

Mechanické vlastnosti tkání - Opěrný a pohybový systém



Článek byl označen za rozpracovaný,

od jeho poslední editace však již uplynulo více než 30 dní

Chcete-li jej upravit, pokuste se nejprve vyhledat autora v historii (https://www.wikiskripta.eu/index.php?title=Mechanick%C3%A9_vlastnosti_tk%C3%A1n%C3%AD_-_Op%C4%B9_Brn%C3%BD_a_pohybov%C3%BD_syst%C3%A9m&action=history) a kontaktovat jej.

Podívejte se také do .

Pokud vše nasvědčuje tomu, že původní autor nebude v editacích v nejbližší době pokračovat, odstraňte šablonu {{Pracuje se}} a stránku .

Stránka byla naposledy aktualizována v neděli 11. listopadu 2018 v 07:59.

Úvod

Opěrný systém u člověka tvoří kostra a spojení mezi jednotlivými kostmi (pohyblivé prostřednictvím kloubů, nepohyblivé pomocí vaziva a chrupavky nebo srůst kostí). Opěrný systém je zároveň pasivní složkou pohybového systému, jeho aktivní složkou je pak svalstvo.

Mechanické vlastnosti kostní tkáně

Kostní tkáň je typem opěrného pojiva, jehož součástí jsou specializované buňky (osteoblasty, osteocyty, osteoklasty) zalité v mineralizované mezibuněčné hmotě. Hlavní funkcí **osteoblastů** je produkce složek mezibuněčné hmoty a mineralizace tkáně. **Osteocyty** jsou pouze neaktivní formou osteoblastů. **Osteoklasty** slouží k odbourávání kostní tkáně, aby se mohla neustále obnovovat. **Amorfní složka mezibuněčné hmoty** obsahuje zejména proteoglykany (řetězce kyseliny hyaluronové, na nichž jsou navázány glykosaminoglykany, především chondroitinsulfát a keratansulfát) a strukturální glykoproteiny (osteonektin, osteopontin). **Vláknitá složka** je tvořena svazky kolagenních vláken (kolagen typu I.). Kostní tkáň je mineralizovaná (ve struktuře kolagenních vláken jsou vmezeřeny krystalky hydroxyapatitu), minerální složka může tvořit až 65% váhy kosti.

Existuje ve dvou formách:

- **fibrilární kost** - u člověka se téměř nevyskytuje, pouze při tvorbě kosti (růst a hojení)
- **lamelární kost** - tvoří převážnou část skeletu a vyskytuje se buď jako **kost kompaktní** nebo jako **kost spongiózní**

Kompaktní kost

Vyskytuje se v diafýzách dlouhých kostí a na povrchu jejich epifýz, dále na vnějším i vnitřním povrchu kostí plochých a na vnějším povrchu kostí krátkých. Je tvořena nejčastěji koncentricky uspořádanými **lamelami** (z paralelně uspořádaných kolagenních vláken - kolagen typu I.), jejichž centrem probíhá Haversův kanálek. Komplex soustředných lamel se nazývá **osteon** (základní jednotka kompaktní kosti). Díky uspořádání kolagenních vláken v lamelách a rozdílnému stupni mineralizace tkáně získává kompaktní kost pružnost a pevnost (v tahu, tlaku i ohybu).

Pružnost je dána mezí pružnosti, tj. pokud síla působící na kost nepřekoná její mez pružnosti, nastane deformace elastická (kost se po skončení působení síly navrátí do původního stavu). Pokud však síla mez pružnosti přesáhne, deformuje se kost plasticky (dochází k nevratnému poškození struktury tkáně).

Pevnost je vyjádřena mezí pevnosti, po jejímž překročení působící silou dochází k destrukci tkáně. Pevnost kosti v tlaku je srovnávána s mosazí či kujným železem, (snese tlak převyšující 200 MPa). Např. diafýza humeru unese při statickém zatížení hmotnost cca 600 kg (ve směru osy diafýzy), femur 760 kg, tibie až 1350 kg. Při dynamickém zatížení se hodnoty zmenšují s narůstající rychlostí podnětu. Při zatížení v příčném směru (vzhledem k diafýze) byla prokázána až poloviční pevnost. Nejmenší pevnost prokazují kosti ve zkrutu (torzi), fibula praská již při zatížení 6 kg, klavikula při cca 8 kg. To může být způsobeno chybějícími kolagenními vlákny mezi jednotlivými lamelami kompaktní kosti (jen ojediněle proniká kolagenní vlákno z jedné lamely do druhé). Ještě větší odolnost vykazují kosti v tahu (až o 60% oproti tlaku), velmi malou odolnost naopak v ohybu.

