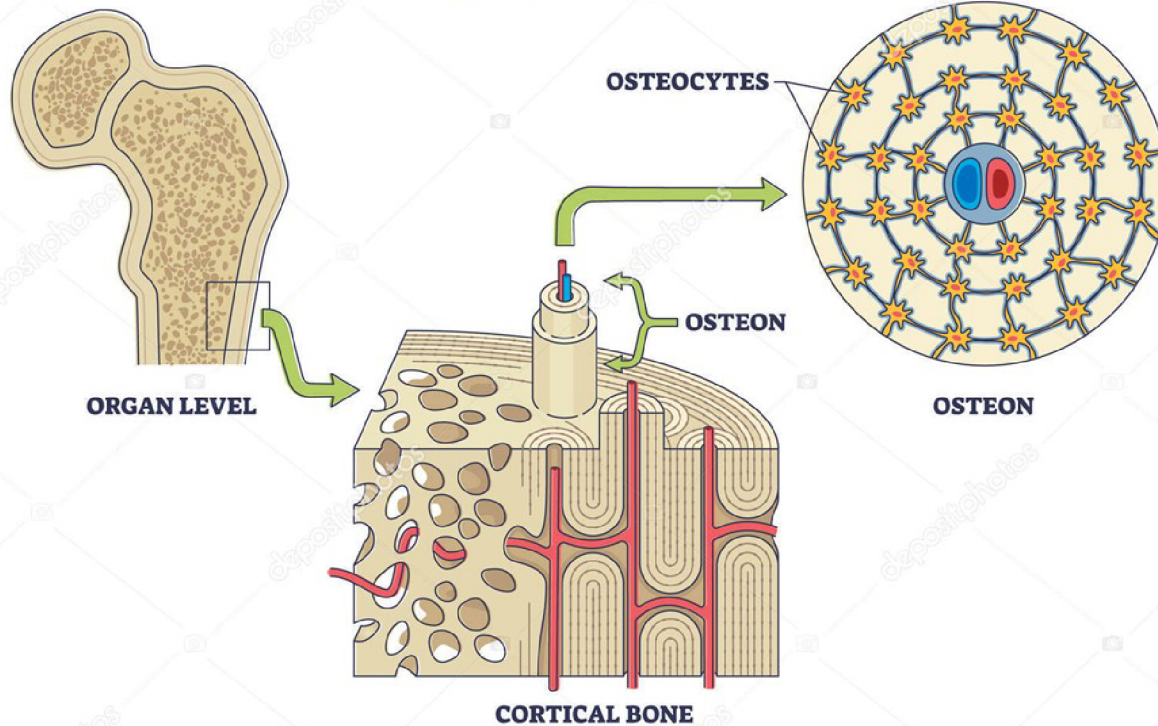
- 60-70% sušiny kalcium + hydroxyapatit

## **voda (až 25% hmotnosti živé kosti)**

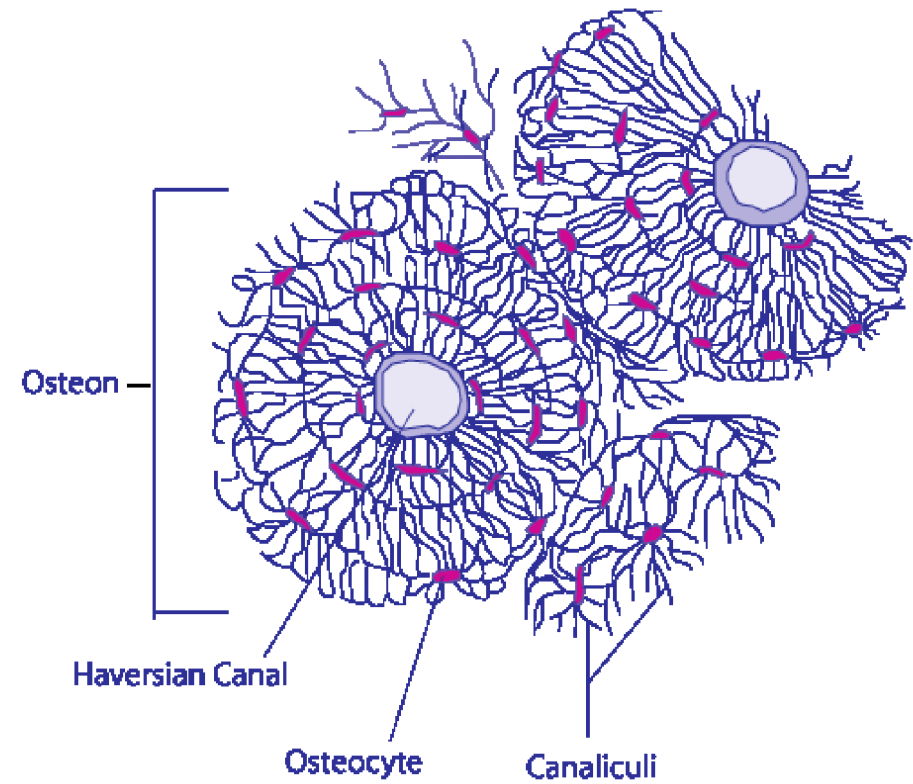
# Složení kosti

<https://cz.depositphotos.com/vector-images/osteon.html>

## OSTEON



<https://cs.wikipedia.org/wiki/Osteon>



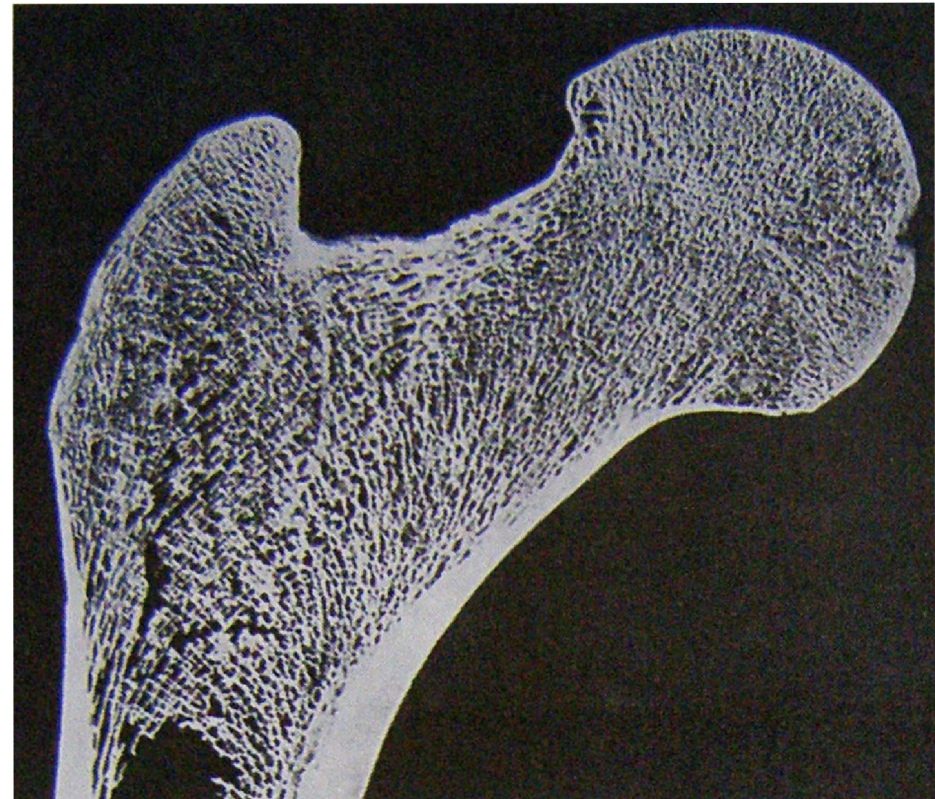
# Složení kosti

- **corticalis**

hustota 1,85-2,00 g/cm<sup>3</sup>

- **spongiosa**

hustota 0,15-1,00 g/cm<sup>3</sup>



# Biomechanické vlastnosti kosti

**kompozitní materiál** (např. sklolaminát)

- kolagen (flexibilita, ale minimální protažitelnost)
- minerální složka (tvrdost, fragilita)

**strukturální nehomogenita + anizotropie, různé mech. vlastnosti dle:**

- struktury
- lokality
- směru zatížení
- plochy průřezu kosti
- zátěžové historie atd.
- **autoreparační schopnosti a schopnost adaptace na zátěž**

# Anizotropie kosti

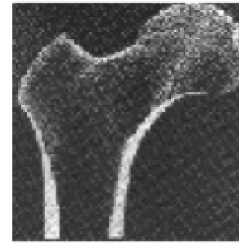
- Kost při různých směrech zatížení vykazují různé mechanické vlastnosti.
- Biomechanické vlastnosti kosti jsou dány zejména její **kolagenovou maticí a deponovanými minerály**. Kolagenní vlákna odolávají velmi dobře **tahu**, ale pro jiné způsoby zatížení jsou **poddajná**. Minerální látky – dodávají kosti **tvrdost** a **křehkost**. Orientační objemové složení kompaktní kostní tkáně – **1/3 voda, 1/3 minerály, 1/3 kolagenní matrice**



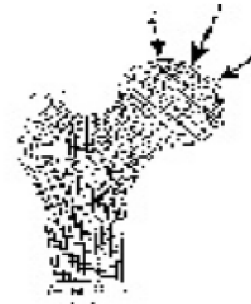
# Mechanické vlastnosti spongiózy

- na  
.
- t'  
ení  
hustoty kosti.
- ní  
ení  
ení mechanický  
ení  
ení tloušť  
ení mechanických  
vlastnosti kosti.

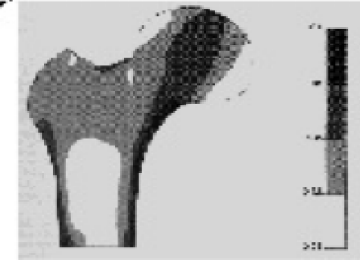
# Funkční stavba kosti



Radiogram  
trabekulární  
struktury



Síť konečných  
elementů a  
zátěžové varianty



Distribuce teoreticky  
předřikované density



Rozložení  
předřikované  
tuhosti

- **Wolfovo pravidlo** –  
na ni působí.

- **Pravidlo minima-maxima** –

□ ství

□

m smě ru

(specifická stimulace osteoblastů - piezoelektrický jev).

- □ □ í □

□ ednictví

□

□ ednictví

□ tí

□ č né procesy.

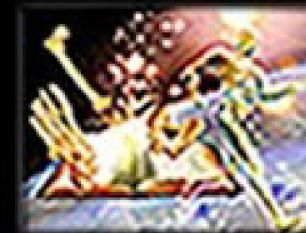
# Funkční stavba kosti

Trabecular Pattern of  
the Proximal Femur



There are important  
trabecular patterns in the  
proximal femur.

It occurs according  
to Wolff's Law in  
response of the bone  
to stress.



