

Analiza tokovnih razmer pri zdravi aortni zaklopki in njeni regurgitaciji ob upoštevanju koronarnih arterij in newtonskega modela krvi

Jure Marn – Jurij Iljaz* – Zoran Žunič – Primož Ternik
Univerza v Mariboru, Fakulteta za strojništvo, Slovenija

Prispevek obravnava numerično analizo tokovnih razmer pri zdravi aortni zaklopki in pri njeni regurgitaciji, z namenom določitve njenih vplivov na delovanje srca, vplivov koronarnega pretoka krvi na tokovne razmere okoli zaklopke in morebitne kalcinacije, ter makroskopske določitve posameznih vplivov, kot so zmanjšanje koronarnega pretoka, padec tlaka v aorti in povečanje volumna levega ventrikla. Zastavljeni problem določitve tokovnih razmer pri zdravi in oboleli aortni zaklopki z upoštevanjem koronarnih arterij je bil rešen numerično z uporabo programskega paketa za računalniško dinamiko tekočin Ansys CFX, ki temelji na metodi končnih volumnov. Problem je bil obravnavan časovno odvisno za čas zaprtja zaklopke oziroma diastole, kjer je fizikalni pojav regurgitacije oziroma insuficience in pretoka krvi skozi koronarne arterije najbolj izrazit. Geometrija, ki popisuje okolico aortne zaklopke (aortna zaklopka, del levega ventrikla, aorte ter leve in desne koronarne arterije), je bila zato privzeta in obravnavana kot neelastična. Geometrija zaklopke in njene okolice je bila določena na osnovi veljavnih povprečnih vrednosti, pridobljenih iz člankov in druge literature. Reološke lastnosti krvi so bile popisane z newtonskim potenčnim modelom, ki upošteva povečanje dinamične viskoznosti pri zmanjšanju strižnih napetosti in tako realneje opiše obnašanje toka krvi. Okolica območja reševanja je bila nadomeščena s primernimi robnimi pogoji, pridobljenimi na osnovi veljavnih povprečnih tokovno-tlačnih vrednosti zdravega srca kot so potek aortnega tlaka, število utripov, povprečna vrednost koronarnega pretoka itd. V ta namen so bile na novo določene nekatere odvisnosti oziroma robni pogoji, s katerimi je mogoče določiti vplive obolele zaklopke na delovanje srca. Prispevek podaja postavitev numeričnega modela za določitev stopnje regurgitacije ter izračun koronarnega pretoka, volumna zatekajoče krvi in padca aortnega tlaka. Rezultati numeričnih simulacij v primeru zdrave aortne zaklopke kažejo na laminarno tokovno polje, tako v koronarnih arterijah, kot tudi v okolici zaklopke, in s tem na mirujoče področje okoli lističev zaklopke. Razlog za mirujoče področje je velika dinamična viskoznost krvi, ki je posledica reoloških značilnosti in premajhnega vpliva pretoka koronarnih arterij.

Rezultati v primeru regurgitacije zaklopke, kjer nastane zaradi povečanja premera aorte odprtina velikosti 3,8 mm in kri med diastolo zateka v levi ventrikel, kažejo na močan upad tlaka v aorti, kot tudi koronarnega pretoka. Pri istem uporu miokardne mišice se koronarni pretok skozi levo in desno koronarno arterijo zmanjša za 31% glede na normalni pretok, kar vodi v zmanjšanje dobave kisika in hranilnih snovi. Prav tako pa se mora ventrikel zaradi zatekajoče krvi močno povečati, za 56,1 ml, kar kaže na močno obremenitev ventrikla in kritično regurgitacijo. Zaradi odprtine in zatekanja krvi v ventrikel nastane močan curek, ki še dodatno obremenjuje zaklopko ter lahko zaradi velikih strižnih napetosti povzroči nepravilno delovanje zaklopke oziroma njene poškodbe. Prav tako, kot v primeru zdrave zaklopke, se v zgornjem območju zaradi prej omenjenih razlogov pojavlja območje mirovanja krvi, kar lahko vodi v kalcinacijo zaklopke. Regurgitacija ima tako v danih primerih velik vpliv na delovanje srca, posledično pa tudi na zdravje človeka.

Rezultati numeričnega modela veljajo le za privzete omejitve, predpostavke in postavljene modele. Za realnejši opis stanja oziroma dogajanja bi bilo potrebno v nadaljevanju nadgraditi modele uporabljenih robnih pogojev, preizkusiti različne newtonske modele krvi, upoštevati elastičnost zaklopke itd. S tako postavljenim numeričnim modelom je mogoče določiti vpliv obolele zaklopke na delovanje srca in zdravje človeka ter vnaprej napovedati kritično stanje, ko srce ne zmore več kompenzirati obolenja in je zato potrebna operacija. Izvirnost prispevka se kaže tako v numerični določitvi posledic obolele zaklopke, kot so na primer sprememba aortnega tlaka, padec koronarnega pretoka in povečanje levega ventrikla, kakor tudi v postavitvi matematičnega modela za določitev koronarnega pretoka, padca aortnega tlaka in izračuna zatekajočega volumna krvi. Predstavljeno delo predstavlja pomemben vir podatkov tako medicini kot inženirjem na področju biomedicine. Avtorji niso našli podobnih raziskav, kar povečuje pomembnost prispevka.

Ključne besede: aortna zaklopka, regurgitacija, insuficienca, koronarna arterija, računalniška dinamika tekočin, metoda končnih volumnov, newtonska tekočina