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  amorfní (beztvará). Typickým a společným znakem všech pojiv je přítomnost většího množství mezibuněčné hmoty. Podle zastoupení jednotlivých stavebních složek a podle vlastností amorfní 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  amorfní  mezibuněční  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, vřetenovité 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  předstupně vlák­nité  i  amorfní  hmoty vaziva, tj.tropokolagén   (předstupeň kola­genních a retikulárních vláken) a proteoglykany (základ amorfní 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.

Vlákna  vaziva

Kolagenní  vlákna jsou nejobjemnější 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 Þ fibrila (o 0,3 - 0,5 mikrom.) Þ mikrofibrila (30 - 100nm)Þ 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 klih - 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 stimulující 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 žeberních 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 svalu 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 třídit 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 jich 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 arthritis 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 mikrofibrile se schodovitě střídají. Mezi jednotlivými molekulami jsou mezery umožňující jejich vzájemný posun.

Typická periodicita 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 "stáří kolagenu" mírou stáří 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 přimísena 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 mikrofibrily elastinu nejsou výrazněji směrově ori­entovány, a jejich mechanická pevnost v tahu je minimální. Při přetažení dochází k nevratné deformaci tropoelastinu a ztrátě pružnosti.

Mikrofibrily elastických vláken nemají "žíhanou" strukturu kola­genních vláken. Jde o trubicovité útvary vyplněné amorfní mezibu­něčnou hmotou, která také mikrofibrily 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 redukují 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 dřeně.

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  barvícího  postupu  v  mikroskopu bezbarvý, rosolovitý roztok produko­vaný 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 gelatinozní 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 amorfní 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.)