# Remodelace kostní hmoty

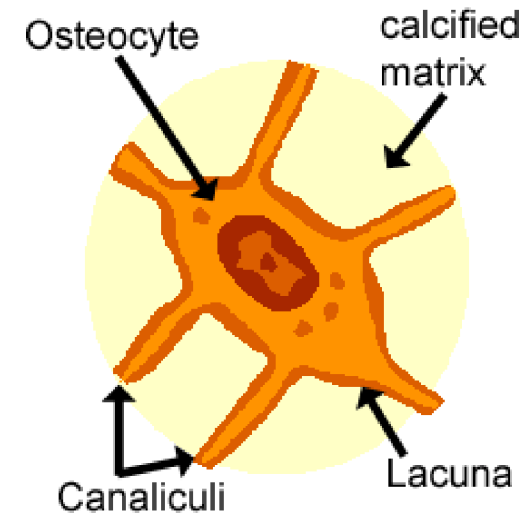
- Tvorba kostní hmoty je stimulována mechanicky a biochemicky.
- Obdobně jako u svalů, je formace kostní hmoty (aktivitou osteoblastů) podporována fyzickou aktivitou (pravidelným adekvátním zatěžováním) a redukována, pokud je bez zátěže (imobilizace, stav beztlíže).
- Nahrazování “starší” kostní hmoty, “novou” kostní hmotou se nazývá **remodelace**.
- Formace, oprava a remodelace kosti je kontrolována buňkami (osteoblasty, osteoklasty, osteocyty a kost lemující buňky).
- Remodelace je zahajována skrze signály přicházející k těmto buňkám, vyvolané mechanickou zátěží kosti. Přesný mechanismus přenosu těchto signálů prozatím není znám.

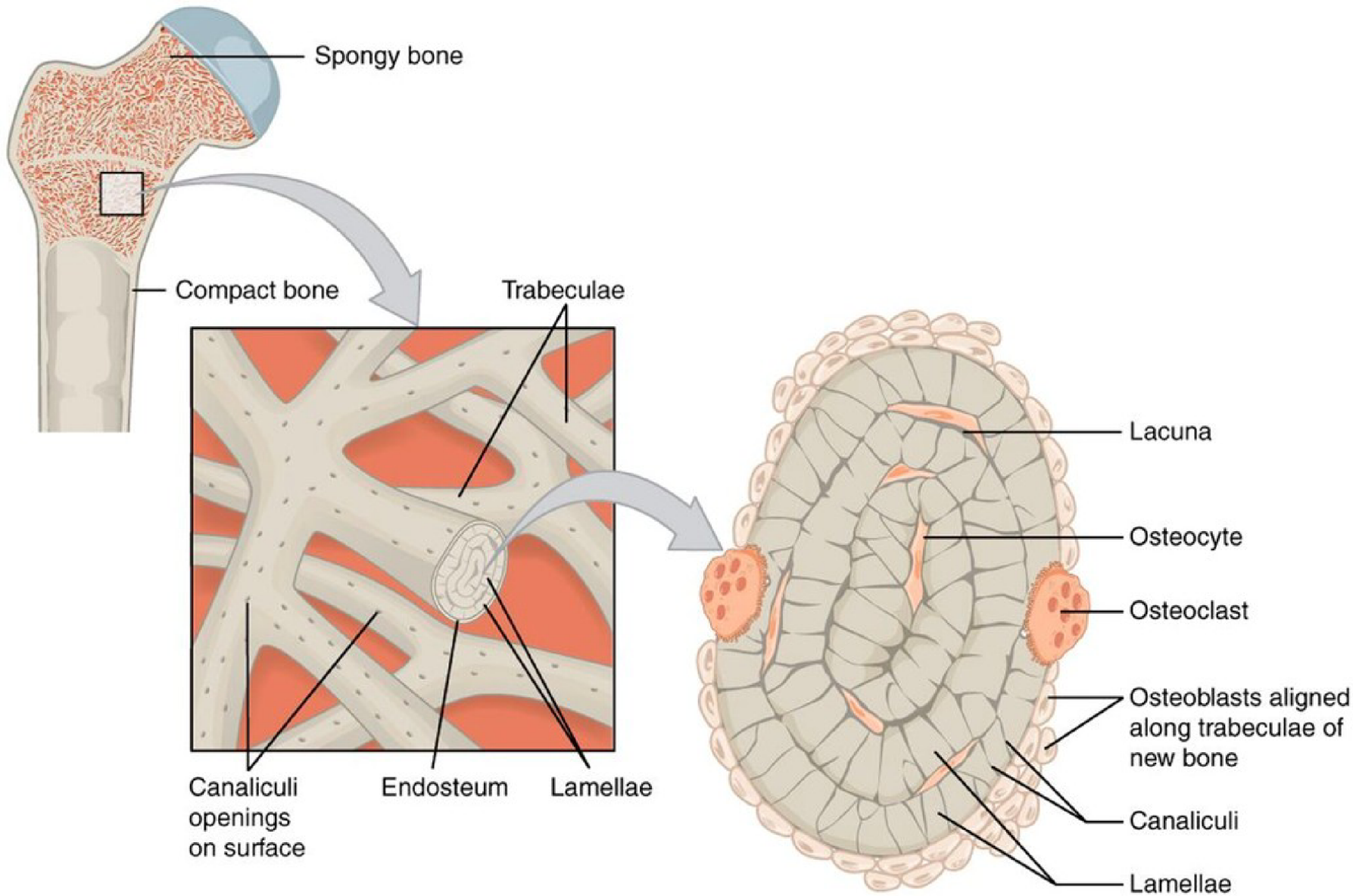
# Osteocyty

- Nejvíce zastoupené buňky v kosti (90-95% všech bb kostí).
- Detekují změnu deformace kosti zátěží a vysílají signál. osteoblastům a osteoklastům pro opravu a posílení kosti.
- Biochemická reakce spuštěna těmito mechanosenzitivními bb vede k osteosyntéze (novotvorbě kosti).

Klíčové prvky v zaznamenání a přenosu signálu zatěžování:

- **Kalciové kanálky** (iónové kanálky se selektivní permeabilitou pro Kalcium)
- **MAP kináza** (účastní se širokého spektra buněčných pochodů - mitóza, diferenciace a proliferace, apoptóza, apod.)





## Co na to výzkum:

- Důležité dávkovat intenzitu a frekvenci mechanické zátěže
- Z důvodu desentivizace receptorů s kontinuální zátěží, se prokázal být efektivnějším způsobem tréninku s intermitentní zátěží.
- Odpověď na zatěžování závisí i od citlivosti receptorů, která se snižuje s věkem a je hormonálně modulována (převážně estrogenem).





# Remodelace kostní hmoty

- V průběhu stoje je na kosti kladena zátěž (proti gravitaci), ale na tu je naše tělo již plně adaptováno.
- Pro ještě silnější kosti je důležité působit mnohem větší zátěží (tlak i ohyb).
- Orientačně může být mechanické zatěžování kosti vyjádřeno násobkem tělesné hmotnosti. Čím větší zátěž, tím větší tendence ke stimulaci přestavby/růstu kostí.
- Většina fyzické aktivity stimuluje aktivitu kostní hmoty, ale pro významnou osteogenní stimulaci, je potřebná zátěž rovná asi čtyřnásobku tělesné hmotnosti daného člověka.

# Remodelace kostní hmoty

- **Plavání: 0 (nadlehčení)**
- **Stoj: 1**
- **Rychlá chůze: 1–2**
- **Běh/jogging: 3–4**
- **Power jumping: 4+**
- **Odporový, silový trénink: 4 až 10**



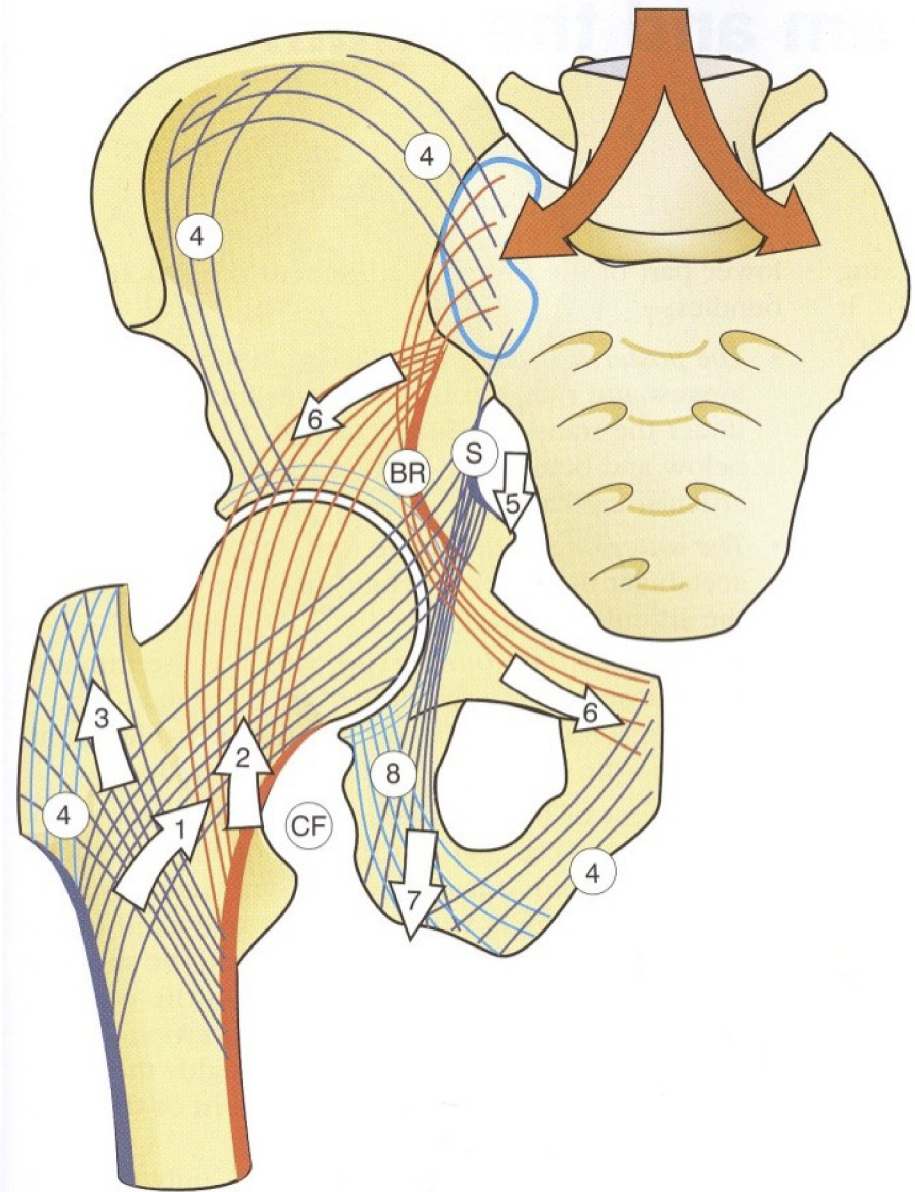
# A co to znamená pro fyzioterapeuta?

- Dynamická zátěž (cca 4-násobek těl.hm.), působí významně osteoformativně.
- Velice důležitá je v tomto případě ale bezpečnost provedení těchto cvičení. Jakákoliv kost může podléhat vzniku fraktury, pokud bude přesáhnuta její mez odolnosti.
- Kromě osteoprotektivního vlivu, působí PA stimulačně na růst svalové hmoty a sílu, a tím preventivně vůči vzniku zlomenin či pádům (využití silového tréninku u seniorů).

