

POJIVA

Charakteristika pojiv

Pojiva mají v principu jednotný stavební plán - skládají se ze stejných stavebních komponent: buněk a mezibuněčné hmoty.

Mezibuněčná hmota je dvojího druhu: vláknitá a amorfni (beztvará). Typickým a společným znakem všech pojiv je přítomnost většího množství mezibuněčné hmoty. Podle zastoupení jednotlivých stavebních složek a podle vlastností amorfni mezibuněčné hmoty rozlišujeme tři typy pojivových tkání:

- vazivovou tkáň - vazivo;
- chrupavčitou tkáň - chrupavku, a
- kostní tkáň - kost.
-

Z hlediska definice tkání a vymezení pojmu "orgán", i z hlediska jejich dalšího třídění, je nezbytné rozlišovat mezi pojmy : kostní tkáň - kost, chrupavčitá tkáň - chrupavka, apod.

Kostní tkáň je typem pojivové tkáně a je hlavní složkou kosti. Kost je orgán, tj. útvar složený z řady (nejen pojivových !) tkání. V běžné komunikaci se tyto rozdíly stírají a pro jednoduchost budeme proto zvláště u vazivové a chrupavčité tkáně používat označení: vazivo a chrupavka.

Vazivová tkáň - vazivo

Vazivo je pojivová tkáň, kterou tvoří především vazivové buňky (fibroblasty), kolagenní (retikulární) a elastická vlákna a amorfni mezibuněčná hmota.

Buňky vaziva

Fibroblasty (fibrocyty) jsou nejběžnější a zároveň nejvýznamnější buňky vaziva. Rozdíl mezi fibroblasty a fibrocyty je především funkční, ale funkční stav buňky má pochopitelně svůj odraz i v její stavbě.

Fibroblasty jsou vývojově mladší a metabolicky aktivnější buňky produkují mezibuněčnou hmotu. Fibrocyty sice také mohou vykazovat tvorbu mezibuněčné hmoty, ale jejich aktivita, a zvláště jejich pohotovost k dělení je minimální.

Stavba fibroblastů: Fibroblasty nejčastěji identifikujeme jako protáhlé, větvenovité až hvězdicovité buňky přiložené k povrchu vazivových vláken. Vzhled fibroblastů se mění podle jejich okamžitého funkčního stavu. Stupňuje-li se tvorba bílkovin - buňky se zvětšují.

Fibroblasty produkují základní představně vláknité i amorfni hmoty vaziva, tj. tropokolagén (předstupeň kolagenních a retikulárních vláken) a proteoglykany (základ amorfni mezibuněčné hmoty). Mohou tvořit i molekuly elastinu - základní komponenty elastických vláken. Fibroblasty mají značnou regenerační kapacitu a jsou proto hlavním zdrojem materiálu vyplňujícího tkáňové defekty - jizvy. Obnova - hojení vazivových struktur proto závisí především na funkční zdatnosti a přítomnosti fibroblastů nebo buněk ze kterých fibroblasty vznikají.

Tvorba mezibuněčné hmoty fibroblasty, je v podstatě příkladem tvorby bílkovin buňkou. Veškeré léčebné a tréninkové postupy směřující k "posílení" šlach, vazů nebo kloubních pouzder, musíme proto chápat jako pokus o zásah do proteosyntézy! Těchto možností není zatím mnoho, a jsou co do rozsahu buď dost malé nebo co do prokazatelné účinnosti velmi problematické. (Aktivitu fibroblastů zvyšují steroidní hormony - anabolika (!) a vitamín C.)

Fibroblasty nejsou jedinými buňkami vaziva. Také retikulární, tukové, žírné, plazmatické, pigmentové a nediferencované buňky, stejně jako histiocyty mají ve funkční anatomii tkání pohybového systému své specifické funkce, které postačí zmínit v konkrétních situacích.

