

MUNI
PHARM

Biomechanika

biofyzika

Biomechanika

Mechanika – zabývá se mechanickým pohybem těles v prostoru a čase, změnami velikosti a tvarů těles.

Biomechanika – interdisciplinární obor o mechanických vlastnostech, struktuře, silách a pohybech v živých organismech

- Makrobiomechanika – úroveň orgánů až celého organismu
- Mikrobiomechanika - buněčná až tkáňová úroveň

Živé tkáně se svými mechanickými vlastnostmi odlišují jak od pevných látek, tak od kapalin. Nejvíce lze jejich vlastnosti přirovnat k vysoce polymerizovaným makromolekulárním látkám, které se nazývají elastomery.

Biomechanika

– Statické vlastnosti

- Pevnost- popisuje strukturní soudržnost materiálu (popř. tkáně) vůči vnějším silám
- Elasticita (pružnost) – schopnost tělesa nabýt samovolně původní tvar.

Biomechanika

Statické vlastnosti

- Distenzibilita (roztlačivost) – poddajnost látky vůči působení deformující síly (opak elastického odporu)
- Plasticita (tvárnost) – schopnost látky měnit permanentně svůj tvar v závislosti na deformujících silách

Biomechanika

Dynamické vlastnosti

- Viskozita - odpor proti změně tvaru látky
- charakterizuje vnitřní tření v kapalině, závisí na přitažlivých silách mezi částicemi, udává poměr mezi tečným napětím a změnou rychlosti v závislosti na vzdálenosti mezi sousedními vrstvami

– Dynamická viskozita

$$\eta = \frac{F}{S} \cdot \frac{\Delta x}{\Delta v} \quad \text{Pa}\cdot\text{s}$$

Kinematická viskozita

$$\nu = \frac{\eta}{\rho} \quad \text{St nebo m}^2\cdot\text{s}^{-1}$$

Biomechanika

1. Elastické látky

- Pod mezí linearity je průběh deformace lineární
– dle Hookova zákona

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0} = \frac{\sigma}{E}$$

ε = relativní prodloužení

E = modul elasticity (Youngův model pružnosti; Pa)

σ = napětí (Pa)

- Nad mezí pružnosti deformace přechází do plastické

Biomechanika

2. Plastické látky

- Deformace nastává až po dosažení určité hodnoty působící deformační síly
- Po ukončení působení deformační síly si plastické látky zachovávají maximální deformaci dosaženou během působení deformační síly

Biomechanika

3. Viskózní látky

– Podle závislosti rychlosti deformace dělíme na:

– **Newtonovské kapaliny**

Rychlost deformace se mění lineárně s hodnotou působící deformační silou

– **Nenewtonské kapaliny**

Nelineární závislost; Rychlost závisí na napětí a čase

Binghamské tekutiny - tečou až od určitého napětí

Pseudoplastické tekutiny - viskozita klesá s rychlostí deformace

Dilatantní tekutiny - viskozita roste s rychlostí deformace

Tixotropie

Reopexie

Biomechanika

4. Viskoelastické látky

- Deformace je funkcí působící síly a zároveň i času
- Při rychle nastoupivším silovým napětím o konstantní hodnotě roste hodnota deformace exponenciálně; po ukončení silového působení exponenciálně klesá
- Není však možné, aby látka dosáhla původního stavu; k úplnému odstranění deformace je potřeba dodat silové působení v opačném směru k původnímu silovému působení
- Podobné vlastnosti mají i některé tekutiny = Maxwellovy tekutiny (krev)

