

Mechanické vlastnosti tkání - Cévní systém

Srdce

Srdce je zdrojem mechanické energie cévního systému. Je to **dutý svalnatý orgán**, který má 4 oddíly: 2 komory a 2 předsíně. Komory zajišťují vlastní vypuzování krve ze srdce, předsíně jsou pouze rezervoáry ze kterých se plní. Jednosměrný tok krve zajišťují **srdeční chlopně**.

Práce Srdce

Při každém stahu koná srdce mechanickou práci tím, že vypuzuje určité množství krve do oběhu (tepový objem). Celková práce srdce se skládá z práce mechanické a kinetické:

$$W = W_p + W_k$$

Objemovou práci srdce lze pro zjednodušení nahradit prací pístu, který určitým tlakem **p** vytlačí objem krve **V**, celková mechanická práce bude vyjádřena vztahem:

$$W_p = p \cdot V$$

Kinetická energie systolického srdečního výdeje se rovná:

$$E_k = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v^2 \cdot V$$

K výpočtu celkové srdeční práce za jednu systolu je třeba znát následující veličiny: střední tlak krve ($p = 13,3 \text{ kPa}$), hustotu krve ($\rho = 1,06 \cdot 10^3 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$), rychlost vypuzování krve ze srdce ($v = 0,3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$) a tepový srdeční výdej ($V = 70 \text{ ml}$). Práce levé komory se tedy bude rovnat:

$$W = 0,93 \text{ J}$$

Pravá komora vykoná při jedné systole 20% práce levé komory, tzn.: **0,19 J**. Celkově tedy srdce během jedné systoly vykoná práci **1,12 J**.

Mechanický výkon srdce je **13 W**, to je přibližně 13% celkového výkonu organismu v klidu. Většina z tohoto výkonu má za úkol udržení stálého napětí srdeční svaloviny. Pouze 1/10 se spotřebuje na vlastní vykonávání mechanické práce.

Mechanické vlastnosti krve

Krev představuje značně složitý systém. Je to **roztok** organických a anorganických látek, pak také koloidní disperzní soustava a nakonec suspenze krevních tělísek. Toto složení způsobuje množství interakcí mezi jednotlivými složkami krve. Mezi tyto interakce patří mimo mechanických sil například elektrické dvojvrstvy.

Viskozita všeobecně závisí na teplotě a není tomu jinak ani u krve. Relativní viskozita krve k viskozitě vody je 4,5. Absolutní viskozita krve se při teplotě 37 °C pohybuje v mezi $3\text{--}3,6 \cdot 10^{-3} \text{ Pa} \cdot \text{s}$.

Mechanické vlastnosti cév

Cévy jsou specifické svou schopností pasivně či aktivně měnit svůj objem. Tuto schopnost mají především tepny, proto ve stěně musí mít obsažen kolagen, elastin a hladkou svalovinu. Vláknitý kolagen a elastin zajišťují **elastické napětí** cév a tím vyrovnávají pulzaci krve. Tyto cévy se nazývají pružníkové.

Muskulární cévy naopak mají ve stěně vysoký podíl vláken hladké svaloviny. Nejsou příliš pružné, ale mohou svůj průřez měnit aktivně a tím regulovat průtok krve (vasodilace, vazokonstrikce).

Na vysvětlení odporu, který řečiště klade průtoku krve, se dá analogicky použít elektrický odpor. Mechanický odpor **R** určitého úseku cévy vypočítáme z poměru tlakového spádu **Δp** a průtoku **Q**.

$$R = \frac{\Delta p}{Q}$$

Dosažením Hagen-Poiseuillova zákona získáme vztah:

$$R = \frac{8\eta\Delta l}{\pi r^4}$$

Proudění krve

Fyzikální zákony proudění

Pro proudění krve platí Bernoulliův zákon:

$$\frac{1}{2}\rho v^2 + \rho gh + P = \textit{konst.}$$

Použití tohoto zákona je pouze aproximální - pouze se přibližuje reálnému stavu. Bernoulliho zákon totiž předpokládá použití ideální kapaliny a také to, že molekuly kapaliny se pohybují v celém průřezu trubice **stejnou rychlostí**. V cévách je rychlost proudění krve různá, u stěny cévy je nižší než v jejím středu. Nicméně ani tento model není přesný, jelikož takovýto parabolický rychlostní profil je jen v malých arteriích. S rostoucím průřezem arterie se rychlostní profil zplošťuje až do té míry, že v hrudní aortě proudí krev v celém průřezu téměř stejnou rychlostí.

Množství kapaliny protékající trubicí o určitém objemu za jednotku času - průtočný objem, představuje Hagen-Poiseuillův zákon:

$$Q = \frac{\Delta P \pi r^4}{8L\eta}$$

Čtvrtá mocnina průřezu trubice v tomto zákoně vysvětluje, proč je tak nebezpečné zúžení průřezu cév při některých nemocech (ateroskleróza). Už minimální zúžení cévy totiž zapříčiní významné **snížení průtoku** krve touto cévou.

Na základě vlastností cévy, rychlosti proudění a svých fyzikálních vlastností může krev v této cévě proudit buď laminárně anebo turbulentně. **Laminární proudění** se vyznačuje tím, že jednotlivé vrstvy kapaliny se pohybují paralelně s podélnou osou cévy. Průtočný objem při laminární proudění lineárně stoupá až dosáhne kritické hodnoty, začnou se objevovat víry a přejde tak na proudění **turbulentní**. Tato kritická hodnota (Reynoldsovo číslo) závisí na poloměru trubice, rychlosti a fyzikálních vlastnostech protékající kapaliny. Všeobecně se jako kritická udává hodnota 1000.

$$Re = \frac{v \cdot \rho \cdot r}{\eta}$$

Proudění krve v kapilárách

Kapiláry představují nejvýznamnější část cévního systému, protože právě zde dochází k **výměně dýchacích plynů** mezi krví a intersticiálním prostorem. Výměna plynů skrz kapilární stěnu probíhá na základě rozdílných tlaků na arteriálním a venózním konci kapiláry. Na arteriálním konci je tlak 4,6kPa, na venózním konci je tlak 2,2kPa.

Voda a v ní rozpuštěné látky prochází kapilární stěnou na základě difuzních mechanismů: **filtrace a resorpce**.

Osmotický tlak krevních bílkovin neboli **Onkotický tlak** působí proti tlaku hydrostatickému a ovlivňuje filtraci ve venózní části kapiláry.

Odkazy

Související články

- Mechanické vlastnosti tkání - úvod
- Mechanické vlastnosti tkání - Opěrný a pohybový systém
- Mechanické vlastnosti tkání - Trávicí systém
- Mechanické vlastnosti tkání - Vylučovací systém
- Mechanické vlastnosti tkání - Lidský hlas a tvorba lidského hlasu

Použitá literatura

- HRAZDIRA, Ivo a Vojtěch MORNSTEIN. *Lékařská biofyzika a přístrojová technika*. 1. vydání. Brno : Neptun, 2001. 396 s. ISBN 80-902896-1-4.