Spongiózní kost

Nachází se v epifýzách dlouhých kostí a v tělech kostí krátkých a plochých. Je složena z kostních trámců uspořádaných do prostorové struktury tak, aby vyhovovaly nárokům na zatížení kosti. V silnějších trácích můžeme nalézt i osteony, v tenkých pouze souběžné lamely. Celkové uspořádání a směřování kostních trámců se nazývá **architektonika kosti** a je specifické pro každou kost. Vzniká až namáháním kosti typickými pohyby, tzn. trámce pak probíhají ve směru siločar, v nichž se namáhání kosti uplatňuje.

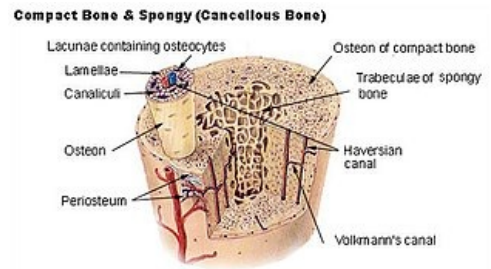
Oproti kosti kompaktní má spongióza asi čtvrtinovou hustotu, což se projevuje především menší pevností a pružností. Snese ovšem i pětinasobnou deformaci a lépe se přizpůsobuje napětí. Také rychlost plastické deformace

je výrazně nižší, tkáň při ní může dosáhnout až 110% své původní délky, než dojde k poškození kosti. Spongióza také obsahuje četné prostory mezi trámci, které jsou vyplněny tukovými buňkami, buňkami kostní dřene, cévami, nervy a mezibuněčnou tekutinou. Díky tomuto systému buněk a ostatních součástí získává spongióza hydraulické vlastnosti, bývá proto označována jako **hydraulický systém kosti**. Při zatížení pohybového systému se v dutinách mezi trámci zvýší hydrostatický tlak a zátěž je tak zčásti absorbována, samotné trámce jsou zatíženy až druhotně.

Změny kostní tkáně

Při každé změně tkáně dochází k opětovné **remodelaci** vnitřní (částečně i vnější) struktury, čímž je zaručena maximální mechanická funkčnost kosti i po její deformaci nebo změně preference pohybu (= **Wolffův zákon**). Remodelace probíhá u zdravých jedinců v rovnováze (rychlost odbourávání staré tkáně je stejná jako rychlost tvorby tkáně nové). Pokud dojde k poruše rovnováhy (např. vlivem věku; většinou u lidí starších 50 let), může proces odbourávání převážit proces tvorby a způsobit tak **osteoporózu** (křehkost kostí). S přibývajícím věkem se zvyšuje i mineralizace kostí, tkáň je pak tužší a křehčí, snižuje se i mez pevnosti (cca o 6%/10 let).

Při **cyklickém namáhání kosti** dochází k mikrodeformacím (nevratným), čímž se vytváří podmínky pro vznik **únavových zlomenin**. K únavové zlomenině dojde, pokud je frekvence zatěžování vyšší, než rychlost adaptace na danou zátěž (nestihne se uskutečnit remodelace a nelze tak zabránit zlomenině).



Stavba kosti

Mechanické vlastnosti kostních spojení

Pevná spojení

Pevná spojení (synarthrosis) jsou nepohyblivá (pouze minimální posuny) a účastní se jich tři typy pojiva (vazivo, chrupavka, kost):

Syndesmóza

Syndesmóza je pojem označující spojení kostí vazivem, buď s převahou kolagenních nebo elastických vláken. Umožňuje drobné vzájemné posuny kostí. Mezi vazivové spoje patří u člověka švy na lebce (u novorozence fontanely), některé spoje na páteři, spoje mezi předloketními a bérčovými kostmi a závěsný zubní aparát.