Pro pochopení funkčních vlastností a hojivých (reparačních) schopností pojiva je důležité si uvědomit, že původ některých pojivových buněk není zcela jasný. Původní představa podle které se fibroblasty (-cyty) mohly transformovat na některé další buněčné typy, je opuštěna. Podél cév je ve vazivu uloženo množství nediferencovaných buněk, které se pokládají za mateřské - "kmenové" buňky některých buněk vaziva. Pokud jsou tyto představy správné, mohou určité buňky vaziva vznikat a nacházet funkční uplatnění i v dospělém organismu.

Dnes převládá názor, že fibrocyty reprezentují konečné vývojové stadium vazivových buněk a další buňky z nich nevznikají.

Vlákná vaziva

Kolagenní vlákna jsou nejobemnější strukturou všech pojivových tkání. Podle typu vaziva probíhají buď paralelně nebo jsou lehce zvlněná. Kolagenní vlákna jsou velmi ohebná a pevná na tah. V čisté formě se podílejí na stavbě těch složek pohybového systému, kde je požadována vysoká pevnost a ohebnost - šlachy a vazy, ale menší pružnost. Kolagenní vlákna se prodlužují jen o 8 -10% své délky, ale unesou zatížení až 50 N na 1 mm².

Stavba vláken: Stavební hierarchie kolagenních vláken je poměrně složitá.

Fibra (10 - 12 mikrometrů) ⊃ fibrila (o 0,3 - 0,5 mikrom.) ⊃ mikrofibrila (30 - 100nm) ⊃ tropokolagen (1,4 nm)

Základem každého vlákna je bílkovina kolagen, tvořená menšími vláknitými molekulami tropokolagenu. Každá tropokolagenová molekula se skládá ze tří spirálovitě stočených řetězců aminokyselin. Fibroblasty vylučují tropokolagen, který teprve v mezibuněčném prostoru polymeruje a formuje kolagenní vlákna. (Vařením se tropokolagen depolymerisuje a vzniká kliš - kolla.) Obnova (náhrada) kolagenu v tkáních probíhá velmi pomalu. Nezbytný enzym pro odbourávání poškozených vláken - kolagenázu, produkují vazivové buňky.

Co je podnětem pro tvorbu nových kolagenních vláken, není jednoznačně prokázáno. Snad jde o dráždění fibroblastů ohybem vláken, ke kterým fibroblasty přiléhají. Vznikající piezoelektrický jev by mohl mít na fibroblasty stimulační vliv. V této souvislosti se opět nabízí otázka vlivu mechanických faktorů na obnovu vazivových tkání.

Tropokolagen je bílkovina bohatá na dvě - jinde v těle dosti neobvyklé aminokyseliny: hydroxyprolin a hydroxylyzin. Hydroxyprolin je aminokyselina, která snadno tvoří příčné vazby mezi molekulami. Tyto příčné vazby zvyšují mechanickou pevnost kolagenových vláken. Stabilita těchto příčných vazeb je ovšem závislá na okolním prostředí, tj. na vlastnostech proteoglykanů, které jsou základem amorfní mezibuněčné hmoty.

Podle úpravy spirál tropokolagenu a zastoupení jednotlivých aminokyselin, rozlišujeme pět základních typů kolagenu:

I. typ kolagenu představuje asi 80% veškerého kolagenu v těle. Jde o vlákna s velkým průměrem, která jsou mechanicky velmi pevná. Tvoří základ šlach, kostí, fascií žebních chrupavek atd. Jde o tzv. "nosný, strukturální" kolagen.

II. typ kolagenu je tvořen tenčími vlákny, která lze nalézt v mezibuněčné hmotě kloubních a elastických chrupavek a v jádru meziobratlové destičky.

