
Mechanické vlastnosti kostní tkáně

Kost není v pravém slova smyslu tkáň, ale orgán (či komplexní biomateriál), který z mechanického hlediska vykazuje různé mechanické vlastnosti podle své struktury, lokality, směru zatížení, zátěžové historie atd. Je pro ni typická strukturální nehomogenita a anizotropie ([Obr. B-Ot-6-15](#))

Terminologicky se proto musí rozlišit vlastní kostní tkáň tvořená buňkami a mezibuněčnou hmotou s minerály, a kost jako orgán tvořený ze spongiózní a kompaktní kostní tkáně, vaziva ale i cévního zásobení a inervace.

Kostní buňky produkují mezibuněčnou hmotu jednak amorfní a dále vláknitou. (Podrobněji stavba viz anatomie). BM vlastnosti kostní tkáně jsou v první řadě dány kolagenovou maticí a minerály. Kolagenní vlákna odolávají tahu, ale pro jiné způsoby zatížení jsou poddajná. Minerální látky především kalcium ve formě hydroxyapatytu dodávají kosti tvrdost a křehkost. Proto je demineralizovaná kost měkká a poddajná. Deproteinizovaná kost je naopak tvrdá, křehká a snese jen nízké zatížení v tahu. ([OBR 4BM 2](#))

Základními typy kosti jsou [spongiózní kost](#) a [kompaktní kost](#), které se od sebe výrazně odlišují jak strukturou, tak mechanickými vlastnostmi. Reálné kostní útvary vykazují vždy kombinaci obou typů kostní tkáně.

Funkční stavba kosti

Přestavba kostní tkáně je řízena zpětnou vazbou a neustále dochází k remodelaci kosti.

Platí zákon minima-maxima, který říká, že struktura kosti je vybudována s minimálním množstvím materiálu při maximální pevnosti v daném směru. Dále platí hypotéza adaptace, podle které adaptace funkčních orgánů a tedy i kostí, probíhá podle praxe, která nastane.

Zpětná vazba je realizována, podle zatím známých mechanismů, prostřednictvím krystalků hydroxyapatytu, který vykazuje piezoelektrický jev, a prostřednictvím smykových napětí, která stimulují buněčné procesy.

Spongiózní kost je známa funkčně podmíněnou stavbou, kdy jsou trámečky vystavěny tak, že jejich směr souhlasí se směrem hlavních napětí.

Pokud posuzujeme celkové mechanické vlastnosti kosti (jako orgánu) musíme znát kromě vlastních mechanických vlastností kostní tkáně také geometrické uspořádání vnější zátěže a tvaru kosti - především průřez (tvar, plocha, šířka stěny aj.). ([OBR BM 12](#))

Mechanické vlastnosti kosti

Vzhledem k principu remodelace kostní tkáně závislém na mechanickém působení je kostní tkáň nehomogenní a anizotropní. Závislost mechanických vlastností na směru, kterým působí vnější zatížení, je značná. Při zatížení v podélném směru kosti, může být mez pevnosti až 10 krát vyšší než ve směru radiálním a tangenciálním. Navíc ještě záleží na způsobu zatížení. Řádově můžeme říci, že v tlaku je pevnost kosti nejvyšší, o třetinu nižší v tahu a jen třetinová ve smyku. ([OBR BM 12](#) , [Obr. B-Ot-6-16](#))

Dále, vzhledem k viskoelastickým vlastnostem kostní tkáně závisí mechanické vlastnosti kosti na rychlosti deformace. S rychlostí deformace stoupá mez pevnosti, elastický modul a naopak klesá maximální dovolená deformace a absorbuje se větší množství energie. ([OBR 4BM 4](#))

Změny mechanických vlastností kostní tkáně

Vzhledem k neustálé remodelaci kostní tkáně na základě mechanické zpětné vazby jsou její mechanické vlastnosti dány historií zatěžování. To znamená, že pokud je orgán imobilizován, snižuje se výrazně jeho pevnost a poddajnost a naopak opakovaným zatěžováním s dostatečnou intenzitou je možné předcházet poruchám remodelace (např. osteoporóza) a s tím spojeným zvýšeným rizikem zlomenin v důsledku snížení mechanické pevnosti.

S věkem se mechanické vlastnosti mění ve smyslu zvyšování pevnosti a snižování maximální deformace. Celkově je kost starší osoby schopna absorbovat menší množství deformační energie v porovnání s mladým jedincem. ([OBR 4BM 4](#))

Cyklická zátěž kostí (Obr. B-Ot-6-17) vytváří podmínky pro únavové a adaptační jevy, které jsou spojeny s adekvátními remodelačními procesy, ale i únavovými mikrotraumaty, únavovými zlomeninami, degradací tvaru apod. K únavové zlomenině kosti může dojít, jestliže frekvence zatěžování nadkritickým zatížením překročí adaptační rychlost. Dále závisí na velikosti zátěžných sil, jestliže se pohybují v zóně únavy, dochází k šíření deformace a trhlin až k poškození celistvosti. Nebezpečné je i opakované krátkodobé přetížení v případě nižšího zatížení, které je jinak materiálem dobře snášeno. (OBR BM 11)

Osteoporóza

Syndrom charakterizovaný patologickým úbytkem anorganické a organické části kosti se změnami mikrostruktury a funkce kosti. Za osteoporózu je považován úbytek kostní denzity (bone mineral density BMD) o 2,5 směrodatné odchylky ve srovnání s BMD při dosažení vrcholu kostní hmoty (peak bone mass PBM) ve věku 25-30 let. Negativními faktory patogeneze jsou pokles či vymizení tvorby pohlavních hormonů, výživa s nízkým příívodem vápníku a vláknin a přebytkem bílkovin, cukrů a tuků a nedostatek antigravitační tělesné zátěže. Diagnóza se stanovuje nejčastěji RTG osteodenzitometrií, kvantitativní výpočetní tomografií (QCT) a ultrasonodenzitometrií, která kromě denzity a struktury prostřednictvím měření rychlosti šíření zvukových vln informuje o elasticitě tkáně. Vyskytuje se asi u 16% našeho obyvatelstva. 90% zlomenin krčku stehenní kosti je osteoporotického původu a asi 50% žen starších 75 let utrpí kompresní zlomeninu obratle.(mikrotomografie kostní tkáně – fraktury, osteoporóza, aj.)

Typy zlomenin kostí, hojení zlomenin

Podle tvarových a materiálových charakteristik kosti a vnějšího uspořádání působících sil dochází ke zlomeninám ohybovým, smykovým, kompresním a v krutu s charakteristickým tvarem a průběhem lomu.

Mezi úlomky se krvácením kosti a narušených okolních měkkých tkání vytvoří hematoma. Postupně do hematoma začínají prorůstat z okolní tkáně drobné kapiláry a řídká fibrózní tkáň. Později se zpevňuje přibýváním kolagenních vláken a tvoří pružné spojení kostních úlomků. Ve třetím týdnu vzniká kalcifikační mezibuněčné substance primární kostní svalek. Je-li kost v této fázi mechanicky namáhána, tvoří se bezcévní vazivo s chrupavkou a vzniká tzv. pakloub. V dalším stádiu je primární svalek postupně nahrazován lamelární kostí. Následnou remodelací se resorbuje nadměrný periostální svalek a obnovuje se souvislost přechodně uzavřené dřeňové dutiny.

Osteosyntéza je spojování kostních úlomků tak, že zlomená kost spolu s osteosyntetickou pomůckou vytvoří mechanický systém, mající přibližně stejnou pevnost jako má kost neporušená.