Synchondróza

Synchondróza označuje velmi pružné spojení kostí pomocí chrupavky. Jedná se o pevnější spojení, než je spojení vazivem, pohyb proto není téměř umožněn. U kostí lebeční báze a u jednotlivých úseků hrudní kosti se spoje účastní hyalinní chrupavka, zatímco mezi stydkými kostmi (symphysis) a u meziobratlových destiček nacházíme převážně vazivovou chrupavku.

Synostóza

Synostóza vzniká druhotným srůstem kostí původně z chrupavčitého či vazivového spojení a je naprosto nepohyblivá. Příkladem synostózy může být srůst 5 křížových obratlů v křížovou kost.

Pohyblivá spojení (klouby)

Kloub je aparát spojující dvě a více kostí pomocí vazů obalený **kloubním pouzdrem**. Povrchy kloubních ploch jsou potaženy vrstvou **hyalinní chrupavky**, prostor v kloubním pouzdru je vyplněn **synoviální tekutinou**.

Kloubní chrupavka

Kloubní chrupavka přesně kopíruje tvar artikulujících kostí, není však ve všech místech stejně silná. V místech většího zatížení (v centru) a tam, kde si kosti tvarově vzájemně neodpovídají, je silnější (0,5 - 6 mm). Na kloubní ploše česky můžeme nalézt dokonce až 8 mm silnou vrstvu chrupavky. Je ukotvena ke kosti svými vlákny, které probíhají kolmo k ose pohybu. Hluboká mineralizovaná vrstva chrupavky představuje přechodnou část mezi pružnou vrstvou chrupavky a méně pružnou kostí.

Při zátěži na chrupavku dochází k její pružné deformaci. Z amorfni mezibuněčné hmoty je při deformaci vytlačována synoviální tekutina (cca 6 nm širokými otvory) do kloubního prostoru. Při fyziologické zátěži se již v počáteční fázi může uvolnit až 60% tekutiny, to způsobuje mimo jiné i zahušťování mezibuněčné hmoty. Po skončení zatížení je osmotickými silami proteoglykanů v mezibuněčné hmotě chrupavky tekutina nasáta zpět do tkáně. Tento proces také zajišťuje látkovou výměnu mezi prostředím v rámci kloubu (zejména kvůli výživě chrupavky). Není-li proto kloub dlouhodobě zatěžován, je látková výměna narušena a chrupavka ztrácí své optimální vlastnosti.

Každý kloub má jinak pružnou chrupavku. Čím je chrupavka silnější, tím je i pružnější (často zatěžované klouby mají proto silnější chrupavku než drobné, nepřilíš zatěžované klouby). I nezatížená chrupavka je však pod stálým tlakem 6 - 8 kg/cm², který způsobuje svalový tonus.

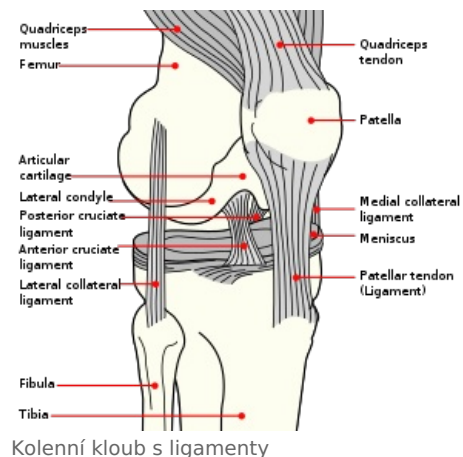
Vlivem stárnutí dochází k postupnému opotřebovávání horních vrstev chrupavky. Zpočátku je ztráta buněk kompenzována zvětšením objemu mezibuněčné hmoty, což ale nedokáže zajistit plnou funkčnost. Chrupavka proto částečně ztrácí pružnost a její mezibuněčná hmota viskozitu (nedokáže již vázat vodu a tím zajistit dostatek synoviální tekutiny).

Kloubní pouzdro

Kloubní pouzdro spojuje artikulující kosti a umožňuje jim pohyb. Je tvořeno vrstvou nestejně silného kolagenního vaziva (převaha kolagenu I.) a je zesíleno několika mechanismy. Jedná se o **kapsulární a extrakapsulární vazy**, začátky a úpony svalů (šlachy) a **mm. articulares** (svaly kloubního pouzdra zabraňující uskřínutí napínáním pouzdra). Zajišťuje především stabilitu kloubu a brání vychýlení osy pohybu. Díky vlastnostem kolagenních vláken se můžou vazy v pouzdru prodloužit až o 6%.

