

# Pružnost a pevnost na subcelulární úrovni

Pružnost a pevnost u nebuněčných struktur je důležitá hlavně pro tkáň pojivovou, která je charakteristická pro své velké množství mezibuněčné hmoty. Právě mezibuněčná hmota totiž do velké míry určuje její fyzikální vlastnosti. Mezibuněčnou hmotu pojivové tkáně můžeme rozdělit podle struktury na složku **vláknitou** a **amorfní**.

## Vláknitá složka

### Kolagen (Kolagenní a retikulární vlákna)

Kolagen je strukturální protein, který se vyskytuje ve všech typech pojivové tkáně. V současnosti je známo nejméně 18 různých forem kolagenu a další jsou stále objevovány. Z fyzikálního hlediska jsou nejdůležitější **Kolagen I, II a III**.

#### Struktura

Základní jednotkou stavby kolagenních vláken je molekula **tropokolagenu** ( $\leftrightarrow$  280 nm,  $\varnothing$  1,5 nm). Ta se skládá ze **tří šroubovitě stočených polypeptidových řetězců** (za toto uspořádání vděčí tropokolagen pravidelnému opakování molekul glycinu). Vyskytují se zde pro kolagen specifické aminokyseliny hydroxyprolin a hydroxylysin. Tropokolagen podélně polymerizuje do protofibril, z nichž se dále příčně tvoří svazky vláknitých struktur zvané fibrily ( $\varnothing$  20–75 nm). Další agregací mohou vznikat i širší struktury, tedy kolagenní vlákna ( $\varnothing$  0,2–20  $\mu$ m). Molekuly tropokolagenu jsou v sousedních protofibrilech vzájemně posunuty o 64 nm, čímž vytváří provázanou schodovitou strukturu (v mikroskopu je pak patrné příčné pruhování).

#### Vlastnosti a funkce

Kolagenní vlákna jsou ohebnou a velmi pevnou strukturou (jsou schopny odolat zatížení až 50 N na 1 mm<sup>2</sup>), avšak nejsou příliš elastická. Za tyto vlastnosti vděčí hlavně specifickému uspořádání molekul tropokolagenu. Pevnost vláken je podpořena specifickou aminokyselinou hydroxyprolin, která tvoří velké množství příčných vazeb, čímž utužuje jejich strukturu.

##### ■ Kolagen I (KI)

Tento typ tvoří nejtlustší vlákna ( $\varnothing$  1–20  $\mu$ m), a proto se vyskytuje hlavně v silně zatěžovaných strukturách, jako jsou například šlachy. Aby toto vazivo vydrželo enormní zátěž, obsahuje velké množství paralelně uspořádaných fibril KI, proto se nazývá husté uspořádané kolagenní vazivo. KI se ovšem vyskytuje i v méně husté formě jako meziorgánová vystýlka (řídce kolagenní vazivo) nebo ve vazivové chrupavce či jako část organické složky kostní matrix (osteid).

##### ■ Kolagen III (KIII)

KIII také tvoří vlákna, ale s podstatně menším průměrem ( $\varnothing$  0,2–2  $\mu$ m). Ta jsou uspořádána to síťovitých struktur a nazývají se retikulární vlákna. Díky jejich průměru a struktuře není jejich pevnost tak velká jako u KI a vyskytují se hlavně jako podpurná struktura některých orgánů (červená kostní dřev). Při hojení ran se vždy nejprve objevují vlákna retikulární a až později jsou vystřídána vlákny kolagenními.

##### ■ Kolagen II (KII)

Tento typ kolagenu vlákna netvoří a nacházíme ho jen ve formě fibril. Vyskytuje se ve všech typech chrupavky a díky svým fyzikálním vlastnostem tvoří její pevnou klenbu, udržuje tvar a brání její přílišné deformaci.

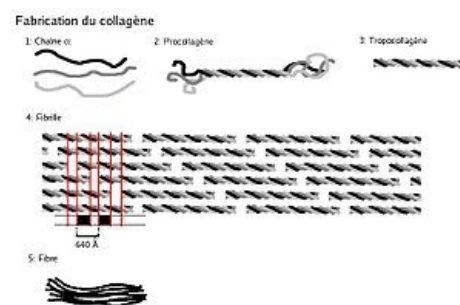
## Elastická vlákna

Elastická vlákna mají tenčí průměr ( $\varnothing$  1–10  $\mu$ m) než vlákna kolagenní, častěji se větví a v lidském těle se vyskytují podstatně méně často. Ve tkáních se vyznačují svou charakteristickou žlutou barvou.