# Adaptace na zátěž

## Formativní vliv

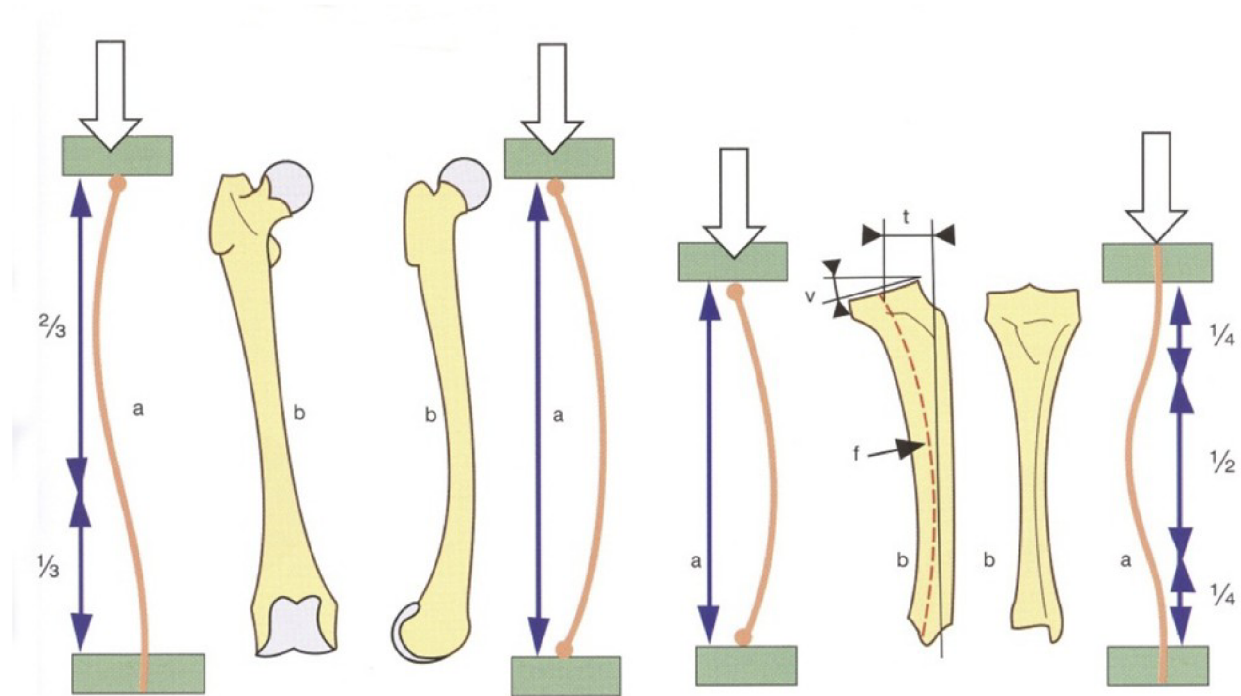
- trabekulární struktura



# Adaptace na zátěž

## Formativní vliv

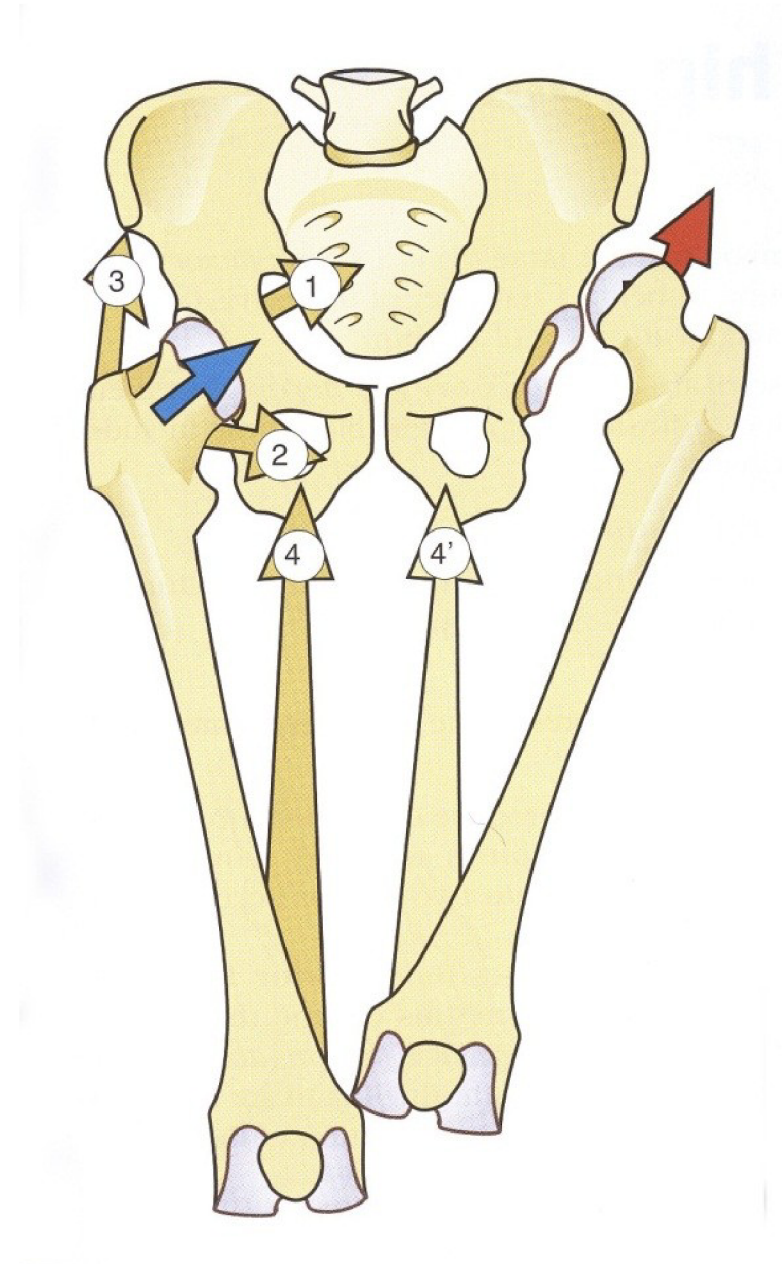
- tvar kostí



# Adaptace na zátěž

## Formativní vliv

- vzájemné postavení kloubních ploch (centrace)



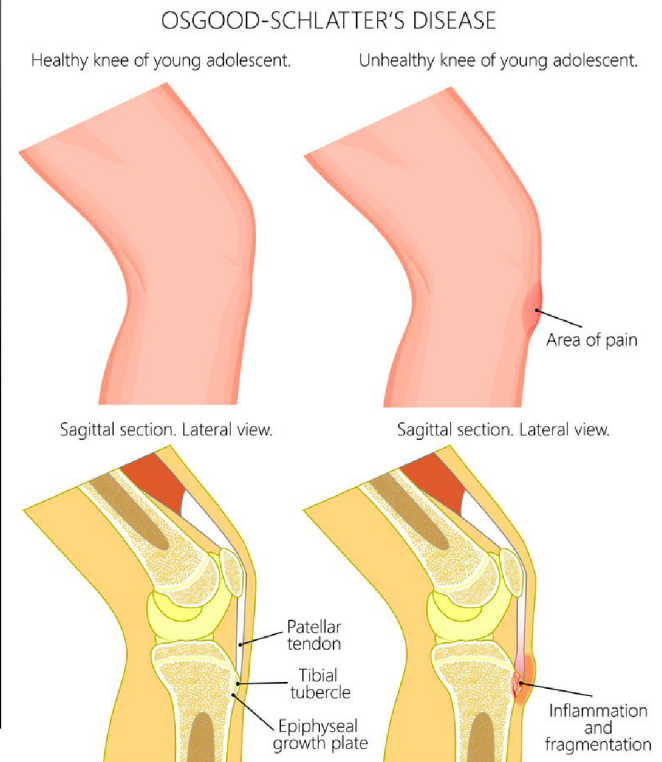
# Adaptace na zátěž

- Osteofyty
- Morbus Osgood-Schlätter
- Morbus Haglund...

<https://www.ortopediekratochvil.cz/patni-ostuha>



<https://www.stefajir.cz/artroza-rtg>



<https://www.worldbrace.com/de/osgood-schlatter-erkrankung-knieorthesen/>



<https://drogunlana.com/Portfolio/haglunds-deformity/>

MUNI  
SPORT

# Patologické jevy

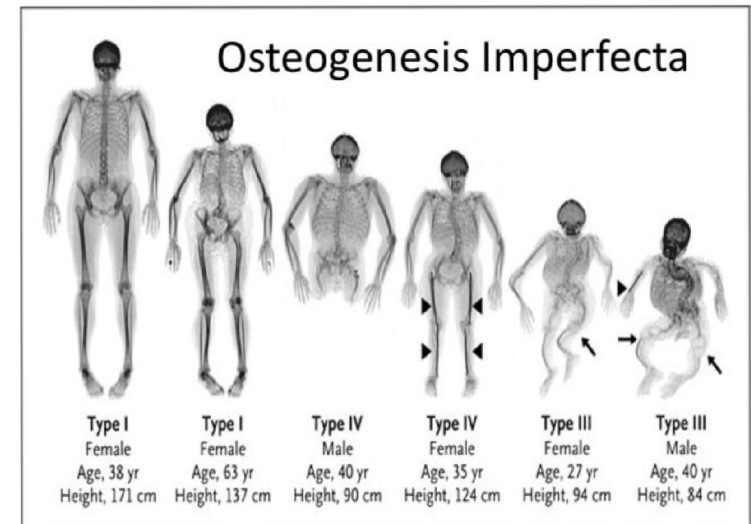
- **Osteopenie** (bone mass density - BMD mezi  $-1,0$  a  $-2,5$  SD pro zdravé mladé dospělé)

<https://www.viquepedia.com/assets/images/sitelogo/osteogenesis%20imperfecta.jpg>

- **Osteoporóza** (BMD menší než  $-2,5$  SD ...)

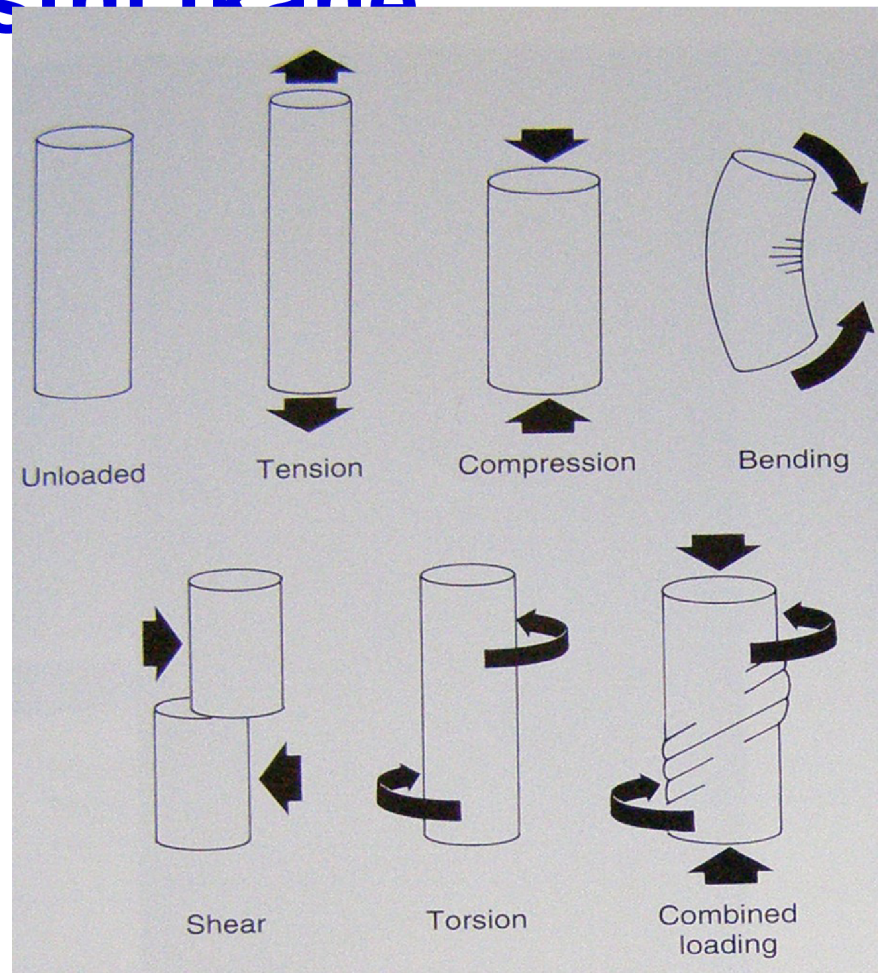
## Fraktury:

- ohybové
- kompresní
- smykové
- torzní
- **Osteogenesis imperfecta** (mutace genu pro tvorbu I. typu kolagenu)
- ...