Synoviální membrána kryje vnitřní povrch kloubního pouzdra kromě kloubních chrupavek, disků a menisků. Od fibrózní vrstvy je oddělena řídkým vazivem. Tvoří ji kolagenní vlákna a buňky **synovialocyty** (synovialocyty A-typu a B-typu). **Synovialocyty A-typu** plní obrannou funkci kloubů, neboť jsou značně fagocytárně aktivní; **synovialocyty B-typu** produkují kolagenní a elastická vlákna i amorfní mezibuněčnou hmotu (např. kyselinu hyaluronovou).

Synoviální tekutina se skládá z filtrátu plasmy, buněk a **kyseliny hyaluronové** (ta tvoří prostorové síť, které znemožňují pohyb ostatních složek tekutiny a tím vytváří tenký film oddělující třecí plochy kloubních chrupavek). Jejimi hlavními funkcemi je zabezpečování výživy kloubních chrupavek, zvyšování a udržování jejich pružnosti a snižování tření mezi nimi.



Kolenní kloub s ligamenty

Hlavní pohyby v kloubech

- **úhlové pohyby** - všechny body kosti opisují oblouky kolem osy otáčení kloubu
 - kulovitý kloub
 - válcovitý kloub
 - elipsovité kloub
 - kladkový kloub
- **translační pohyby** - všechny body kosti urazí při pohybu stejnou dráhu
 - plochý kloub
 - sedlovitý kloub

Úhlové a translační pohyby se většinou kombinují.

Mechanické vlastnosti svalové tkáně

Svalové tkáně zajišťují, pomocí přeměny energie chemických vazeb na mechanickou práci, veškerý aktivní pohyb živočichů. K jejich charakteristickým znakům patří **elastická** a **schopnost aktivního stahu**. Svaly se skládají z mnohohaderných **svalových vláken**. Délka svalových vláken je různá. Pohybuje se od několika milimetrů až do 15 cm. Průměr vláken kolísá mezi 10 až 100 μm . Při prodlužování nad klidovou délku, klade sval odpor. Mez pevnosti svalů se obecně pohybuje od 0,4 MPa do 1,2 MPa. Kromě pohybu slouží také ke komunikaci a napomáhají cirkulaci krve. V lidském organismu rozlišujeme tyto typy svalových tkání: **kosterní svalstvo, hladké svalstvo, srdeční svalstvo a myoepitel**.

Rozdělení svalů podle tvaru

- **svaly dlouhého typu** (např. svaly končetin)
- **svaly krátkého typu** (např. svaly v okolí kloubních spojení)
- **svaly plochého typu** (např. svaly břišní stěny)

Dále se svaly dělí podle počtu hlav (bicepsy, tricepsy), počtu a uspořádání svalových bříšek, funkce, nebo průběhu svalových vláken.

Základních pohyby motorického aparátu

- **flexe** - pokrčení
- **extenze** - natažení
- **abdukce** - pohyb od těla
- **addukce** - pohyb k tělu
- **zevní a vnitřní rotace**

Svalová kontrakce

Aktivní stah umožňují **myofibrilová vlákna**, z nichž se svalová buňka skládá. Po své délce se dělí na **sarkomery**, které jsou jejich základními funkčními a strukturálními jednotkami. Sarkomery tvoří tenká (aktinová) filamenta a tlustá (myozinová) filamenta. Vlákna **aktinu** a **myozinu** se částečně překrývají, čímž vzniká příčné pruhování svalů. Při kontrakci se myozinová a aktinová filamenta zasouvají mezi sebe a tím dochází ke stažení svalu. Energie pro tento proces je získávána hydrolýzou adenin trifosfátu (ATP). Aktivitu bílkovinných vláken zajišťujících kontrakci svalu spouští vyplavení iontů Ca^{+II} z buňky do cytosolu a umožňuje tak interakci myozinu s aktinem. Kvůli štěpení ATP navázaného na hlavici myozinového vlákna, která je pevně spojena s vláknem aktinu, dochází ke změně její konformace a vlákno se zasune mezi aktinová vlákna. Po navázání dalšího ATP se myozinové hlavy vrací do své původní polohy a sval se opět uvolňuje. Tento proces je přímo řízen nervovým systémem. Sval se s nervy spojuje v místě **nervosvalové ploténky**. Mediátorem přenosu v nervosvalové ploténce je **acetylcholin**.

