

## Chrupavčitá tkáň - chrupavka

Chrupavka je pojivová tkáň, která se skládá z chondrocytů, kolagenních a elastických vláken a amorfní mezibuněčné hmoty.

### Buňky chrupavky

Chondroblasty (chondrocyty) jsou základní buňky všech typů chrupavek, které syntetizují a produkují vláknitou i amorfní mezibuněčnou hmotu.

Stavba chondrocytů: Chondrocyty (-blasty) jsou tvarově dost proměnlivé buňky. V povrchových vrstvách chrupavky mají vřetenovitý tvar, v hlubších vrstvách jsou spíše kulovité. V elektronovém mikroskopu je zřejmé, že povrch buněk vybíhá v drobné zoubkovité výběžky, kterými jsou buňky zakotveny v gelovité základní hmotě chrupavky.

Chondrocyty (-blasty) mají dobře vyvinutý proteosyntetický aparát. Pokusy s radioizotopy síry ukázaly, že mechanismus tvorby kolagenních a elastických vláken i amorfní mezibuněčné hmoty, je obdobný jako u fibroblastů.

Látková výměna chrupavek je poměrně intenzivní - zvláště u mladších osob, a svědčí i o relativně dobré obousměrné propustnosti základní hmoty chrupavek pro tekutiny. Vlastní hmota chrupavky je ale bezcévná !

### Mezibuněčná hmota

Základní mezibuněčná hmota chrupavek je z objemového hlediska hlavní součástí chrupavek. Chondrocyty nejsou příliš početné a v chrupavce zaujímají poměrně malý prostor.

Stavba mezibuněčné hmoty: Amorfní mezibuněčná hmota je proteoglykanový komplex, který se svými základními vlastnostmi i stavbou příliš neliší od amorfní hmoty vaziva. Kolagenní vlákna chrupavek jsou tenčí než vlákna vaziva, a jsou zcela zalita do amorfní hmoty. Jemná a značně ohebná elastická vlákna jsou typická především pro elastickou chrupavku.

Mezibuněčná hmota představuje prostor, ve kterém se nejen realizuje látková výměna chrupavek, ale i prostor, který izoluje chondrocyty od vnitřního prostředí organismu a podmiňuje základní fyziologické a biomechanické vlastnosti chrupavek, např. vazbou vody. (Specifický podíl chrupavek na tvorbě a růstu kostí bude popsán dále.)

Chrupavky jsou prakticky bezcévné a nemají inervaci. Jsou ale - s výjimkou kloubních chrupavek, pokryty vazivovým obalem, perichondriem, který obsahuje cévy a nervy. Z cévního řečiště perichondria difundují do nitra chrupavek základní stavební komponenty proteoglykanů i vláken (především aminokyseliny). Perichondriem se tak uskutečňuje látková výměna chrupavek a jejich prostřednictvím také chrupavka přirůstá. Odtud také obvykle začíná hojení chrupavek.

Růst chrupavek probíhá dvěma mechanismy:

- apozicí (přirůstáním, přikládáním), a
- intersticiální proliferací.

Apoziční růst probíhá tak, že fibroblasty perichondria se dělením pomnoží, a na ploše přivrácené do nitra chrupavky se mění (diferencují) v chondroblasty.

Chondroblasty začnou produkovat mezibuněčnou hmotu chrupavky a "zabudovávají" se do novotvořené chrupavky. Od hlubokých vrstev perichondria tak přirůstají nové vrstvy chrupavky.

Intersticiální růst vychází z nitra chrupavky. Je typický pro mladé chrupavky s velkou plasticitou základní hmoty. Podstatou intersticiálního růstu je intenzivní dělení chondroblastů, které obklápí jenom minimum vláken, takže se novotvořené chondroblasty "vejdou" do amorfní základní hmoty. Nové chondroblasty pak zahajují mohutnou produkci základní hmoty.