# Zatížení kostní tkáně



# Vybrané kritické tlakové hodnoty

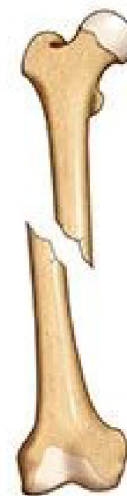
- humerus 6 KN
- femur 7,5 KN
- tibia 5 KN
- patella 2 KN



Transverse



Stress



Oblique,  
Displaced



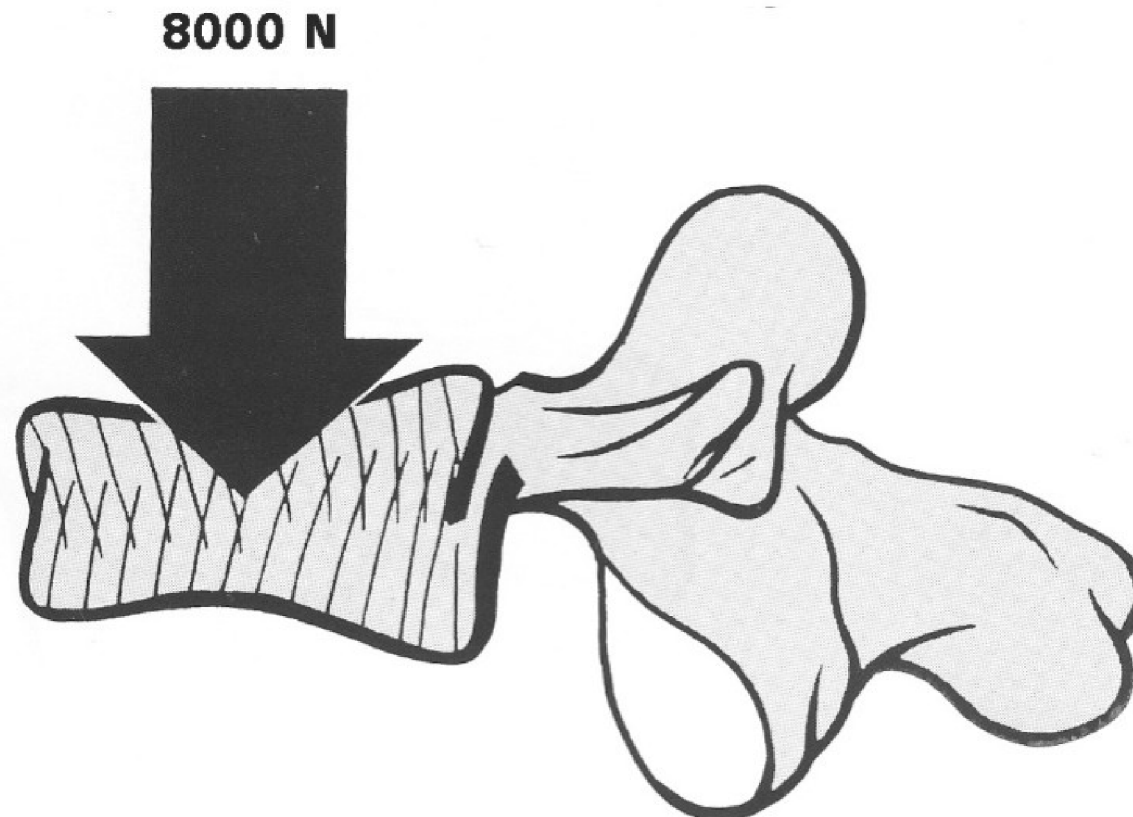
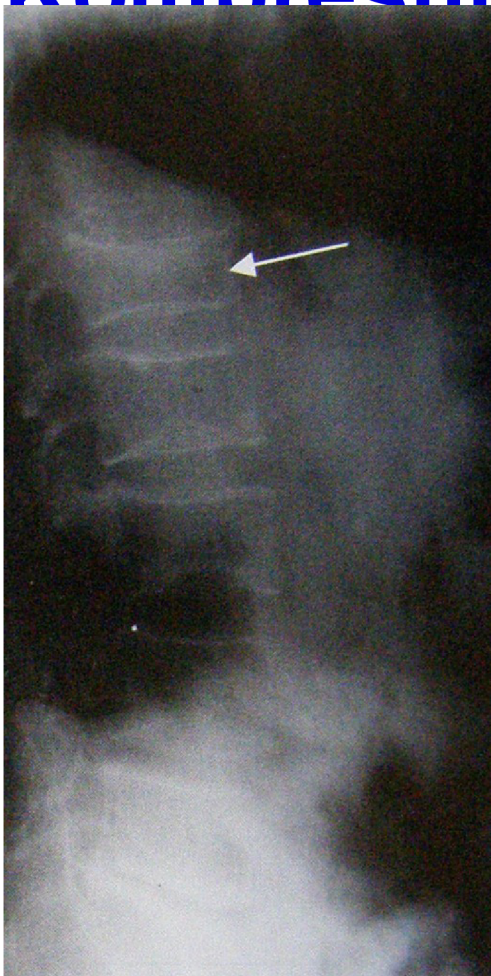
Greenstick



Comminuted

[https://www.emedicinehealth.com/bone\\_fracture\\_broken\\_bone/article\\_em.htm](https://www.emedicinehealth.com/bone_fracture_broken_bone/article_em.htm)

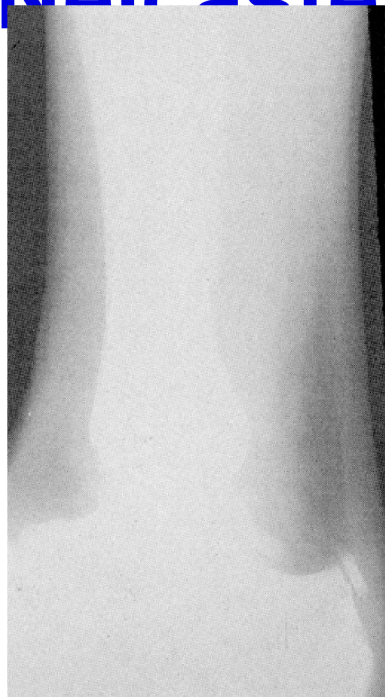
# Kompresní fraktury



## Vybrané hodnoty Youngova modelu pružnosti v tahu

<i>Materiál</i>		<i>Průměrná hodnota [MPa]</i>
Kompaktní kost (mezi 50. a 60. rokem života)	Femur Tibie	17 000 20 000
Kompaktní kost	Femur	15 700 (12 700 – 19 400)
Ligamentum patellae		400
Elastin		0,6
Ocel		170 000
Sklo		70 000
Dubové dřevo		10 000
Vulkanizovaná guma		1,4