III. typ kolagenu má velmi tenká vlákna tvořící součást cévní stěny, stěny orgánů, vaziva svalů a nervů.

IV. typ kolagenu je omezen na velmi jemné, tzv. bazální vrstvy cévní výstelky.

V. typ kolagenu je obsažen v placentě.

Existuje řada systémů, které se pokoušejí třídít kolagen do více než deseti skupin - převážně na základě rozdílných biochemických parametrů. Pro naši potřebu postačí již demonstrované rozdělení. Tvorba jednotlivých typů kolagenu je determinována geneticky. Celá problematika je z biomedicínského hlediska nesmírně závažná (obnova, regenerace a patologie pojivových tkání), ale zatím nepřehledná. Ze stručného přehledu vyplývá, že nelze např. zjednodušeně ztotožňovat vlastnosti a reaktivitu zatížených vazů, šlach, kloubních pouzder a pod. jen na základě podobnosti je jejich anatomické stavby.

Kolagen (resp. jeho jednotlivé typy) se mohou v organismu uplatňovat i jako antigeny a jejich molekuly nebo fragmenty molekul, pak vyvolávají tvorbu specifických protilátek. (Podle tvorby protilátek lze i rozlišit jednotlivé typy kolagenu.)

Při tzv. autoimunních chorobách, např. při arthritu rheumatoidea, jsou v krevní plazmě přítomny protilátky proti prvním třem typům kolagenu a v synoviální výstelce kloubu lze prokázat protilátky proti II. typu kolagenu.

Pevnost a pružnost kolagenních vláken závisí i na periodickém pruhování (žíhání) mikrofibril, které je patrné v mikroskopu. Pruhování je podmíněno střídáním molekul tropokolagenu, které mají určitou délku a v mikrofibrole se schodovitě střídají. Mezi jednotlivými molekulami jsou mezery umožňující jejich vzájemný posun.

Typická periodicitu žíhání kolagenních fibril se při onemocnění vaziva mění, a mění se charakter průběhu křivky závislosti napětí v tahu a deformace kolagenních vláken. Snižuje se především mez pevnosti v tahu a klesají i hodnoty maximálního protažení. K těmto změnám dochází i v procesu přirozeného stárnutí organismu. Z pohledu stavby a funkcí pohybového aparátu je "stárání kolagenu" mírou stárání organismu.

Elastická vlákna jsou ve vazivu méně početná než vlákna kolagenní. Jsou tenká a často se větví. V čistší formě jsou více zastoupena pouze v některých vazech páteře. Obvykle jsou přimíšena ke kolagenním vláknům mezi kterými tvoří prostorové sítě. Elastická vlákna nejsou pevná - unesou zatížení pouze 2 - 3 N na 1 mm², ale mohou být protažena až na 100 - 150 % své původní délky.

Stavba vláken: Základem elastických vláken jsou svazky mikrofibril skládajících se z bílkovinných molekul elastinu. Podobně jako u kolagenu, je i molekula elastinu složená z podjednotek - tropoelastinu.

Tropoelastin je, na rozdíl od tropokolagenu poměrně chudý na hydroxyprolin - aminokyselinu, která je typická tvorbou příčných vazeb. Tzn., že mikrofibry elastinu nejsou výrazněji směrově orientovány, a jejich mechanická pevnost v tahu je minimální. Při přetažení dochází k nevratné deformaci tropoelastinu a ztrátě pružnosti.

Mikrofibry elastických vláken nemají "žíhanou" strukturu kolagenních vláken. Jde o trubcovité útvary vyplněné amorfní mezibuněčnou hmotou, která také mikrofibry navzájem spojuje.

Základní biomechanickou vlastností elastických vláken je jejich pružnost. Této jejich vlastnosti je při stavbě struktur pohybového systému využito v kombinaci s kolagenními vlákny.

Elastická vlákna "temperují" vlastnosti kolagenu.

Chceme-li mechanické vlastnosti "elastické příměsi" (např. v kloubních pouzdrech) vyjádřit odborně, pak přidání elastínu redukuje hysterézi vaziva.

