

Hidrostatika i krvni tlakovi

Selim Pašić¹, Nato Popara²

Uvod

Razmotrimo tlakove na dnu nekog jezera. Prvi koji ćemo osjetiti je atmosferski tlak. On je za jezero hidraulički tlak. Ovaj nastaje uslijed djelovanja vanjske sile. Osnovna karakteristika hidrauličkog tlaka je da ako vanjska sila djeluje na sustav u samo jednoj točki, on se rasprostire po svim točkama sustava. Dakle, atmosferski tlak djeluje na površinu jezera i zbog toga ćemo ga osjetiti u svim točkama u jezeru, pa naravno i na njegovom dnu.

Iznad dna jezera je vodeni stupac visok h metara. On svojom težinom pritišće dno jezera. Tlak nastao uslijed težine tekućine se zove hidrostatski tlak. On je proporcionalan visini stupca tekućine te gustoći tekućine ρ . Matematički izraženo

$$p_{\text{hidro}} = \rho gh$$

gdje je $g = 9.81 \text{ m/s}^2$.

Na kraju ukupan tlak p na dnu jezera je zbroj hidrauličkog tlaka atmosfere i hidrostatskog tlaka vode

$$p = p_{\text{atm}} + \rho_{\text{voda}}gh.$$

Mjerne jedinice za tlak

Mjerna jedinica za tlak u važećem SI sustavu jedinica je paskal (Pa). Definicija paskala je

$$\text{Pa} = \frac{\text{N}}{\text{m}^2} = \frac{\text{kg}}{\text{ms}^2}.$$

U medicini je mmHg kao mjerna jedinica za tlak oduvijek bila jako zastupljena. Nakon uvođenja samo jednog sustava jedinica (SI sustava), mmHg je proglašena dopuštenom

¹ Autor je docent na Zavodu za fiziku, Veterinarskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu; e-pošta: selimpasic@gmail.com

² Autor je asistent na Zavodu za fiziku Veterinarskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu; e-pošta: nato.popara@vef.hr

mjernom jedinicom za tlak. Veza između Pa i mmHg je

$$1 \text{ mmHg} = 133\text{Pa}.$$

Krvni tlakovi

Krvožilni sustav možemo zamisliti kao neobičnu posudu s mnoštvom rukavaca. Naime iz srca izlazi glavna arterija zvana aorta, koja se zatim grana na velike arterije, a one na manje, pa na vrlo male, zvane arteriole sve do ogromnog broja vrlo sićušnih kapilara [1]. Arterijski sliv vodi krv do stanica. Od stanica krv natrag u srce vode vene. Vene su mnogobrojnije od arterija, ali su tanjih zidova i time manje čvrste. Osim toga imaju zaliske koji ne dozvoljavaju vraćanje krvi prema dolje.

Krvožilni sustav je u potpunosti ispunjen krvlju. Pretpostavimo da krv miruje i srce napravi jednu kontrakciju. Zbog mehaničkog rada srca (tlak je energija po jedinici volumena) nastaje tlak u aorti. Fizikalno gledajući imamo identičnu situaciju kao u jezeru. Naime, tlak nastao radom srca je hidraulički tlak za krvožilni sustav. Iz toga slijedi da se nastali tlak u aorti propagira u cijelom arterijskom sustavu. Iz tog razloga je tlak koji mjerimo u arteriji ruke jednak izlaznom tlaku srca.

Ako osoba stoji onda se u njenom krvožilnom sustavu na nivoima ispod aorte pojavljuje i hidrostatski tlak. Ukupni tlak u nekoj velikoj arteriji je jednak zbroju srčanog hidrauličkog tlaka p_{srca} i hidrostatskog tlaka krvi,

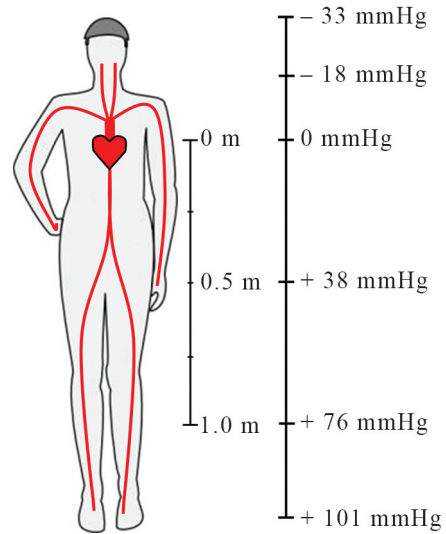
$$p = p_{\text{srca}} + \rho_{\text{krvi}}gh.$$