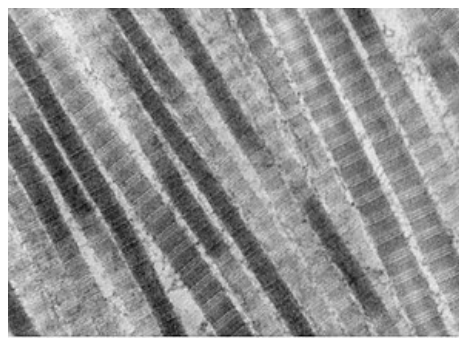
#### Struktura

Elastická vlákna se skládají z části centrální a periferní. Centrální část představuje amorfní glykoprotein elastin, který vzniká polymerizací globulárních molekul tropoelastinu. Na rozdíl od kolagenu je elastin chudý na hydroxyprolin. Elastin je obklopen vrstvou tenkých mikrofibril ( $\varnothing$  14 nm) složených z glykoproteinu fibrilinu. Mikrofibrily přispívají k soudržnosti extracelulární hmoty.

#### Vlastnosti



struktura kolagenních fibril



kolagen I

Elastická vlákna jsou velmi pružná (mohou se roztáhnout až na 200 % své původní délky), ale mnohem méně pevná než vlákna kolagenní. Maximální napětí, které jsou tato vlákna schopna snést je kolem 3 N na 1 mm<sup>2</sup>. Malá pevnost souvisí s nedostatkem provázanosti vláken říčnými vazbami, které ve vláknech kolagenních zajišťovaly specifické aminokyseliny (hydroxyprolin). Zároveň amorfní jádro elastického vlákna se velmi snadno přizpůsobí a na zatížení reaguje pružně.

## Funkce

Pružnost elastických vláken je v těle využita hlavně v kombinaci s vlákny kolagenními (např. v kloubních pouzdrech), kde snižují jejich hysterézi (usnadňují jejich návrat do původní pozice). Ve větším množství se vyskytují pouze v ligamenta flava páteře a ligamentum suspensorium penis. Elastická vlákna jsou také nedílnou součástí elastických chrupavek.

## Amorfní složka

### Proteoglykany a Glykosaminoglykany (GAG)

Proteoglykany jsou makromolekuly skládající se s centrální proteinové složky a periferně připojených GAG. Celá struktura připomíná kartáček na čištění zkusmavek. Proteinové jádro mohou tvořit jak malé biglykany a dekorin, tak velké agrekany, které patří k největším molekulám lidského organismu a díky tomu dodávají chrupavkám jejich odolnost. Mezi GAG patří heparansulfát, dermatansulfát, chondroitinsulfát, keratansulfát a kyselina hyaluronová, která jako jediná netvoří vazbu s proteoglykany. Všechny tyto struktury jsou extrémně hydrofilní a dokáží v kontaktu s vodou mnohonásobně zvětšit svůj objem. Například v chrupavce proto slouží jako pružný polštář pro tlumení nárazů. GAG zároveň svou viskozitou napomáhají ke stabilizaci celé struktury dané tkáně, podílí se na výživě buněk a v kloubech minimalizují tření (kyselina hyaluronová).

### Multiadhezivní Glykoproteiny

Tato složka zajišťuje soudržnost buněk s mezibuněčnou matrix a je tedy důležitým faktorem pevnosti u pojivových tkání. Mezi tyto integriny můžeme řadit například fibronectin, laminin, chondronektin, osteonektin, osteopontin, fibrilin a další.

### Minerální látky

V případě kostní tkáně se setkáváme ještě s tímto typem mezibuněčné hmoty. Tyto anorganické látky tvoří až 50 % suché váhy kosti a do velké míry se podílejí na její pevnosti. Nejčastěji se jedná o vápenné kationty a fosfátové anionty, které dohromady vytváří krystalky hydroxyapatitu. Spojení těchto krystalů s kolagenními vlákny je příčinou pevnosti kostí, ovšem minerální látky jsou zodpovědné i za jejich křehkost.

## Odkazy

### Související články

- Mechanické charakteristiky pojivové tkáně

### Použitá literatura

- NAVRÁTIL, Leoš a Jozef ROSINA, et al. *Medicínská biofyzika*. 1 (dotisk 2013) vydání. Praha : Grada Publishing, 2005. 524 s. ISBN 978-80-247-1152-2.
- ČIHÁK, Radomír a Miloš GRIM. *Anatomie 1*. 3. vydání. Praha : Grada, 2011. 534 s. ISBN 978-80-247-3817-8.
- 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.
- DYLEVSKÝ, Ivan, Jiří UHLÍK a Václava KONRÁDOVÁ. *Obecná kineziologie : cytologie a obecná histologie*. 1. vydání. Praha : Grada, 2007. 192 s. ISBN 978-80-247-1649-7.