

1. Raziskovalna organizacija:

Univerza v Ljubljani, *Fakulteta za strojništvo*

2. Ime in priimek mentorja:

Iztok Žun

3. Področje znanosti iz šifranta ARRS:

2.13.01

4. Kontaktni e-naslov mentorja:

iztok.zun@fs.uni-lj.si

5. Kratak opis programa usposabljanja:

Izhodišče raziskovalne naloge MR in njena povezava z raziskovalnim programom, v okviru katerega bo usposabljanje potekalo

Raziskave v programu P2-0162 Tranzientni dvofazni tokovi so predvidene v treh udarnih smereh, ki naslavljajo nekaj ključnih znanstvenih vprašanj. Ta so: principi kompleksne dinamike fluidov, fizični problemi povzročeni s tokovi in povezanost fluid-okoliška struktura. Bogat razpon povezanih pojavov in njihova biološka pomembnost se pojavlja v središču pozornosti v fiziološki mehaniki tekočin. Osnovna značilnost povezanih pojavov so nestabilnosti, ki navzlic intenzivnim raziskavam mehanizmov pri enofaznem pretoku skozi prožne cevi ostajajo do določene mere nepojasnjene. Računalniški in asimptotični rezultati nam trenutno kažejo le bežna obnašanja v omejenem območju prostora, vendar poudarjajo pomen globalnih razmer. Pričakujemo sistematične raziskave, ki bodo razkrile generične relacije pojavov, ki so pomembni za 3D fiziološke aplikacije. Rezultati bodo služili validaciji računalniške simulacije. Konkreten študij MR bo osredotočen na raziskave zapore in ponovnega odprtja zgornjih dihalnih poti človeka, ki so bile do sedaj obravnavane le z idealiziranimi modeli, kot n.pr. Starlingov upor. Ti modeli so se izkazali za neveljavne pri razpoznavanju osnovnih zakonitosti dinamike fluidov kot tudi napovedovanju realnih razmer v zračnih kanalih zgornjega dihalnega trakta.

Glavna (pato)fiziološka značilnost, ki pomeni tudi izziv v tehniki računalniških simulacij tokov, je sposobnost spremembe pretočnega preseka ali celo zaprtje zgornje dihalne poti, kar človek uspešno uporablja pri govorjenju in požiranju hrane na eni strani, na drugi strani pa mu lahko povzroča motnje dihanja med spanjem. Težave v zvezi z zgornjimi dihalnimi potmi so bile v novejšem času prepoznane kot problem, ki zadeva precejšen del človeške populacije po vsem svetu. Oviralni apnoea-hypopnoea sindrom spanja (OSAHS) pomeni motnjo spanca, kjer oseba ponoči neredno diha in ima pretirano potrebo po spancu podnevi. Pravilen spanec lahko postane nemogoč, kar se lahko sprevrže v resne poškodbe in zmanjšanje kvalitete življenja. OSAHS pri odraslem človeku lahko poveča nevarnost resnih zdravstvenih težav, kot je okvara srca, ker prikrajša bolniku primerne količine kisika. Težave pri začepitvi dvofaznega toka pa vodijo tudi do smrtnih primerov.

Delovna hipoteza

Vedno večjo veljavo pri raziskovanju OSA dobivajo metode numerične (CFD) analize zračnega toka. S takšnim pristopom bi bilo možno predvideti potencialna mesta kolapsa zgornje dihalne poti, s povezano analizo tekočina-struktura (FSI) pa bi bilo mogoče analizirati celoten mehanizem kolapsa, temelječ na anatomskih vzrokih. CFD numerična simulacija omogoča detajlen vpogled in vizualizacijo tokovnih razmer v dihalni poti ter določitev fizikalnih veličin in parametrov, kot so hitrostni profil, tlak ter sile na steno dihalne poti. Zaradi svoje ne-invazivnosti je CFD numerična analiza postala že uveljavljena metoda proučevanja tokov fluidov v okoljih, kjer je neposreden fizičen pristop z merilnimi sondami nevaren ter preveč invaziven. Dosedanje CFD numerične analize toka zraka v dihalni poti so večinoma temeljile na predpostavki rigidnih oz. trdnih sten dihalne poti, kar pomeni da je geometrija

le-te nedeformabilna. Ta predpostavka ni upravičena, saj volumen dihalne poti ni obdan s trdnimi strukturami, na ta način pridobljeni rezultati pa nam lahko služijo le kot groba ocena dejanskih razmer. Posledica te omejitve je razširitev analize na samo strukturo, tj. tkivo (mehko tkivo) katero omejuje dihalno pot. Zaradi sovpliva anatomskih ter živčno-mišičnih dejavnikov je mehanizem pojava OSA izredno kompleksen. Anatomske lastnosti neposredno vplivajo na razvoj tokovnega polja in tokovnih vzorcev v zgornji dihalni poti. CFD analiza v takšnem primeru zahteva upoštevanje obnašanja okoliških struktur ki omejujejo tok tekočine. Povezana analiza fluid-struktura, oz. FSI (fluid-structure interaction) analiza upošteva deformacije sten dihalne poti kot posledico tokovnih fenomenov ter obratno: spremembo tokovnega vzorca toka zraka zaradi omenjenih deformacij.

Metode dela

V okviru predložene raziskovalne naloge je potrebno v prvem delu z numerično analizo na realnem modelu zgornje dihalne poti identificirati potencialna mesta kolapsa mehkega tkiva v primeru OSA. Rezultati analize naj se ovrednotijo, ter primerjajo z dostopnimi podatki realnih meritev (apneagraf, endoskopija žrela).