Biomechanika

5. Plasticko – viskózně – elastické látky

- Elastická deformace nastává pouze tehdy, je-li překonáno prahové napětí
- Rychlost deformace je funkcí koeficientu plastičnosti; látka vykazuje vždy určitý stupeň hystereze

$$\sigma = \sigma_0 + U \cdot \frac{\Delta \varepsilon}{\Delta t}$$

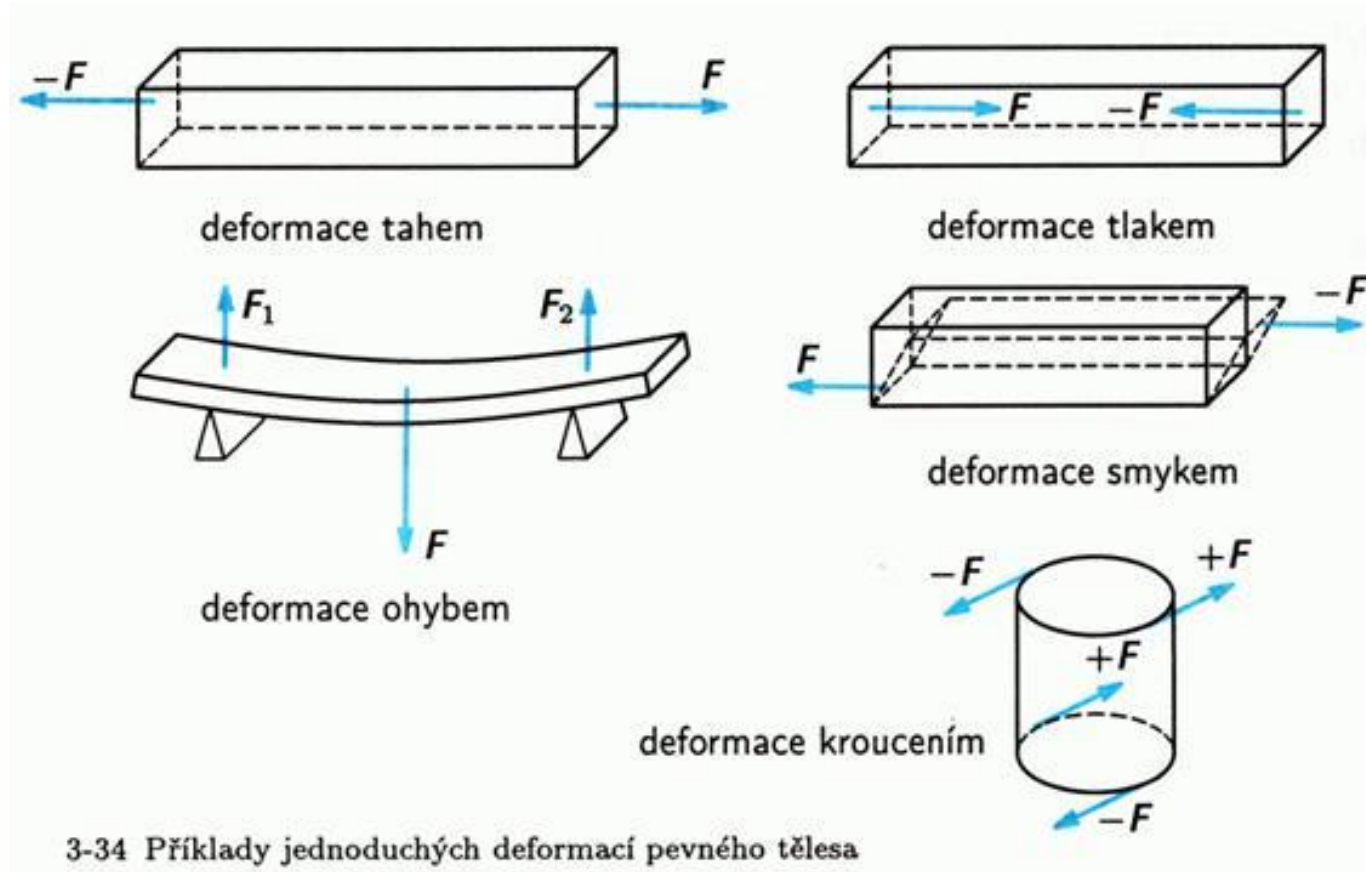
- Měkké tkáně; gely

Hystereze

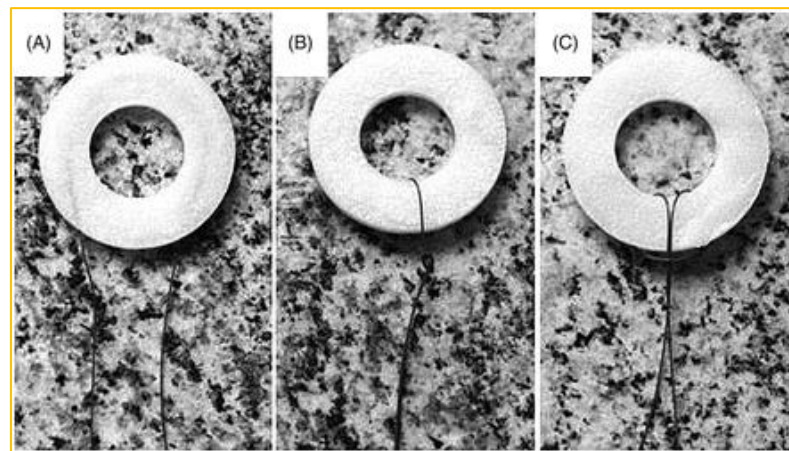
Hystereze - v dynamickém systému výstupní veličina nezávisí jen na nezávisle proměnné vstupní veličině, ale také na předchozím stavu systému

U některých látek nedochází po ukončení působení zatížení k odstranění deformace ihned, ale pouze k odstranění její části. Zbytek deformace pak mizí po určitou dobu. Tento jev se nazývá **dopružování (elastická hystereze)**

Deformace



Příklad využití



Biomechanika

Základní oporným mechanismem člověka a všech obratlovců je pojivová tkáň

- Složení: buňky a mezibuněčná hmota (vláknitá a amorfní)
- Vazivo, chrupavka, kost

- Vazivová tkáň
 - Fibroblasty, kolagenní vlákna, elastická vlákna, amorfní hmota

Vazivo

Kolagenní vlákna

