

ДОКУМЕНТАЦИЈА ТЕХНИЧКОГ РЕШЕЊА

„Софтвер за 3Д реконструкцију и струјање крви у артеријама“ - MedCFD

Аутори техничког решења

- *Др Ненад Филиповић, ред. проф.*
- *Др Милош Којић, ред. проф. у пензији, дописни члан САНУ*
- *Дипл. инж. ел. Лазар Оташевић*
- *Др Бобан Стојановић, доцент*
- *Др Владимир Ранковић, доцент*
- *Милош Ивановић, асистент*

Наручилац техничког решења

- Министарство за науку Републике Србије

Корисник техничког решења

- Клинички центар Крагујевац

Година када је техничко решење урађено

- 2005-2007

Област технике на коју се техничко решење односи

- Рачунска механика

1. Опис проблема који се решава техничким решењем

Техничко решење, софтвер **MedCFD**, припада области научно-техничких услуга, пројектовање и развој компјутерског софтвера. Софтвер се односи на специфичну реконструкцију и струјање крви кроз артерије. Одређивање основних величина струјања крви као што су брзине, смичући напон, притисак, концентрација LDL-а су добијени применом методе коначних елемената (МКЕ) за конкретан проблем.

Савремена медицина подразумева коришћење најновијих технологија у циљу бољег излечења људи и предвиђања развоја болести. Већ је увелико познато коришћење стандардних апарата за дијагностику као што су ЦТ скенер, магнетна резонанца, ренген апарати, гама камере, ултразвук итд. Допринос ових апарата је снимање текућег стања код пацијента што представља основни полаз за клиничку дијагностику. Процес моделирања и могућност предвиђања понашања специфичног пацијента представља један сасвим нови приступ у савременој дијагностици који се тек полако појављује пре свега у истраживачким пројектима у свету.

2. Стање решености проблема у свету – приказ и анализа постојећих решења

Тренутно се у Србији па и у осталим мање развијеним земљама источне Европе углавном увози технологија и софтверска решења за медицинску дијагностику. Могуће је поставити добру софтверску платформу за 3Д реконструкцију слика са пацијената са постојећих апарата у клиничким центрима. Развој нумеричких метода за моделирање струјања крви у човековом организму је следећи значајан корак у истраживању јер представља сасвим нов приступ у предвиђању понашања развоја болести код пацијената.

При развоју софтвера MedCFD коришћено је доста нових и оргиналних метода решавања 3Д реконструкције коронарних и каротидних артерија, Пеналти стабилизациона метода, Мешовита формулација. Такође је имплементиран већи број 2Д и 3Д коначним елемената, са различитим бројем контурних чворова и међучворова. Применом специфичних метода оптимизације густине мреже избегавају се потенцијалне грешке које корисник софтвера може да направи у припреми података за прорачун око 3Д струјања крви са преносом масе.

3. Суштина техничког решења

Код сложених случајева пацијената са обољењем коронарне артерије јављају се велики проблеми у моделирању и конвергенцији решења. Оригиналност овог софтвера је методологија веома добре 3Д реконструкције са оргинисалним ДИЦОМ снимака са ЦТ скенера, Магнетне резонанце, стабилизацији и налажења оптималних параметара који за сваки пример са великим Рејнолдсовим бројем налази задовољавајуће решење. Будућа клиничка дијагностика ће се сигурно заснивати да оптималним прорачунима струјања крви и одређивања минималног смичућег напона као и одређивања концентрације ЛДЛ у крви као и у самом зиду крвног суда.

На основу савремених научних сазнања из области прорачуна динамике флуида са преносом масе развијен је домаћи софтвер за 3Д реконструкцију и прорачун струјања крви. У софтвер су имплементирани најсавременије методе обраде слике, Снаке алгоритам, Деформабилни алгоритам као и нумеричке методе (Пеналти метода, Итеративна метода решавања, паралелни солвер, и др.) за решавање проблема струјања крви код реалних клиничких проблема.

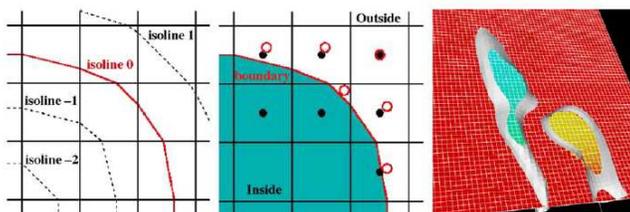
Развијени софтвер је једноставан за употребу и подржан комплетном пратећом документацијом, одржавањем и обуком, са могућношћу брзе доградње модула по захтеву корисника.