Svalové kontrakce se dělí na dva typy:

- **izotonickou** – zatížení svalu je konstantní, mění se jeho délka
- **izometrickou** – délka svalu je konstantní, mění se zatížení

Mechanická práce kosterního svalu

Při kontrakci sval koná mechanickou práci a uvolňuje teplo (kosterní svaly se mohou zkrátit o 30 až 50% své klidové délky). Práce, je ve fyzice definována, jako síla působící po určité dráze ($W = F \cdot x$). Tímto způsobem můžeme spočítat práci vykonanou svalem při jeho aktivitě. U **izometrické** kontrakce se však dráha působící síly rovná nule. Tudíž výpočet práce podle vzorce $W = F \cdot x$ není možný. Přesto i v tomto případě sval koná práci a k jejímu výpočtu se užívá metod nepřímé **kalorimetrie**. V různých fázích svalové činnosti i po ní vzniká ve svalu teplo. U **izotonické** kontrakce ho můžeme rozdělit na:

- **aktivační teplo** – uvolňuje se při přechodu svalu z klidového stavu do pohybu
- **zkracovací teplo** – uvolňuje se při zkracování svalu.

Energetika svalové tkáně

Pro energii uvolněnou během svalové kontrakce platí vztah: $E = Q_a + Q_z + W$. Kde Q_a značí **aktivační teplo**, Q_z **zkracovací teplo** a W **mechanickou práci** vykonanou svalem. Energie pro svalový stah je dodávána ve formě **ATP**. Zásoba **ATP** ve svaích je však poměrně malá a tak se doplňuje reakcí ADP s **kreatinfosfátem**. Kreatinfosfát je přitom doplňován odbouráváním volných mastných kyselin z krve. Při vysokých výkonech se následně stává důležitějším zdrojem **glukóza** a při extrémních výkonech **glykogen**. Účinnost svalové práce se pohybuje mezi 20 - 25%.

Mechanické vlastnosti šlach a vazů

Šlachy spojují sval s kostí. Přenáší svalem generovanou sílu na **skelet**. Vazy zajišťují spojení kostí. Zpevňují **kloubní pouzdro** a vymezují rozsah pohybu. Jak vazy zpevňující kloubní pouzdra, tak šlachy jsou převážně tvořeny tuhým uspořádaným kolagenním vazivem. **Kolagenní vlákna**, která šlacha obsahuje, mají pevnost v tahu okolo $50\text{N}/\text{mm}^2$. Pevnost šlach obecně, však nelze takto snadno odvodit. Odhaduje se, že je asi čtyřnásobně vyšší, než je maximální **izometrický** tah odpovídajícího svalu. Šlachy je možno protáhnout maximálně o 4% jejich původní délky. U vazů se nejvyšší možné protažení pohybuje od 4-10%.

Odkazy

Biomechanika svalového stahu

Externí odkazy

- http://www.mech.fd.cvut.cz/education/archiv/k618yamb/download/biomechanika-1/2opakovani_mech_vl.pdf
- http://biomech.ftvs.cuni.cz/pbpk/kompendium/biomechanika/vlastnosti.php
- http://ftk.upol.cz/fileadmin/user_upload/FTK-katedry/biomechanika/BIOM_Kosterni_subsystem.pdf
- https://is.muni.cz/th/sf7vu/Jurda_-_Tafonomie_lidske_lebky_z_pohledu_geometricke_morfometrie.txt?so=nx

Použitá literatura

- NAVRÁTIL, Leoš a Jozef ROSINA, et al. Medicínská biofyzika. 1. vydání. Praha : Grada, 2005. 524 s. ISBN 80-247-1152-4.
- VAJNER, Luděk, Jiří UHLÍK a Václava KONRÁDOVÁ. Lékařská histologie. 1. Cytologie a obecná histologie. 1. vydání. Praha : Karolinum, 2010. 110 s. ISBN 978-80-246-1860-9.
- ČIHÁK, Radomír. anatomie 1. 1. vydání. Praha: Avicenum, 1987. 456 s.