Hysteréze je pojem vyjadřující závislost daného stavu na předchozích stavech. Elastická vlákna redukuje hysterézi vaziva, tzn., že snižují spotřebu energie potřebnou pro zpětnou deformaci. Např. protažený vaz, fascie nebo kloubní pouzdro se s menší energetickou ztrátou vracejí do svého původního stavu.

Elastická vlákna tkání pohybového systému jsou produkována fibroblasty. O možnostech hojení, případně posílení elastické složky vaziva je známo velmi málo. Obvykle se pouze zdůrazňuje nevratnost jejich poškození a degenerativní změny charakteristické ukládáním vápenatých solí.

Retikulární vlákna jsou jemná, tenká a rozvětvená vlákna tvořící prostorové sítě všude tam, kde vznikají i kolagenní vlákna. Na stavbě pohybového systému se podílejí především svoji účastí ve vazivovém skeletu kosterních svalů a červené kostní dřevě.

Dnes se retikulární vlákna pokládají za tenké kolagenní fibrily - předstupně "zralých" kolagenních vláken. O jejich biomechanických vlastnostech v tkáních pohybového systému, není téměř nic známo.

Amorfní mezibuněčná hmota

Amorfní mezibuněčná hmota je bez speciálního barvicího postupu v mikroskopu bezbarvý, rosolovitý roztok produkováný fibroblasty, který vyplňuje prostory mezi buňkami a vlákny. Mezibuněčná hmota je komplexní sloučenina tzv. proteoglykanů, tj. látek složených z 5 - 10% bílkovin a polysacharidového zbytku.

Proteoglykany patří mezi tzv. strukturální nebo také "vazebné" mezibuněčné proteiny. Do této skupiny patří i fibronektin, chondronektin, anchorin C II, laminin aj. Tyto vazebné proteiny spojují nejen fibroblasty, ale i další buňky a vlákna pojivových tkání. Vytvářejí tak základní struktury vnitřního prostředí tkání na kterých probíhá nejen fyziologická látková výměna, ale které jsou také iniciálním místem patologických změn.

Na stavbě proteoglykanů se kromě polysacharidů významně podílí i kyselina hyaluronová. Tato kyselina váže enormní množství vody a při maximální hydrataci zvětšuje až tisíckrát svůj objem. Již nepatrné množství kyseliny podmiňuje gelatinózní konzistenci mezibuněčné hmoty a její vazkost. V amorfní mezibuněčné hmotě jsou obsaženy i elektrolyty, další organické kyseliny, volné bílkoviny a hormony.

Stavba mezibuněčné hmoty: Anatomicky (morfologicky) je mezibuněčná hmota amorfní. Na submikroskopické úrovni jde o velké, agregované molekuly hustě vyplňující mezibuněčné prostory.

Amorfní mezibuněčná hmota především stabilizuje celou strukturu vaziva. Proteoglykany podmiňují soudržnost vaziva, ale také vytvářejí funkční bariéru pro látkovou výměnu fibroblastů, tj. regulují výměnu látek mezi fibroblasty a mezibuněčným prostředím.

Tím, že vážou velké množství vody, regulují jeho množství ve vazivu a umožňují difuzi rozpustných látek vazivem. Proteoglykany mají i klíčovou roli při hojení ran a určují biomechanické vlastnosti všech typů pojiv (vaziva, chrupavky i kosti). Koncentrace kyseliny hyaluronové je určující i pro "mazací" schopnost synoviální tekutiny.

Vazivo

Jestliže zvážíme poměrné zastoupení, biochemické a biologické vlastnosti jednotlivých složek vaziva, tj. buněk, vláken a amorfni mezibuněčné hmoty, můžeme vazivo rozdělit na:

- kolagenní vazivo;
- elastické vazivo,
- retikulární vazivo; a
- tukové vazivo.
-

(Další typy vazivových tkání - embryonální a rosolovité vazivo - nejsou v organismu dospělého člověka zastoupeny.)