4. Детаљан опис техничког решења (укључујући и пратеће илустрације и техничке цртеже)

Развоју софтвера претходила је детаљна теоријска анализа заснована на примени методе коначних елемената на струјање крви са преносом масе ЛДЛ молекула.

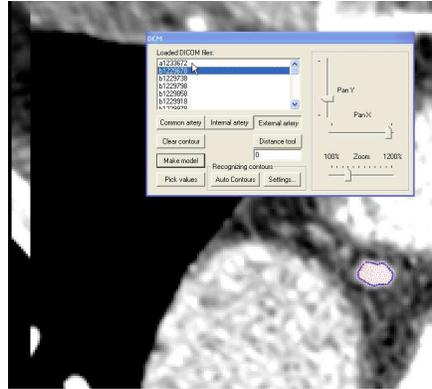
Детекција контура са медицинских слика представља кључни део у савременој клиничкој дијагностици где се користе медицински уређаји као што су СТ скенер, магнетна резонанца, ултразвучни апарати итд. Постоје разни алгоритми који се баве овом проблематиком. На слици 1 испод је приказан LEVEL SET алгоритам (Sethian, 1999) који решавањем диференцијалне једначине (1) где се за дату контуру решава функција ϕ при чему се прописује брзина кретања контуре F .

$$\frac{\partial \phi}{\partial t} = F |\nabla \phi| \quad (1)$$



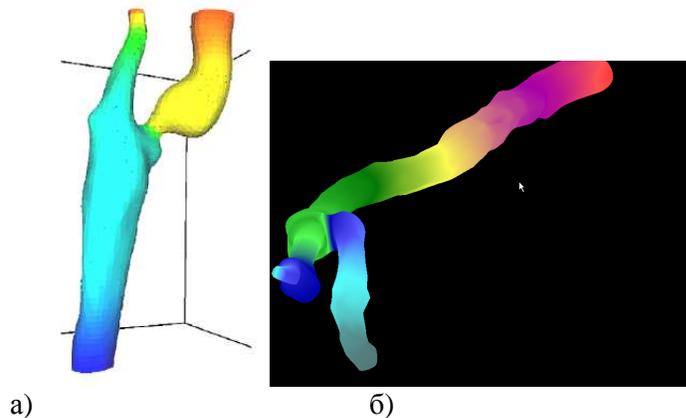
Слика 1. Кретање контура према LEVEL SET алгоритму

На слици 2 је приказано препознавање контура са стандардног DICOM снимка направљеног на мулти СТ скенеру. У питању је коронарна артерија за коју је специфично да има веома мале димензије од свега 3-4 mm у најширем до 0.1-0.3 mm у најужим деловима. Поред тога је веома битно открити локације и величине сужења коронарних артерија која у ствари представљају стенозе унутар тог крвног суда. И поред високе резолуције коју поседују савремени 64 и 128 мулти СТ скенер као и магнетна резонанца потребно је добро извршити филтрирање слике, а затим урадити препознавање контура на основу задатог прага осетљивости (threshold). За ову сврху предлажемо LEVEL SET алгоритам као и основни алгоритам преко неколико нивоа прага осетљивости.



Слика 2. Препознавање контура са стандардног DICOM снимка направљеног на мулти СТ скенеру

Након извршеног препознавања контура са дводимензијских DICOM снимака потребно је извршити тродимензионалну реконструкцију у циљу добијања јединственог 3Д модела који би се даље користио за потребе визуелизације и нумеричког прорачуна. За разлику од класичних софтвера који се данас користе на медицинским уређајима и који се служе искључиво за визуелизацију, овај нови софтвер би поред визуелизације одређивао и неопходне улазне податке за прорачун струјања крви кроз крвне судове, фазу пројекта која следи непосредно после ове фазе. На слици 3а,б је приказана тродимензионална реконструкција каротиде и леве коронарне артерије.



Слика 3. Тродимензионална реконструкција артерија
 а) каротидна артерија
 б) коронарна артерија (Filipovic et al, 2006)

Развој нумеричких метода за моделирање струјања крви у човековом организму

У овом делу је укратко описан поступак решавања спрегнути проблеми солида и флуида (Filipovic 1999, Којић et al, 1998). Проблем је спрегнут када флуид изазива деформисање солида, које, са друге стране утиче на струјање флуида. Основно питање које се поставља је који је најбољи начин повезивања решавања солида и струјања флуида. Овде износимо два концепта решавања, тзв. јако и слабо спрезање.