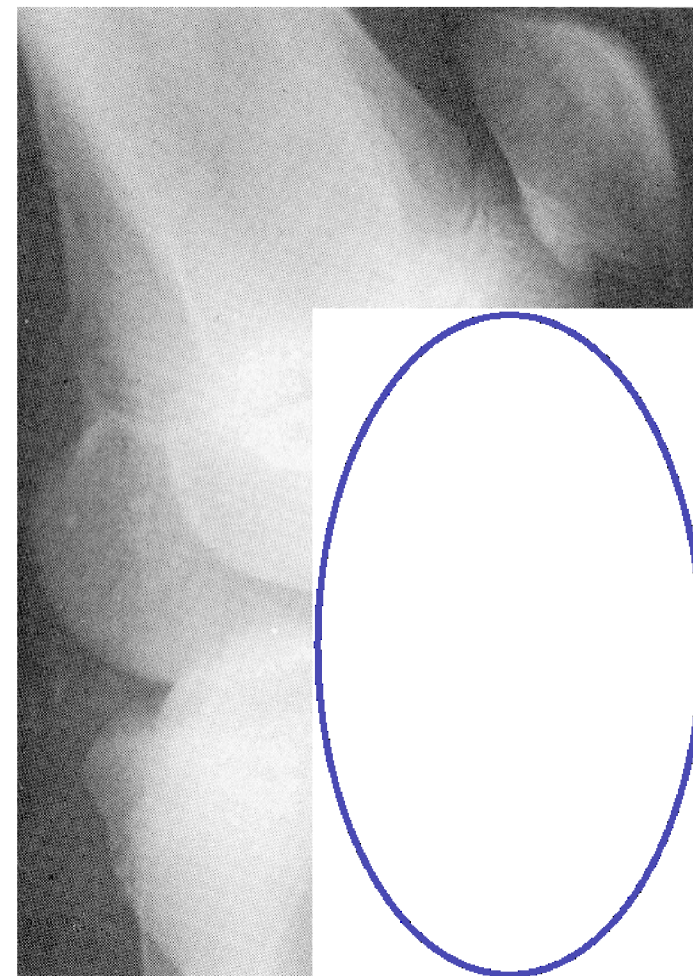
## Neiřastějří tahov fraktury



vytren ponu  
m. triceps surae  
z calcanea

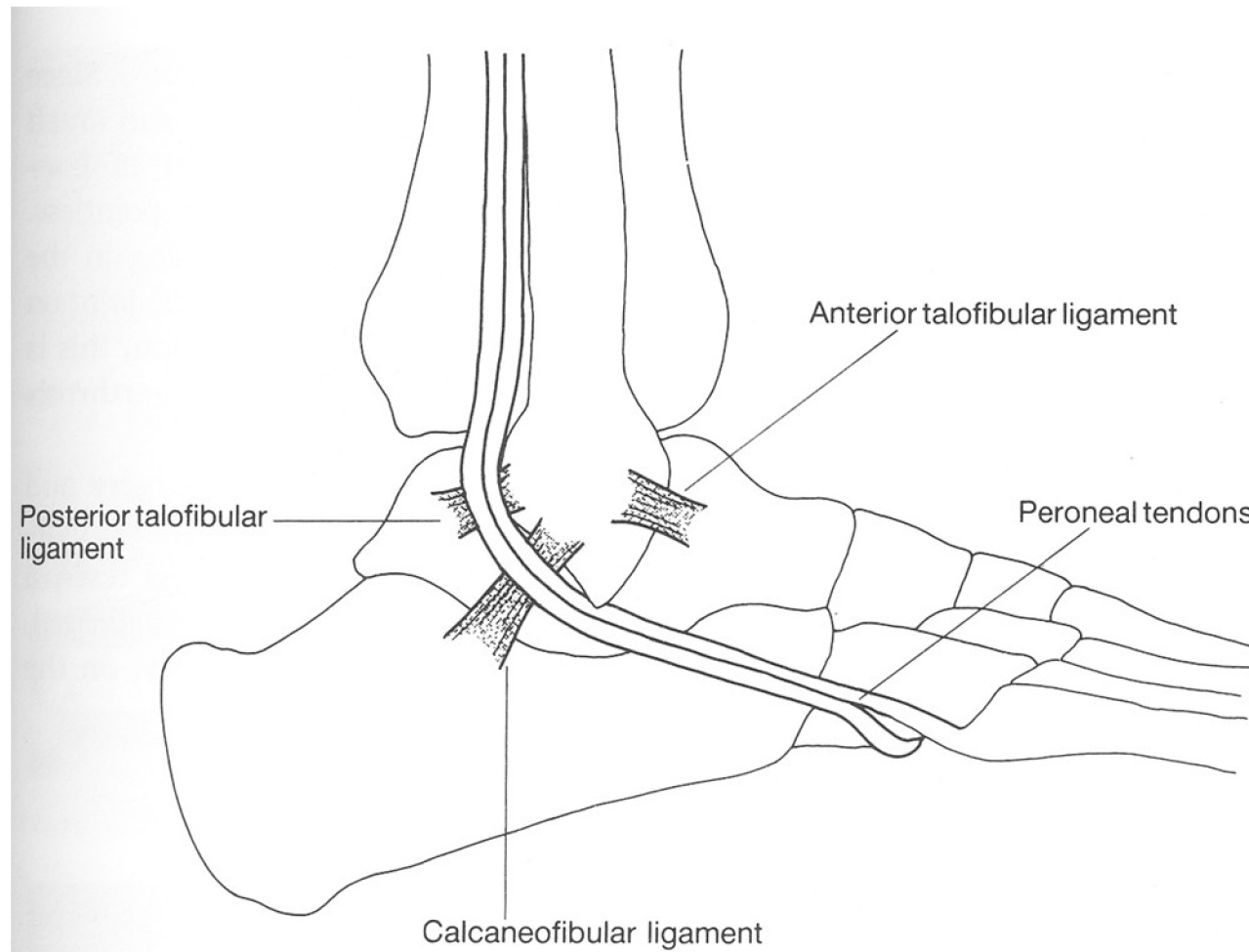


vyraznejř fraktura u tenisovho  
hre



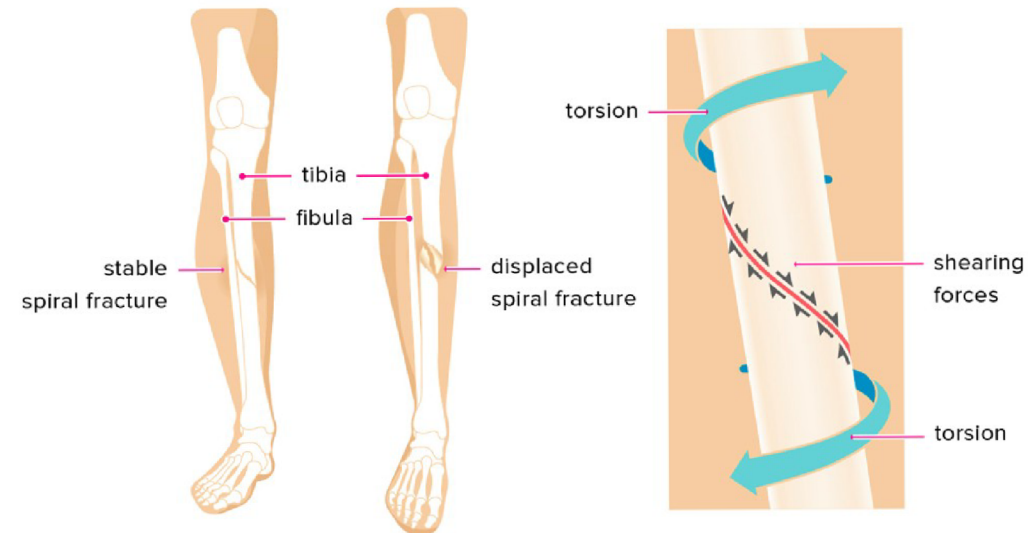
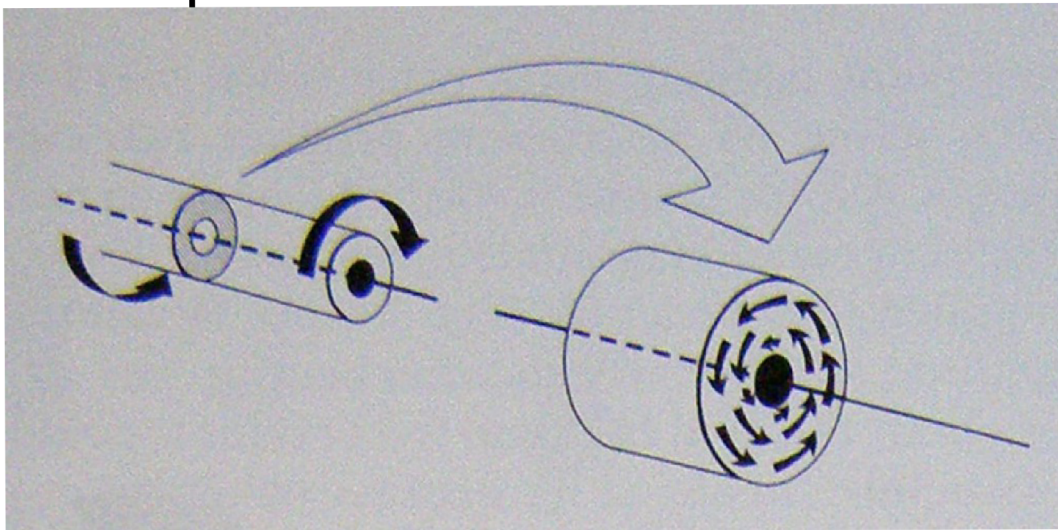
avulze tuberositas  
tibiae

# Vytržení úponu m. peroneus brevis z baze V. metatarzu



Ke kroucení dochází nejčastěji u sportovních činností rotačního charakteru:

- sjezdové lyžování
- hody a vrhy s otočkou (tretry ...)
- zápas



<https://www.healthline.com/health/spiral-fracture>

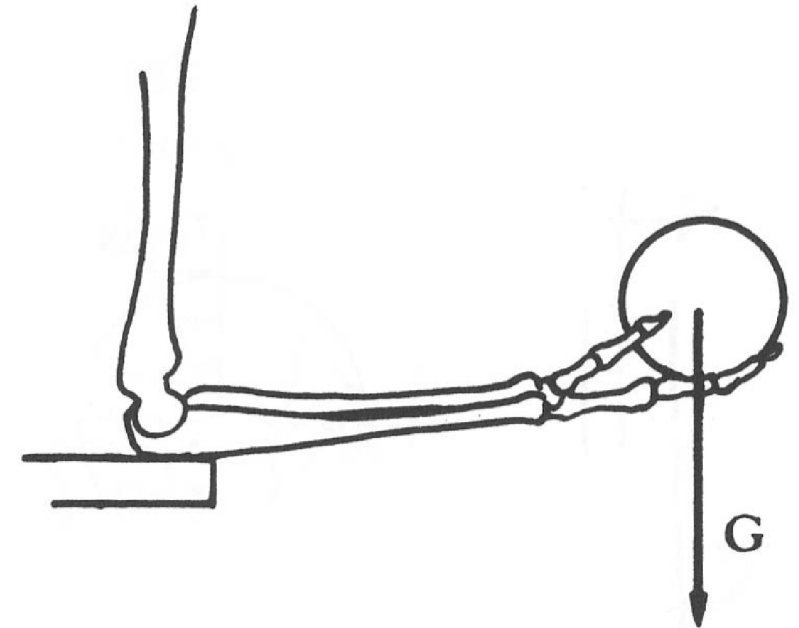
# Příklady kritických odolností proti zkrutu

- humerus 0,5 KN
- klavikula 0,08 KN
- tibie 0,06 KN

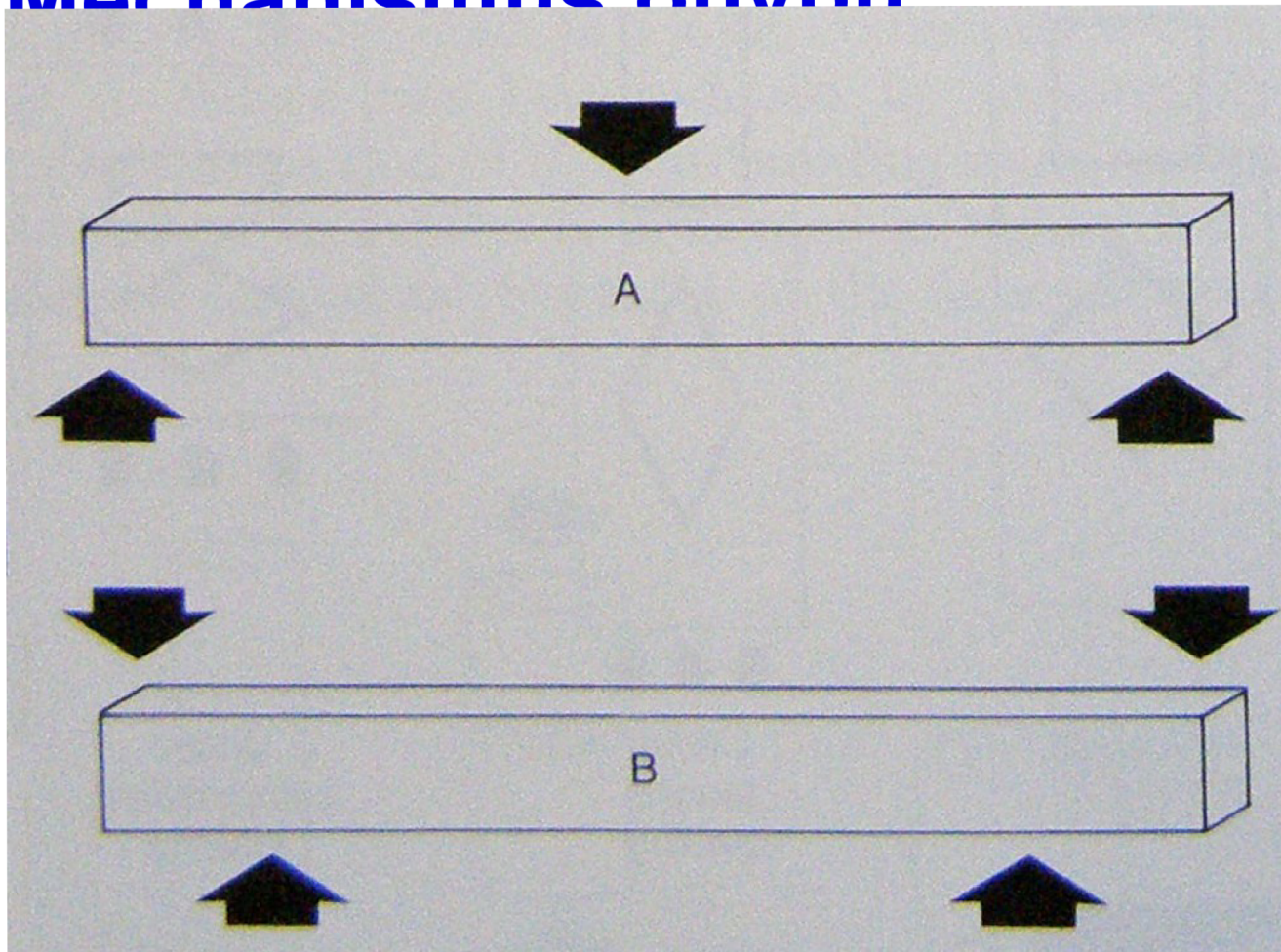


# Pevnost a pružnost tkání v ohybu

- působí-li 2 síly proti sobě ve stejné rovině, ale ne v jedné přímce
- Ohybový moment- $M$  závisí na délce ohýbané části těla a na zatížení
- Největší ohybový moment je v místě zpevnění nebo opory