Osnova za numerično FSI analizo so CT oz. MRI posnetki glave pacienta za katerega sumimo da trpi za boleznijo OSA. Težave pri sami rekonstrukciji 3D modela dihalne poti nam povzročajo predvsem določitev praga (threshold), tj. meje med zrakom ter steno dihalne cevi, saj je le-ta zabrisana, stene dihalne poti pa so omočene s plastjo viskozne tekočine imenovane mukus, ki skrbi za »filtracijo« vdihanega zraka. Torej povsem natančne 3D rekonstrukcije ne moremo izvesti, saj vedno obstajajo neki subjektivni dejavniki pri določitvi praga, zato bi bilo potrebno to proceduro nekako standardizirati. Vpliv na korektno določitev geometrije, predvsem predela nosne votline, ima lahko tudi t.i. nosni cikel, ki se odraža v zamašenosti nosne votline. Nadalje ima velik, če ne celo bistven vpliv na točnost rekonstrukcije, obdelava že rekonstruirane dihalne poti, npr. rezanje sinusov, ter glajenje 3D modela. Posledica naštetih dejavnikov se odraža v tem, da ne moremo natanko vedeti koliko se pri rekonstrukciji približamo dejanskemu stanju oz. dejanski geometriji dihalne poti. Ta del raziskav bo potekal v povezavi z Univerzitetnim kliničnim centrom v Ljubljani.

Ko izdelamo 3D geometrijski model zgornje dihalne poti, le-tega zmrežimo (prostorska diskretizacija), nadalje določimo robne pogoje ter tokovne strukture (laminarni vs. turbulentni tok). Zaradi nezahtevnosti, tako časovne kot hardvarske, ter robustnosti se običajno turbulenco na področju raziskav toka zraka v dihalni poti modelira z RANS (Reynolds Averaged Navier-Stokes) enačbami. Glavna težava mnogih raziskav na področju toka zraka v zgornji dihalni poti je predpostavka o ustaljenem toku kjer se apriori predpostavlja polno razvit turbulentni tok. Kompleksna geometrija dihalne poti se odraža na obnašanju samega toka fluida, saj je le ta ponekod laminaren, drugod turbulenten, popisati pa je potrebno tudi prehodno območje med obema tokovnima režimoma. V dihalni poti prihaja do tokovnih fenomenov kot so negativni tlačni gradient, prehod iz laminarnega v turbulentni tok, sekundarni tok, pojavijo pa se tudi regije recirkulacije, česar z RANS enačbami ne moremo korektno popisati. Zaradi teh omejitev bodo analizirane kompromisne rešitve med RANS enačbami, ki nam podajo časovno povprečene vrednosti tokovnih parametrov, ter direktno numerično simulacijo (DNS). Standardno se tudi zanemari vpliv plasti mukusa, na stenah pa predpiše t.i. no-slip robni pogoj, kar ni korektno. Smiselno bi bilo raziskati vpliv plasti mukusa na tokovno polje ter na posledične deformacije sten dihalne poti. Še več neznank je na strani mehkih struktur zgornje dihalne poti. Numerična analiza le-teh sestavlja drugi pod-sklop FSI analize. Težava se kaže predvsem v pomanjkanju relevantnih snovnih parametrov za mehko tkivo ter pripadajočih sklopov mišic, tu je mišljen predvsem modul elastičnosti. Meritve modula elastičnosti bi morale biti izvedene in-vivo saj so podatki ex-vivo meritev neustrezni. Tu je glavna spremenljivka mišična aktivnost, ki določa togost samega mehkega tkiva. Z ustreznim iterativnim poizkušanjem je možno takšne lastnosti določiti s FSI analizo.

Po ustreznem vrednotenju rezultatov bomo v drugem delu prešli na dvofazni tok, ki se pojavlja pri zelo kritičnih medicinskih primerih. Študije gibanja zračnega mehurja ali čepa v elastični cevi napolnjeni s kapljevino bodo potekale v povezavi s pojavi ventilacije obolelih ali poškodovanih pljuč ali pri začetnem odpiranju zračnih poti novorojenčka. Pri svojem delu bo mladi raziskovalec uporabljal komercialni paket ANSYS za izvedbo dvostranske numerične FSI analize (2-way FSI analysis). Teoretično bodo popisani in opredeljeni principi FSI analize. Eksperimentalno delo se bo odvijalo v Laboratoriju za dinamiko fluidov in termodinamiko Fakultete za strojništvo v Ljubljani.

Cilji in predvideni rezultati

Osnovni cilj je v prispevkih k osnovni znanosti z iskanjem prvih principov v okviru navedene udarne smeri. Primeri neraziskanih prvih principov so omenjene nestabilnosti povezanih pojavov toka zraka skozi prožni kanal nespecificiranih oblik. Posebna pozornost bo posvečena modeliranju turbulentnega kot tudi prehodnega tokovnega režima zraka v dihalni poti ter popisu snovnih lastnosti in konstitucijskega modela mehkih struktur, ki obdajajo volumen zgornje dihalne poti. Pričakujemo sistematične raziskave, ki bodo razkrile generične relacije pojavov, ki so pomembni za 3D fiziološke razlage fenomena OSA v medicini. S takšnim pristopom bi bilo možno predvideti potencialna mesta kolapsa zgornje dihalne poti, s povezano analizo tekočina-struktura (FSI) pa bi bilo mogoče analizirati celoten mehanizem kolapsa, temelječ na anatomskih vzrokih. Opirajo se možnosti uporabe omenjenih metod v virtualni kirurgiji.