Уводна разматрања. У почетним истраживањима у решавању спрегнутих проблема поставило се питање да ли је неопходно мењати већ постојеће програме за анализу солида и флуида, односно да ли је потребно поново писати солвере за истовремено решавање солида и флуида. Показало се да је веома компликовано правити нове солвере који би истовремено решавали солид-флуид интеракцију (Filipovic 1999, Koјic et al, 1998, Koјic et al, 2008). Да би се успешно решили интердисциплинарни проблеми, засада се узимају програми за CFD (Computational Fluid Dynamics) и CSD (Computational Solid Dynamics) онакви какви јесу, и праве се нови специјализовани управљачки програми који користе могућности оба солвера и управљају њиховим решавањем (Koјic et al, 1998).

У принципу, издвојили су се следећи правци у решавању проблема интеракција солид-флуид:

- јако спрезање (када се све решава у једном систему једначина); и
- слабо спрезање (када се спољашњим програмом управља решавањем посебно проблема солида и проблема флуида)

Имајући у виду горе речено, слабо спрезање на први поглед представља бољу алтернативу. Међутим и овај прилаз, због својих специфичности које се иначе не јављају у методи јаког спрезања, садржи низ проблема. Ту се пре свега мисли на временску интеграцију. Наиме, због различитости самих физичких карактеристика солида и флуида, не може се генерално користити исти временски корак решавања. Јер, домени нумеричке стабилности су наравно потпуно различити при решавању проблема солида и проблема флуида. Друга тешкоћа се јавља приликом трансфера података између програма CFD и CSD. Различита дискретизација додатно отежава проблем, јер је потребно пренети информације са једне на другу мрежу са најчешће различитом дискретизацијом. У овој фази пројекта ће се развијати паралелно слабо и јако спрезање. Без свакодневне клиничке верификације развијене методе и софтвер не могу да се користе у клиничкој пракси. Циљ овог софтвера је да се клиничари који су прошли обуку ангажују за коришћење развијеног софтвера у својој пракси као и да учествују од самог почетка у развоју софтвера својим корисним предлозима.

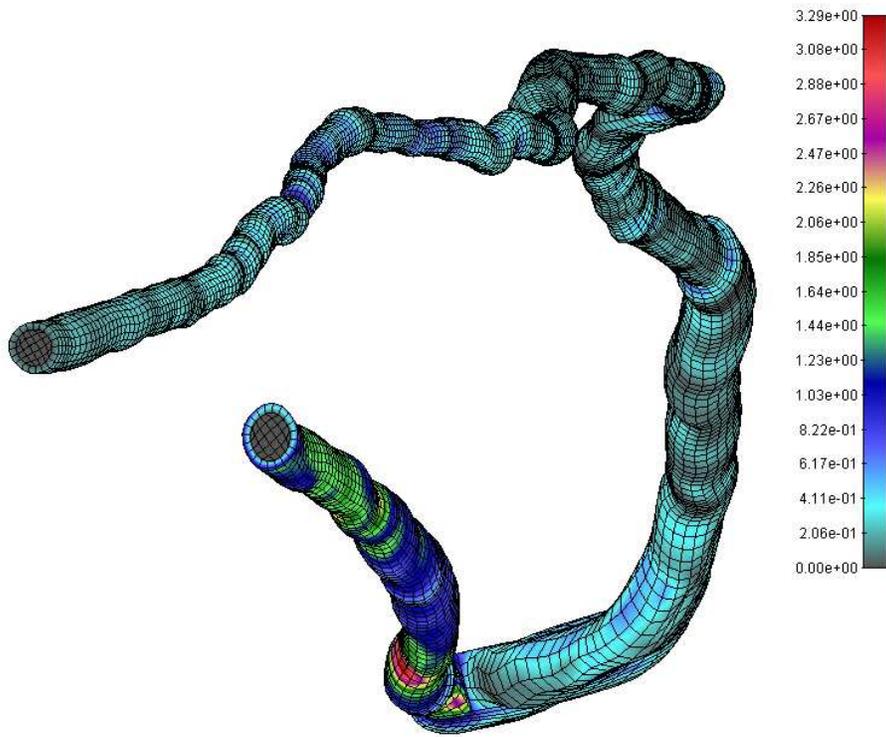


Figure 9. Shear stress distribution for unsteady state condition (peak diastolic). The units are in [Pa]