## Mechanismus ohybu



**A-Třibodový  
ohyb**

**B-Čtyřbodový  
ohyb**

## "boot-top" fraktura (tříbodová fr. u sjezdového lyžování)

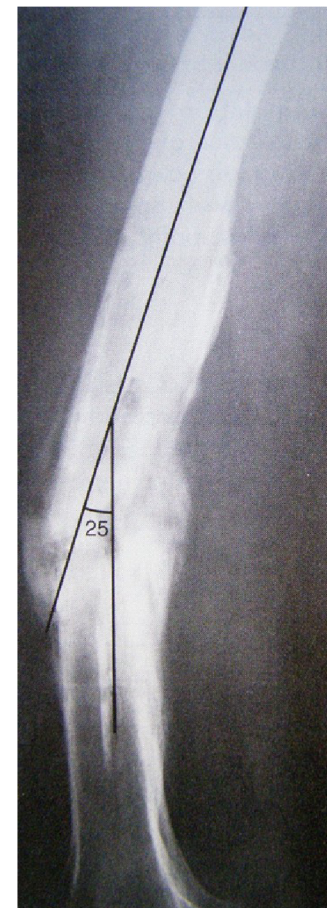
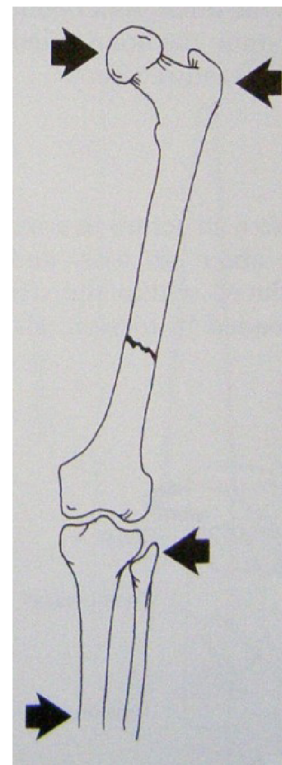


<https://amicrad.com/wp-content/uploads/2018/12/V214-2016-jan-17.pdf>



MUNI  
SPORT

**čtyřbodová fr.** (v místě zhojené starší fr. u pacienta rehabilitovaného pro omezení hybnosti kolenního kloubu)



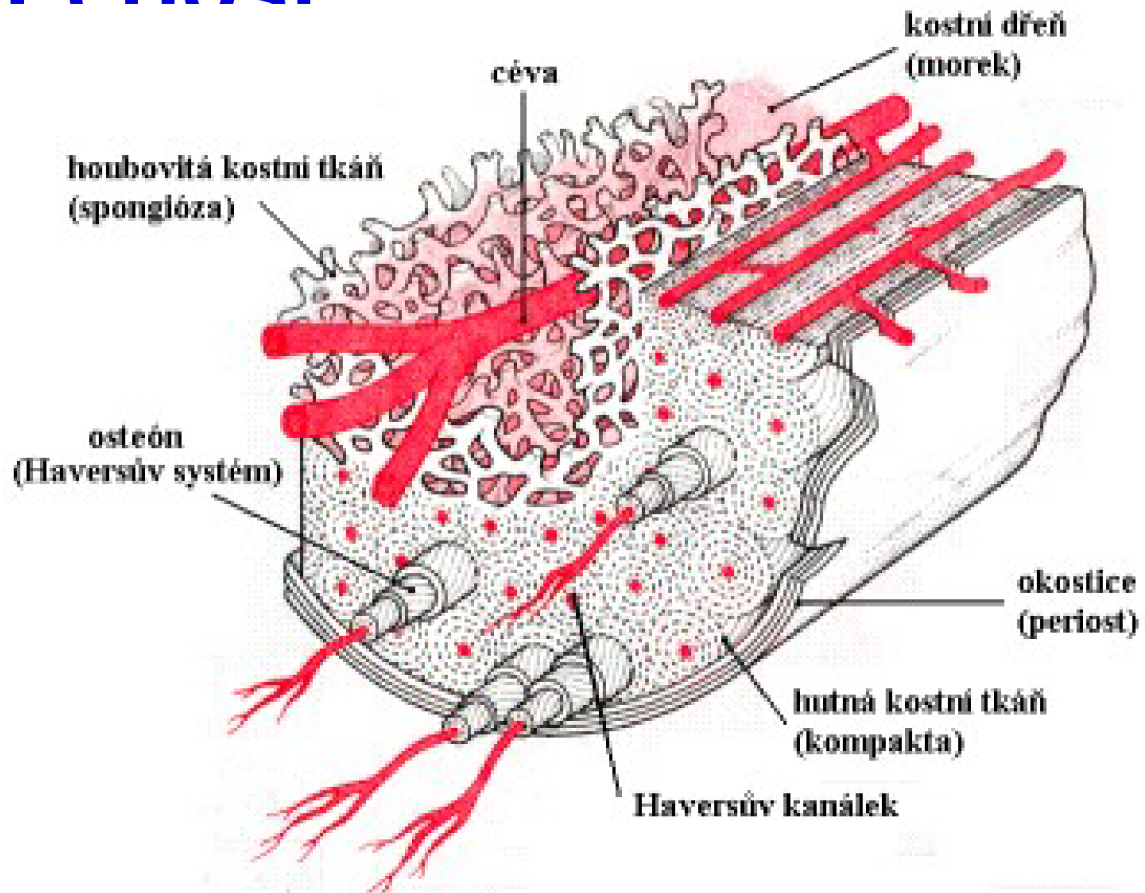
## Další faktory

gravitace, odpor prostředí	determinace modelace a remodelace kosti
stav beztlíže, svalová dystrofie, nízká náročnost pohybu	pokles pevnosti pasivních tkání pohybového systému
dlouhodobé/opakované působení napětí nepřekračujícího mez pevnosti	biologická únosnost , únavové jevy, mikrotraumatizace
věk	změna poměru mezi kolag. a min. složkou kosti - zl. vrbového proutku - adolescentní zl. - osteoporot. zl.

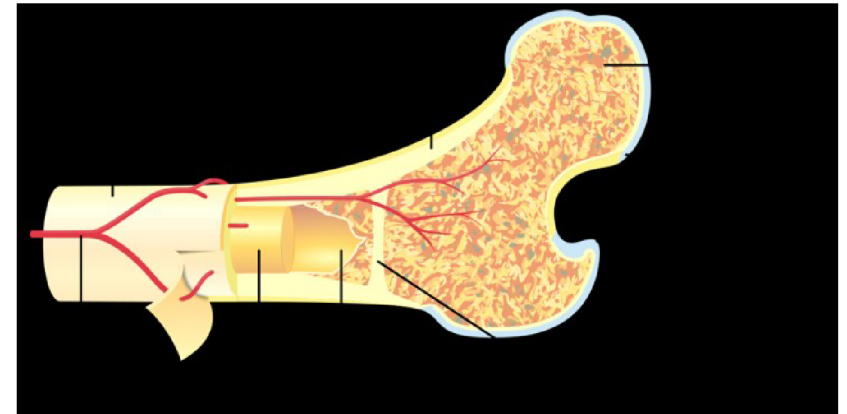
# Periost

- základní krycí a růstová funkce
- hlavním úkolem této tenké bělavé vazivové blány je zásobování kostní tkáně kyslíkem a živinami. Z tohoto důvodu okostice obsahuje hustou síť krevních cév a nervů
- její citlivost oproti zbývajícím kostním vrstvám se projevuje zejména při zlomeninách, kdy při přerušení nervů dochází k silnému nociceptivnímu dráždění a vjemu bolesti
- vyskytuje se na povrchu všech typů kostí. Výjimkou jsou místa, kde dochází k úponu svalů, a ve styčných plochách kloubů, kde je tato tenká blána nahrazena chrupavkou.

# Perinost



<https://www.kme.zcu.cz/kmet/bio/ksstavba.php>





# Stresové (únavové) fraktury

- Cyklické přetěžování a dysbalance mezi tvorbou a resorpcí kostní hmoty
- Výsledkem snížené schopnosti regenerace kostní hmoty
- Opakované přetěžování a neadekvátní délka regenerace
- Elastická deformace kostních trámců, plastická deformace a vznik mikrofraktur ve fyziologické kostní tkáni a jejich postupná akumulace, při přetrvávání - kompletní zlomenina zasažené kosti

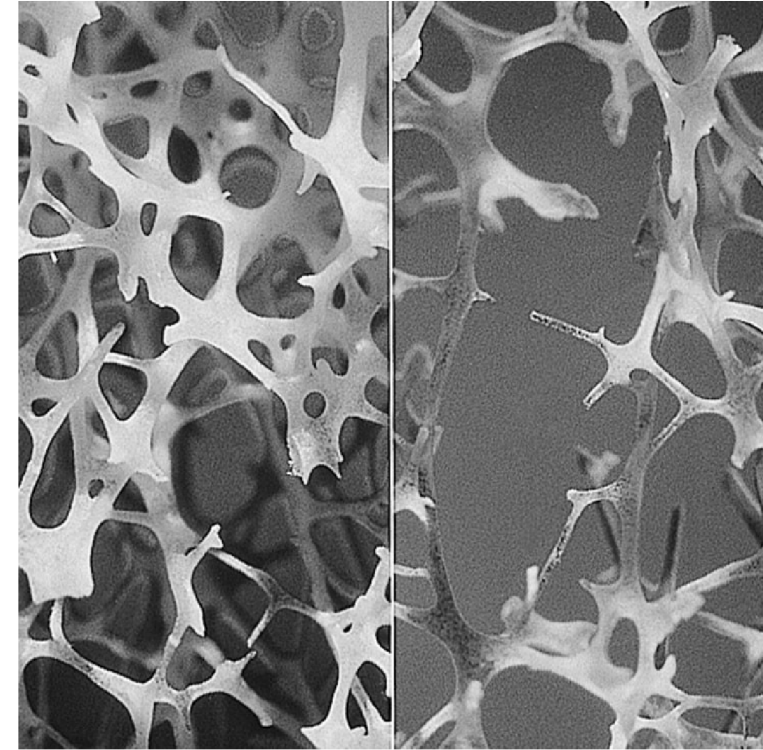


**Figure 1** – Stress fractures in athletes occur more frequently in the tibia than in other bones. The incidence of stress fractures in the tibia and other long bones is high in distance runners; the incidence of fracture in the feet is high in sprinters. Bone strength is directly related to the cross-sectional area of bone. In one study, male runners with a history of tibial stress fracture had smaller cross-sectional area of the tibia than other runners (inset).