- Nejobjemnější složka v pojivové tkáni
- Pevná v tahu, velmi ohebná
- Omezená elasticita (prodloužení max. o 10 % své délky)
- Zatížení 50 N na 1 mm²
- V průběhu času stárnutí; snížení meze pevnosti v tahu i elasticity

Elastická vlákna

- Méně početná; často ve směsi s kolagenními
- Vysoká elasticita – prodloužení až o 200 % své původní délky
- Nízká pevnost v tahu; maximální zatížení 3 N na 1 mm²
- Jejich funkcí je zvýšení elasticity vaziva (snížení hystereze)

Vazivo

Amorfní mezibuněčná hmota

- Gelovitý roztok (proteoglykany – kyselina hyaluronová)
- Stabilizace struktury vaziva
- Vodné prostředí – výživa tkáně
- Lubrikační schopnost HA

Vazivo

Řídké kolagenní vazivo

- Nosná struktura pro cévy a nervy; umožňují hladký posun orgánů

Tuhé kolagenní vazivo

- **Neuspořádané vazivo** – kolagenní a elastická vlákna; celkově vysoká mechanická pevnost; vazivová vrstva kůže
- **Uspořádané vazivo** – šlachy (max. 5 % elastických vláken – přenos svalové síly na kostru; vazy – fixace pohybového systému

Chrupavka

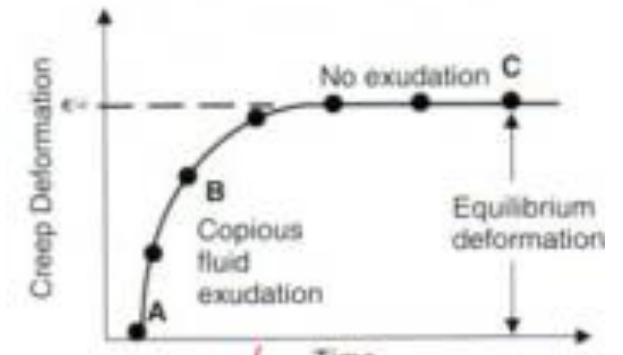
Chondrocyty, kolagenní vlákna, elastická vlákna