Pogledajmo koliki je doprinos hidrostatskoga tlaka krvi na 1 m ispod izlaza krvi iz srca:

$$\begin{aligned} p_{\text{hidro}} &= \rho_{\text{krvi}}gh \\ &= 1030 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 1 \text{ m} \\ &= 10\,104 \text{ Pa} = 76 \text{ mmHg}. \end{aligned}$$

Vidimo da je to značajan doprinos. Doprinos hidrostatskog tlaka na raznim udaljenostima (dubinama) ispod aorte prikazan je na slici 1. Srčani tlak u aorti i približno u velikim arterijama je između 80 mmHg (dijastolički) i 120 mmHg (sistolički). To bi značilo da je hidrostatski tlak u velikim arterijama donjih ekstremiteta usporediv sa srčanim tlakom. U venama je mali hidraulički (sistemski) tlak od 0–12 mmHg. Stoga je hidrostatski tlak dominantan u venskom sustavu osobe koja stoji.

Ako idemo na nivo iznad izlaza krvi iz srca, tlak pada (vidi sliku 1). Naime vektor gravitacijske sile je usmjeren prema dolje. Ako se penjemo prema gore svladavamo gravitacijsku silu, tj. sustav gubi energiju, a time i tlak.



Slika 1. Doprinos hidrostatskog tlaka krvi iznad i ispod mjesta izlaza krvi iz srca.

Praktične implikacije

Sada kada razumijemo tlakove u krvožilnome sustavu možemo razumjeti i praktične implikacije tlakova na naše zdravstveno stanje.

Budući da hidrostatski tlak raste s dubinom u odnosu na aortu, vidimo da je on najveći u nogama. Zbog toga se proširene vene javljaju gotovo isključivo u nogama, a ne i u ostalim dijelovima tijela. Također sada možemo razumjeti zašto je horizontalni položaj (nestaje hidrostatski tlak) dobra terapija za osobe s proširenim venama. Još je bolje ako ta osoba legne i podmetne jastuk ispod nogu, tako da noge zauzmu povišeni položaj. Tada će hidrostatski tlak dodatno smanjiti tlak u nogama.

Ako držimo ruke iznad glave nakon nekoga vremena osjetit ćemo nelagodu ili bol. Hidrostatski tlak tada značajno smanjuje srčani tlak u velikim arterijama ruke na vrijednost od 50 mmHg što značajno smanjuje razmjenu tvari između krvožilnoga sustava i stanica. Iz istog razloga ako uzdignutim rukama obavljamo neki fizički posao vrlo brzo osjetit ćemo zamor u rukama. Također, ako se povrijedimo na ruci ili prstima, dignut ćemo ruku uvis čime značajno smanjujemo krvarenje i ubrzavamo njegovo zaustavljanje. Smanjenje tlaka s visinom možemo osjetiti ako glavom zauzmemo vrlo nisku poziciju (blizu poda) i onda se naglo uspravimo. Tada je pad tlaka u glavi oko 120 mmHg. Dakle, ukupni tlak u glavi pada na trenutak na nulu. Uslijed toga će nam pobijeliti ispred očiju. No narednoga trenutka djeluje mehanizam za regulaciju tlaka, koji ga vraća na normalnu vrijednost.

Daje li hidrostatika realistične zaključke o krvnome tlaku?

Ne sasvim. Naime, krv struji kroz žile, što znači da je doprinos hidrodinamike važan. Zbog hidrauličkog otpora strujanju krvi dolazi do pada tlaka. To znači da iako se hidraulički (srčani) tlak rasprostire kroz cijeli arterijski sustav jednako u svim točkama, taj tlak se zbog strujanja krvi umanjuje proporcionalno hidrauličkom otporu. Otpor jako raste sa smanjenjem promjera krvnih žila. Kao posljedica samo tlak u velikim arterijama je skoro jednak tlaku u aorti. Zbog toga, npr. srčani tlak možemo mjeriti i u nozi ukoliko je osoba u horizontalnom položaju. U manjim arterijama, zbog povećanja hidrauličnoga otpora, tlak srca počinje padati sve do kapilara, gdje je pad najveći, a tlak iznosi oko 20 mmHg.

Literatura

- [1] A. C. GYTON, J. E. HALL, *Textbook of Medical Physiology*, Elyse O'Grady, Canada 2021.