# Stresové (únavové) fraktury

Rizikové faktory:

- **sport** (DKK běžci-metatarsy, bérková, stehenní a lýtková kost, HKK - gymnastika, tenis, baseball, žebra-golfisti)
- **anatomické faktory** (morfologie chodidla - pes cavus, pes planus)
- **hormonální faktory** (nízká hladina estrogenu - nedostatečná novotvorba kosti)



# Stresové (únavové) fraktury - KO

- Zvýšená citlivost až ostrá bolest zasažené části
- Bolest roste se zátěží
- Otok
- Pomáhá klid
- Není vhodný klasický RTG snímek - možnost falešné negativity a detekce zlomeniny až v pozdních stádiích. Lepší magnetická resonance-abnormality charakteru otoku v kosti a okolních oblastech již po dvou dnech od rozvoje příznaků

# Stresové (únavové) fraktury - Léčba

1. zákaz zátěže a dalšího přetěžování

2. medikace

3. **fyzioterapie:** méně závažné zlomeniny 4-12 týdnů, pro oblast metatarsů je to 3-6 týdnů, pro oblast bércové + stehenní kosti a pánve pak 6-12 týdnů. Tento klid však ve většině případů nespočívá v imobilizaci zlomeniny. Imobilizace se používá pouze u určitých kostí jako např. navikulární kost, čéška.

- Návrat ke sportovním aktivitám je u méně závažných a ne-chirurgicky řešených zlomenin možný za 4-17 týdnů od zranění. Pokud zlomenina není řešena správně, mohou se objevovat rizika jako např. avaskulární nekróza a pseudoartróza.

<https://www.sportklinik.cz/2020/11/12/unavove-zlomeniny/>

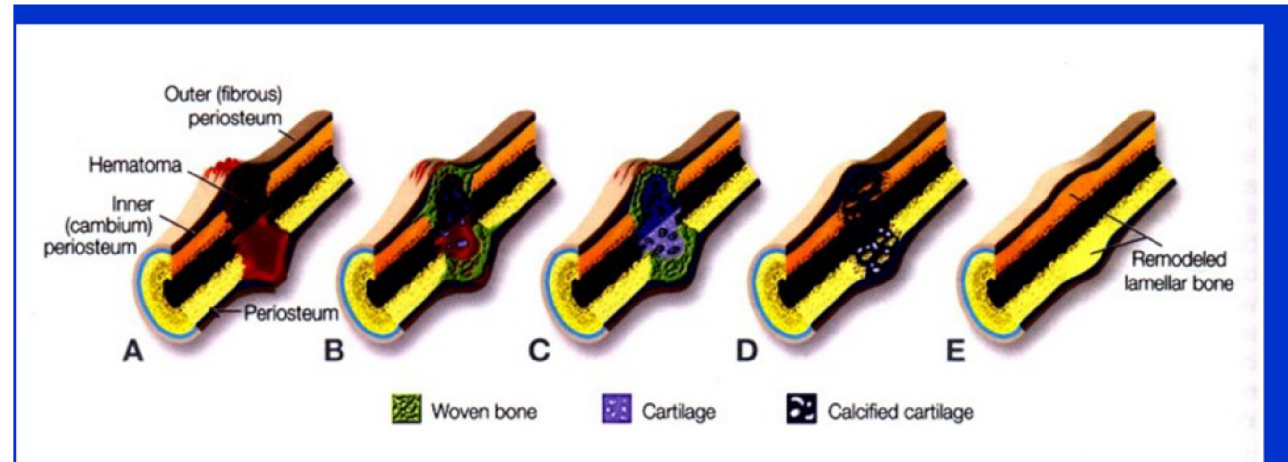


# Hojení kosti

- Primární
- Sekundární

## Podpůrné faktory:

- Výživa
- Fyzikální terapie



A. Hematom

B. Granulační tkáň- zánět

C. Primární kostní svalek (osteoid, pletivová kost, chrupavka, vápenaté soli)

D. Sekundární kostní svalek (nahrazování pletivové kosti kostí lamelární)

E. Remodelace kostního svalku

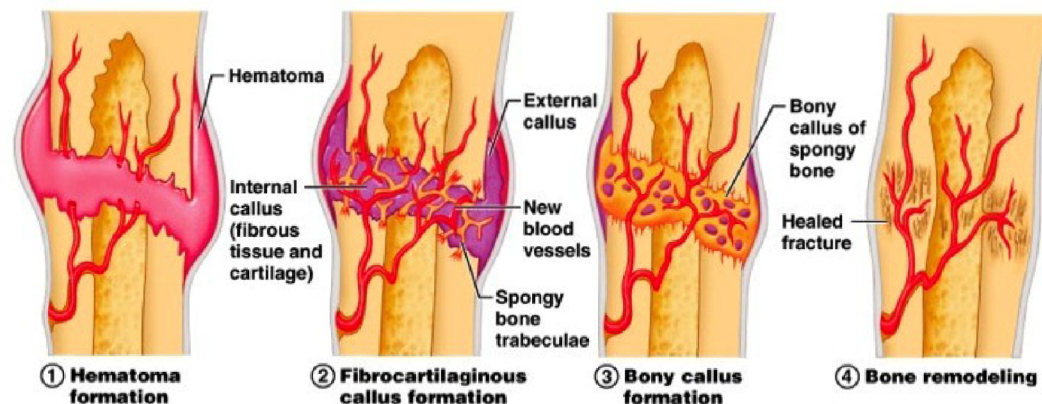
[https://is.muni.cz/el/med/jaro2018/aBFOR041/um/Fractures-orthopedic\\_view\\_2016.pdf](https://is.muni.cz/el/med/jaro2018/aBFOR041/um/Fractures-orthopedic_view_2016.pdf)

# Hojení kosti - primární

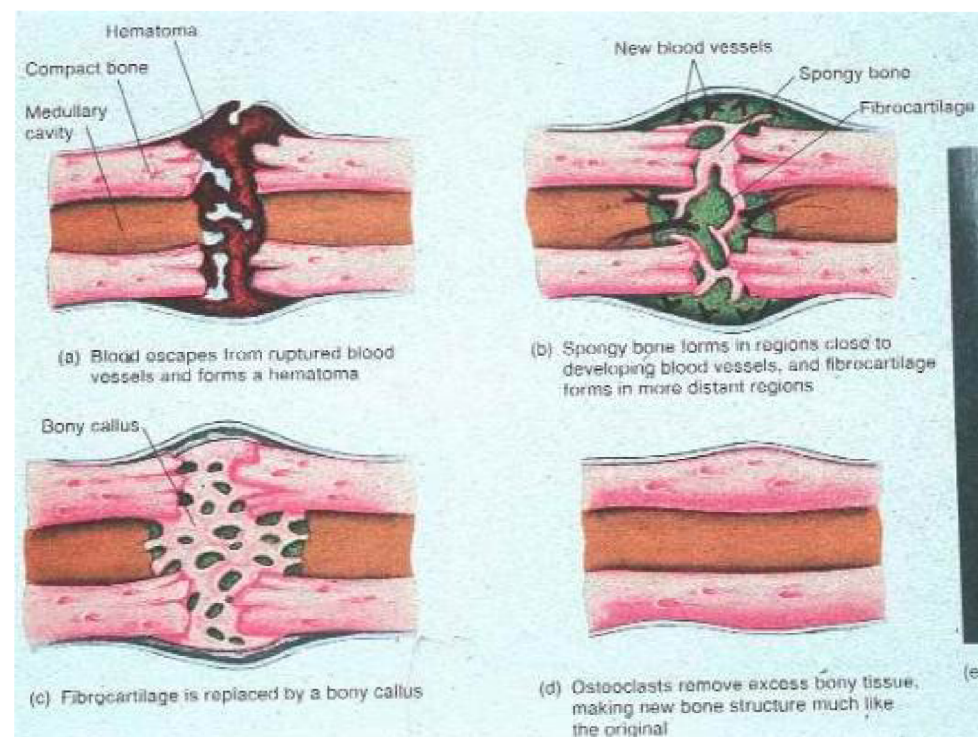
- Primární hojení nastává v situaci, když se oba konce kosti od sebe nevzdálí a není mezi nimi téměř žádná mezera.
- Dochází k aktivaci osteoklastů vytvářejících malé dutinky v zlomové linii.
- Do dutiny poté migrují osteoblasty a produkují zde novou kostní tkáň.
- Pokud je mezi fragmenty malý prostor, ne však větší než 1mm, osteoblasty začnou produkovat lamelární kost kolmo ke směru lomu. Přemostí tak vzniklý prostor. Tato kost je poté remodelovaná.

<https://fyzioklinika.cz/poradna/clanky-o-zdravi/94-pseudoartroza>

<https://teambone.com/education/education-clinical/orthopedic-basic-science/fracture-healing/>



<https://www.orthobullets.com/basic-science/9009/fracture-healing>



# Hojení kosti - sekundární

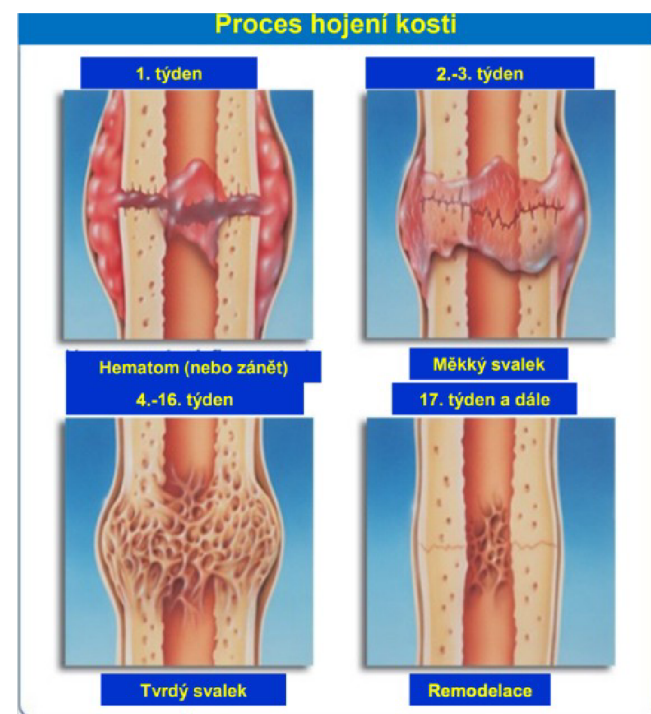
- Častější typ
- Nutný ortopedický zásah-zevní nebo vnitřní fixace

## 3 fáze:

- Vytvoření hematomu, zánětlivá reakce a vytvoření vazivové tkáně mezi fragmenty.
- Proces reparace při kterém se vazivová tkáň obou konců fraktury spojí, aby byla následně proměněna ve vláknitou kost osteoblasty.
- Remodelace vláknitá kost je nahrazena kostí lamelární.