Mezibuněčná hmota

- Podobné složení jako u vaziva
- Izolace chondrocytů
- Prostředí usnadňující výživu

Pevnost v tahu u chrupavky je max. 5 % pevnosti kosti

Elasticita variabilní podle obsahu vody



Chrupavka

Hyalinní chrupavka

- V porovnání s ostatními typy je křehká; tvrdá hladká
- Kolagenní vlákna tvoří trojrozměrné sítě, stavba sítě odpovídá zatížení chrupavky
- Např. kloubní konce

Chrupavka

Elastická chrupavka

- Pružná a ohebná (elastin)
- Po deformaci se vrací do původního stavu
- Boltec, průdušky, zvukovod

Vazivová chrupavka

- Silná kolagenní vlákna
- Mechanická odolnost v tahu, tlaku i zkrutu
- Meziobratlové destičky

Kosti

Heterogenní, viskoelastický materiál

Osteoblasty

Mezibuněčná hmota – kolagenní vlákna; amorfnní hmota
(mineralizována; až 65% hmotnosti kosti)

- **Kompaktní kost** – uspořádání kolagenu a stupeň mineralizace určuje pevnost v tahu, tlaku a ohybu
- **Spongiózní kost** – prostorová struktura z trámců a plotének (architektonika kosti); tato struktura je výsledek silových působení na kost

Kosti

Pevnost kosti – kompaktní kost

- Pevnost dlouhých kostí je 100 – 200 Mpa
- Největší zatížení snese kost ve směru své osy; při příčném zatížení je pevnost poloviční
- V tahu odolnější než v tlaku
- Nejmenší pevnost je ve zkrutu (lamely jsou jen zřídka spojeny kolagenem)

Kosti

Pevnost kosti – kompaktní kost

- Mineralizace není uniformní; v místech, kde se absorbuje energie, je nižší
- Dynamické zatížení je závislé na rychlosti pohybu

Pevnost kosti - spongióza

- Trámce tvoří klenby v místě nejčastěji probíhajících siločar tlaku a tahu; prostorově odolnější (příčné)
- Částečná absorpce zátěže „výplní“ (hydraulická výplň)

Kosti

Wolfův zákon kostní transformace – kostní struktura se přizpůsobuje permanentním změnám v silovém působení na organismus; při jakékoliv trvalejší změně dochází k přestavbě kosti

- Chybí-li organismu gravitační silové působení v osách dlouhých kostí, začne organismus vylučovat zvýšené množství vápníku

Kostní spoje

Pevné x pohyblivé

- Vazivové – syndesmózy, sutury...; umožňují mírné posuny spojených kostí (námaha v tahu)
- Chrupavčité – synchondrózy (hyalinní), symfýzy (vazivová; tlak/tah); nepohyblivé
- Kostěnné – synostózy; vytváří se z předchozích dvou; nepohyblivé

Kostní spoje

Klouby – pohyblivá kostěnná spojení dvou či více kostí

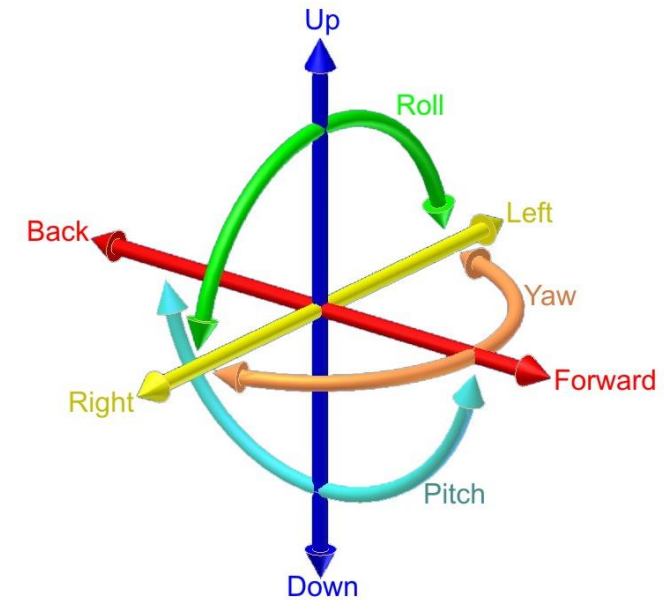
- Rozsah pohybu závisí na tvaru styčných ploch, poměru hlavice a jamky, svalovém aparátu apod.
- Pohyb úhlový (rotační) – body na pohybujícím se útvaru opisují kruhové oblouky se středem na ose otáčení
- Pohyb translační – všechny body pohybujícího se útvaru urazí stejnou dráhu