Růst hyalinních chrupavek je řízen a ovlivňován řadou látek. Hormon předního laloku hypofýzy - somatotropin urychluje pomocí tkáňového somatomedinu aktivitu buněčného dělení, a rychle se množící chondroblasty produkují velké množství mezibuněčné hmoty. Podobný stimulační účinek mají i hormony štítné žlázy, testosteron a vitamíny C a D. Brzdící účinky na dělení buněk chrupavky a tím i na produkci mezibuněčné hmoty, mají estrogény a kortizon.

Biomechanická charakteristika chrupavčité tkáně je obtížná. Z hlediska chemické stavby tvoří chrupavku ze 60 % voda, a ze 40% bílkoviny. Z bílkovin připadá 60 % na kolagen, a 40 % na proteoglykany.

Z biomechanického pohledu je chrupavka proto velmi heterogenní směs, která se těžko definuje. Maximální pevnost v tahu dosahuje u chrupavek hodnot, které odpovídají pouze asi 5 % pevnosti kosti. Pružnost chrupavek je závislá na obsahu vody (hydrataci). Nelze ji proto obecněji stanovit - chrupavka se chová jako porézní materiál, např. jako houba.

Tak jako v houbě, je i v základní hmotě chrupavky vázána voda jen velmi volně. Při zatížení dochází proto v iniciální fázi k poměrně rychlému vytlačení vody ze základní hmoty, a k změně tvaru chrupavky, např. k jejímu oploštění.

V následné fázi zatížení se uplatňuje vyšší rigidita vláknité komponenty základní hmoty, a tvar chrupavky se již téměř nemění. Toto "bifázické" chování zatížených chrupavek je velmi významné především pro biomechaniku pohybujícího se kloubu (tření), a pro chování meziobratvých destiček. V dalším textu se k této vlastnosti chrupavek ještě vrátíme.

Hojení a regenerace chrupavek poškozených úrazem nebo degenerativním procesem je pochod podobný apozičnímu růstu, a je tedy velmi závislý na perichondriu. Do defektu v chrupavce vrůstají z perichondrií nebo z přiléhající kosti cévy, a defekt se vyplňuje bohatě vaskularizovaným vazivem. Fibroblasty vaziva se mohou transformovat na chondroblasty, které pak nahrazují poškozenou chrupavku. Z klinického hlediska je hojení většiny chrupavek dospělého člověka problematické. Hojení je vždy pomalé a velmi závislé na věku pacienta. Podmínkou obnovy a náhrady pojivových tkání je totiž přítomnost cév (perichondria) - přítomnost krevního oběhu. Tato podmínka je u chrupavek zčásti splněna jen v dětství - jinak jen výjimečně. Z hlediska hojení chrupavek je určitým paradoxem, že se lépe hojí defekty zasahující až do kostěného podkladu chrupavek, např. do kloubních konců kostí. Kost je totiž u těchto typů zranění zdrojem cév, které zahajují reparativní pochody poškozené chrupavky. Spontánní regenerace větších defektů kloubních chrupavek, které na kontaktních plochách nemají perichondria, je u dospělých osob prakticky nulová.

Podle poměrného zastoupení jednotlivých stavebních komponent chrupavky rozlišujeme:

- kloubní (hyalinní) chrupavku;
- elastickou chrupavku, a
- vazivovou chrupavku.

## Kloubní chrupavka

Kloubní, hyalinní chrupavka je nejrozšířenějším typem chrupavky v těle. Je tvrdá, hladká a křehká (hyalinní = sklovitá), a ve slabších ploténkách je i průsvitná. Kloubní - hyalinní chrupavka tvoří konce žeber, pokrývá kloubní hlavice, tvoří skelet hrtanu, průdušnice, bronchů a vytváří část podkladu nosu.

Hyalinní chrupavka je i základem skeletu plodu, a ještě novorozenec má většinu "kostry" tvořenou sklovitou chrupavkou.

Stavba hyalinní chrupavky: Chondrocyty hyalinních chrupavek jsou buňky okrouhlého až vřetenovitého tvaru s krátkými, ostnatými výběžky. Buňky se po dělení nevzdalují a zůstávají ve skupinách, kterým vzhledem ke stejnému původu buněk říkáme izogenetické skupiny. Kolem izogenetických skupin jsou jemná pouzdra tvořená kolagenními vlákny chrupavky a základní hmotou.