V případě zastavení procesu hojení v důsledku infekce, nedostatečné fixace, nebo slabého krevního zásobení, rozvíjí se pseudoartróza.

ZDROJ: <https://fyzioklinika.cz/poradna/clanky-o-zdravi/94-pseudoartroza>



<https://www.researchgate.net/publication/342147116>

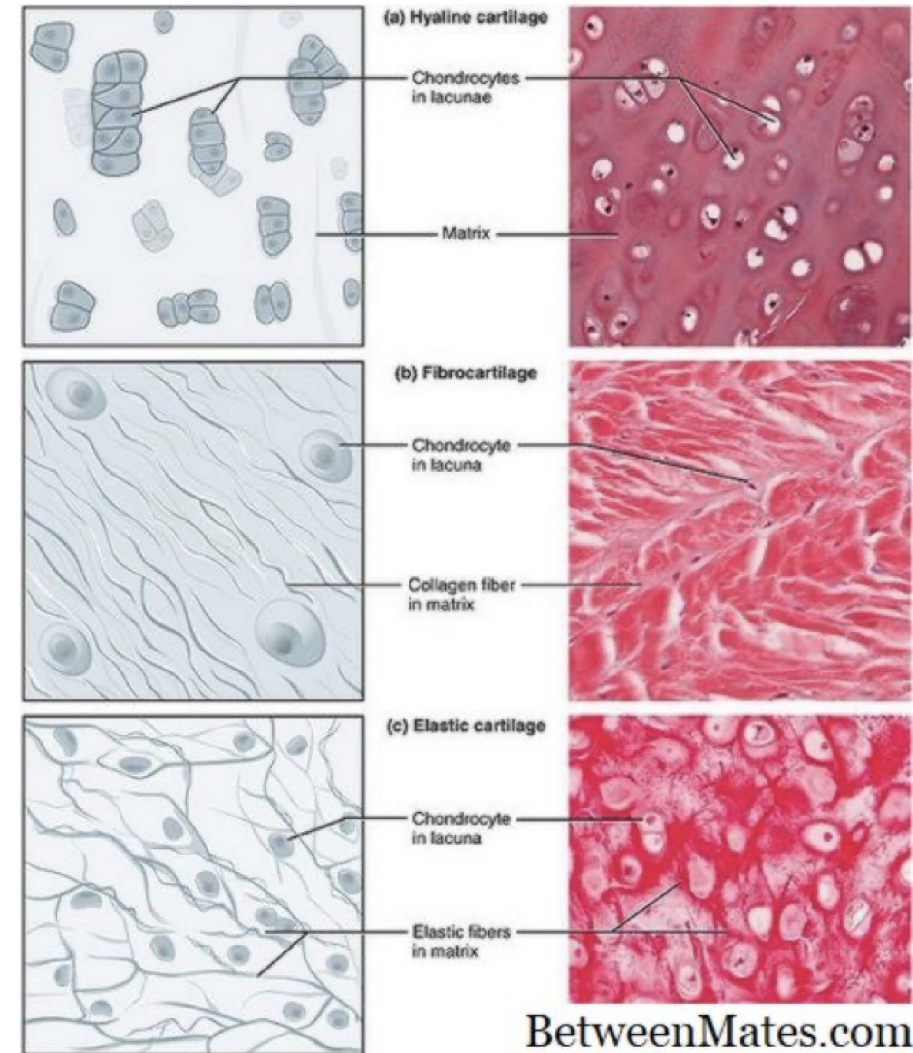
MUNI  
SPORT

# Chrupavka

- Patří mezi podpůrné pojivové tkáně
- Bezcévná, pevná, pružná
- Složení:
- buněčná složka (chondrocyty, chondroblasty)
- mezibuněčná hmota
- vláknitá složka (převaha kolagenních vláken typ II)
- amorfní složka (proteoglykany, glykosaminoglykany)

## 3 typy:

- **Hyalinní** (nejčastější pokrývá kloubní plochy)
- **Elastická** (ušní boltce, chrupavky hrtanu)
- **Vazivová** (menisky, meziobratlové disky)



<https://cs.weblogographic.com/difference-between-hyaline-cartilage-and-elastic-cartilage-13612>





# Hojení chrupavky

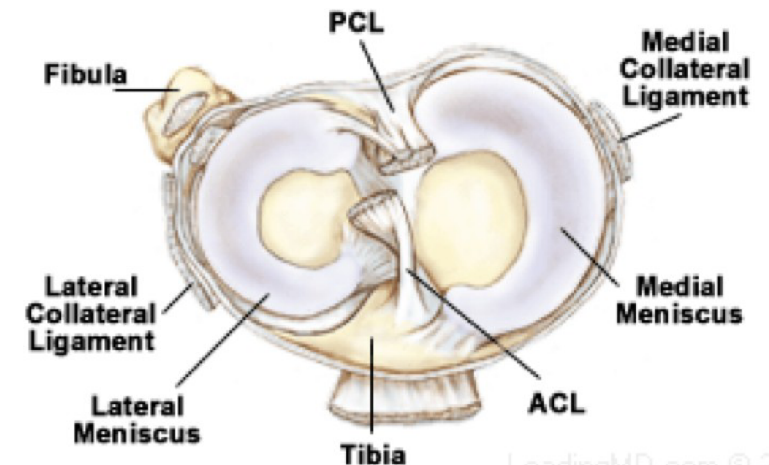
- Jelikož se jedná o **avaskulární tkáň**, je omezené i hojení
- **Kolagenní vlákna II** jsou zapuštěna v gelovité hmotě - tvořena mukopolysacharidem a agrekanem (jeho součástí je např. kys. hyaluronová, chondroitin sulfát, keratin sulfát, aj..)
- Agrekan váže molekuly vody a napomáhá tak chrupavce odolávat vůči tlaku
- **Při poškození povrchovém** - nedochází k nekróze chondrocytů a není nastartován proces hojení, jelikož zcela chybí cévní zásobení, poškozená kolagenní vlákna, která propouští agrekan - mechanické oslabení, při dlouhodobém trvání vyšší zátěže degenerace chrupavky
- **Poškození hlubší (u subchondrální kosti)** - nastartuje se proces hojení, jelikož je zde slabé cévní zásobení, hojení ale není na vysoké úrovni - netvoří se kolagen typu II, ale jiné formy kolagenu, které nemají potřebné vlastnosti a neváží agrekan

# Menisky kolenního kloubu

- Tvořeny vazivovou chrupavkou
- Zlepšují kongruentnost kloubních ploch kolenního kloubu

Jsou 2:

- **Mediální** - poloměsíčitý tvar C, větší, srostlý s mediálním kolaterálním vazem kolene (lig. collaterale mediale), fixován ve 3 bodech (oba cípy a střed) → je méně pohyblivý, i proto je mnohem častěji poškozen (80%), často kombinace s poškozením lig. collaterale mediale a předním zkříženým vazem (ACL – lig. cruciatum anterius) tzv. nešťastná triáda ("Unhappy trias")
- **Laterální** - téměř kruhovitý tvar O, přední cíp se upíná do blízkosti ACL, přední na mezihrbolovou vyvýšeninu (upevnění téměř pouze v 1 místě, jelikož přední a zadní cíp se téměř dotýkají), je mnohem pohyblivější, méně často zraněný (20%)

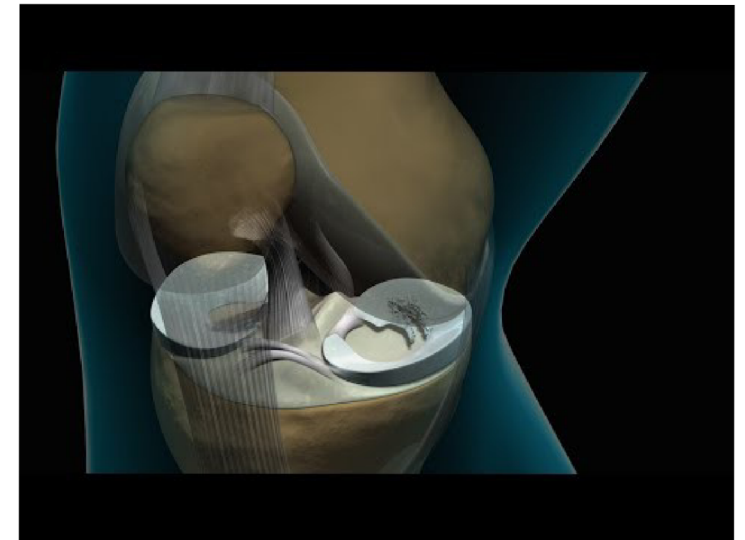


<https://cz.pinterest.com/pin/835206693370674808/>

LeadingMD.com © 2001

# Vyšetření chrupavek

- Zobrazovací metody
- Auskultace - drásoty, krepitace, lupavé fenomény při pohybu aktivním i pasivním
- zajímá nás, zda byl úraz daného kloubu, zda zvuky doprovází bolest, jestli je otok, erytém (zčervenání), zateplení kloubu...
- Vyšetření menisků kolenního kloubu
- Palpační test menisků
- Apley test
- McMurray test
- Steinmann test 1



# Zdroje:

- ASTUR, D. C., ZANATTA, F., ARLIANI, G. G. Stress fractures: definition, diagnosis and treatment. Revista Brasileira de Ortopedia. 2016, num. 51, pp. 3-10.
- BREITHAUPT. Zur pathologie des menschlichen fusses. To the pathology of the human foot. Med Zeitung. 1855, num. 24, p. 169.
- PEPPER, M., AKUTHOTA, V., McCARTY, E. C. The Pathophysiology of Stress Fractures. Clinics in Sports Medicine. 2006, num. 25, pp. 1-16.
- WARDEN, S. J., BURR, D. B., BRUKNER, P. D. Stress Fractures: Pathophysiology, Epidemiology, and Risk Factors. Current Osteoporosis Reports. 2006, num. 4, pp. 103-109.
- [https://www.sportklinik.cz/2020/11/12/unavove-zlomeniny/](https://www.physio-pedia.com/Mechanical>Loading_of_Bone</a></li><li>• <a href=)
- Kapanji, A., I. The physiology of the joints. Churchill Livingstone Elsevier 2008, 6. vyd., 335 s. ISBN 978-0-7020-2959-2.
- Kolář, P. Rehabilitace v klinické praxi. Praha: Galén 2010, 1. vyd., 650 s. ISBN 978-80-7262-657-1.
- Lewit, K. Manipulační léčba. Leipzig: J. A. Barth Verlag Heidelberg 2003, 5. vyd., 412 s. ISBN 80-7066-725-7.
- Oatis, C., A. Kinesiology. Lippincott Williams & Wilkins, a Wolters Kluwer business 2009, 2. vyd., 946 s. ISBN 978-0-7817-7422-2.
- Véle, F. Kineziologie. Praha: Triton 2007, 2. vyd., 376 s. ISBN 80-7254-837-9.

**Děkuji za pozornost!**

Když ti pacient referuje,  
jak probíhala kontrola na  
chirurgii po ukončení rehabilitací



Jak Utopit Dr. Mráčkovou:  
<https://www.instagram.com/p/CjiOKBVjbr9CZVo8JmkxN6SBDxrovLpkRNdOyw0/>

**MUNI  
SPORT**