Kostní spoje

Bod ve třírozměrném prostoru
= šest stupňů volnosti

Rotační pohyby

- Osa X: abdukce a addukce (roznožit/snožit)
 - Osa Y: flexe a extenze (cvičení s činkou na biceps)
 - Osa Z: vnitřní a zevní rotace (otáčení nohou na ose těla)
-
- Stupeň volnosti pohybu závisí na tvaru styčných ploch;
maximum jsou tři (ramenní; kyčelní)



Kostní spoje

Klouby

- Několik kloubů za sebou = kinematický řetězec (vyšší volnost pohybu)
- Kloubní chrupavka
 - Pružná deformace
 - Konstantní tlak svalového tonu až 8 kg na 1 cm²
- Synoviální tekutina
 - Výživa
 - Pružnost chrupavek
 - Snižuje tření

Svaly

Svaly

- Motorický orgán
- Využití chemické energie chemických vazeb na mechanickou energii (která je vykonána kontrakcí
- Principem svalové kontrakce je zasunutí aktinových vláken do myosinových vláken; energie je poskytována ATP

Svaly

Nervosvalový přenos

- nervový vzruch na motorickém neuronu
- uvolnění ACh – přenesení signálu přes nervosvalovou ploténku
- vznik akčního potenciálu na svalovém vláknu (depolarizace)
- uvolnění Ca^{2+} ze sarkoplazmatického retikula
- navázání Ca^{2+} na troponin C
- změna konformace komplexu troponin – tropomyosin – odhalení vazebných míst

Svaly

Svaly

- Agonista; antagonist; synergista
 - Vyvážení těchto skupin je mj. důležité pro stabilizaci polohy – např. svaly trupu a dolních končetin = stabilizace vzpřímené polohy (antigravitační soustava svalů)
- Funkce
 - Fixační a kinetická

Svaly

Svaly

- Jednokloubové
 - Vyvolává pohyb vždy v jednom kloubu
- vícekloubové
 - Největší uplatnění zpravidla v kloubu nejbližším; jinak většinou stabilizační funkce
 - **aktivní svalová insuficience** – omezení dané maximální úrovní kontrakce (klouby nedovolí extrémny v kontrakci a zkrácení)
 - **pasivní svalová insuficience** – i přes uvolnění zůstává sval stále příliš krátký, aby dovolil plný pohyb v opačném směru; např. flexe v kyčli + extenze v koleni

Svaly

Svaly

- Dva typy svalové kontrakce
 - Izotonická (dynamická) (konstantní zatížení)
 - Izometrická (konstantní vzdálenost)
- Vykonává se práce; uvolňuje se teplo
- **Izotonická:**
 - Aktivační teplo (uvolněno při počátku pohybu) Q_a
 - Zkracovací teplo (zkrácení svalu) $Q_z = k \cdot x$ (x =délka; k =konstanta $3,5 \cdot 10^4 \text{ J} \cdot \text{m}^{-3}$)

Celková energie izotonické kontrakce $E = Q_a + Q_z + W$; mechanická práce = součin dráhy a síly
- **Izometrická:** dráha = 0; práce je zjištěna nepřímou kalorimetrií

Svaly

Svaly

- Při dosažení meze pevnosti se sval trhá
- Fyziologická mez pevnosti u svalů 0,26 až 0,9 MPa
- Kontrakce – zkrácení o cca 40%, za touto hodnotou může docházet k nevratné deformaci
- Po ukončení svalové kontrakce se sval vrací do své původní délky