Chondrocyty hyalinní chrupavky produkují kromě amorfni základní hmoty i velmi jemná kolagenní vlákna. Vlákna se na celkovém objemu mezibuněčné hmoty podílejí asi 50%. Tvoří je kolagen II. typu, formující prostorové sítě, které mají u některých chrupavek určitou architektonickou úpravu, odpovídající zatížení chrupavky. V případě kloubních chrupavek jsou typickým "architektonickým prvkem" chrupavek arkády (oblouky) vzájemně se křížících vláken. Vlákna v hrtanových chrupavkách se naopak kříží pod různými úhly.

Mechanismus, kterým chrupavky distribuují kolagenní vlákna do míst zatížení, a jak probíhá prostorová orientace vláken chrupavky, není známo.

Hyalinní chrupavka je vzhledem ke své stavbě ideálním biologickým materiálem pro krytí pohyblivých povrchů - kloubních ploch. Anatomii a biomechanice kloubních povrchů bude proto věnována detailní pozornost v další kapitole.

## Elastická chrupavka

Elastická chrupavka je ve stěně průdušek, tvoří některé chrupavky hrtanu, je podkladem ušního boltce a části zevního zvukovodu. Čerstvá elastická chrupavka je žlutě zbarvena.

Stavba elastické chrupavky: Chondrocyty (-blasty) elastické chrupavky jsou buňky podobné chondrocytům hyalinní chrupavky. Jsou ale v celé vrstvě (tloušťce) chrupavky rovnoměrněji rozptýleny a v hloubce chrupavek tvoří izogenetické skupiny.

Elastická vlákna chrupavky nemají pravidelné uspořádání (architekturu) a tvoří husté, plst'ovité sítě často doplněné i kolagenními vlákny. Elastická chrupavka může být kombinována s hyalinní chrupavkou.

Elastická chrupavka je velmi pružná a ohebná. Její pružnost je především dána strukturou elastinu, v jehož molekule jsou jen ojedinělé příčné vazby. Po deformaci se elastická chrupavka vrací do svého původního tvaru. Pružnost chrupavek ovšem ve vyšším věku velmi výrazně klesá.

## Vazivová chrupavka

Vazivová chrupavka je především chrupavkou meziobratlových destiček. Je ale přítomná i ve sponě stydkých kostí, tvoří některé chrupavčité destičky (disky a menisky) uvnitř kloubů, povléká kloubní povrchy čelistního kloubu a plochy spojení klíční a hrudní kosti.

Stavba vazivové chrupavky: Chondrocytů je ve vazivové chrupavce málo - převažuje vláknitá složka. Kulaté a ovoidní buňky leží v malých skupinách mezi svazky kolagenních vláken. Amorfni mezibuněčné hmoty je velmi málo a nestačí zakrýt vazivová vlákna - ta proto ve vzorcích chrupavky dominují.

Kolagenní vlákna s velkým průměrem (kolagen I. a II. typu) dodávají vazivové chrupavce velkou mechanickou odolnost v tahu, tlaku i ve zkrutu. Tyto vlastnosti se plně uplatňují především ve stavbě meziobratlových destiček. Vzhledem k významu, který mají tyto chrupavky v kineziologii páteře, bude těmto otázkám věnována samostatná část páté kapitoly.

Z funkčního hlediska lze vazivové chrupavky rozdělit do dvou skupin:

- meziobratlové destičky a spona stydkých kostí, mají svoji stavbou a fyziologickým uplatněním blíže k vlastnostem hyalinních chrupavek,
- jiné typy vazivových chrupavek: disky, menisky, okraje kloubních jamek atd., se stavbou i funkcí podobají tuhému vazivu.
- 

Tam, kde disky nebo menisky vazivové chrupavky přiléhají ke kloubním pouzdrům, mají z cévních sítí pouzder i různě rozsáhlé krevní zásobení.