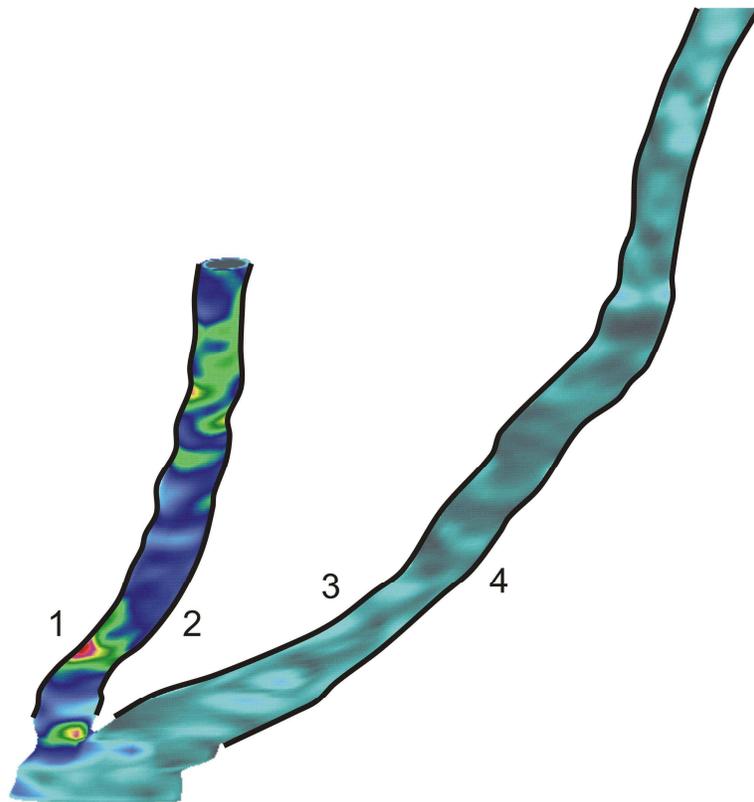


Figure 10. The shear stress distribution and the line positions

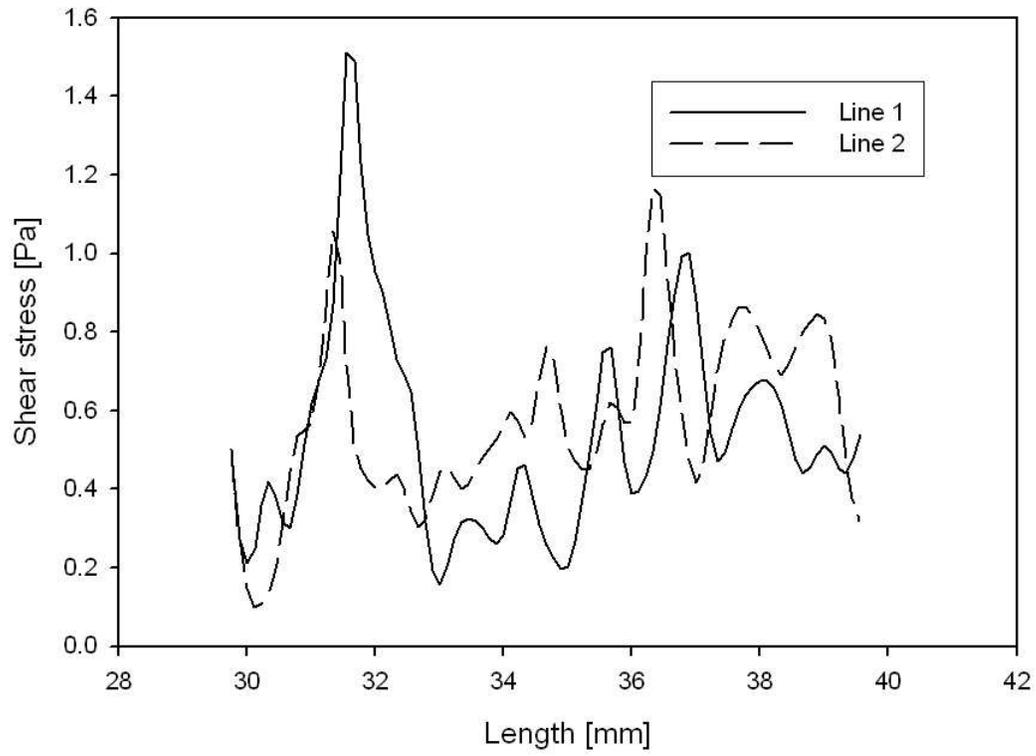


Figure 11. Shear stress distribution for steady case along the lines 1 and 2

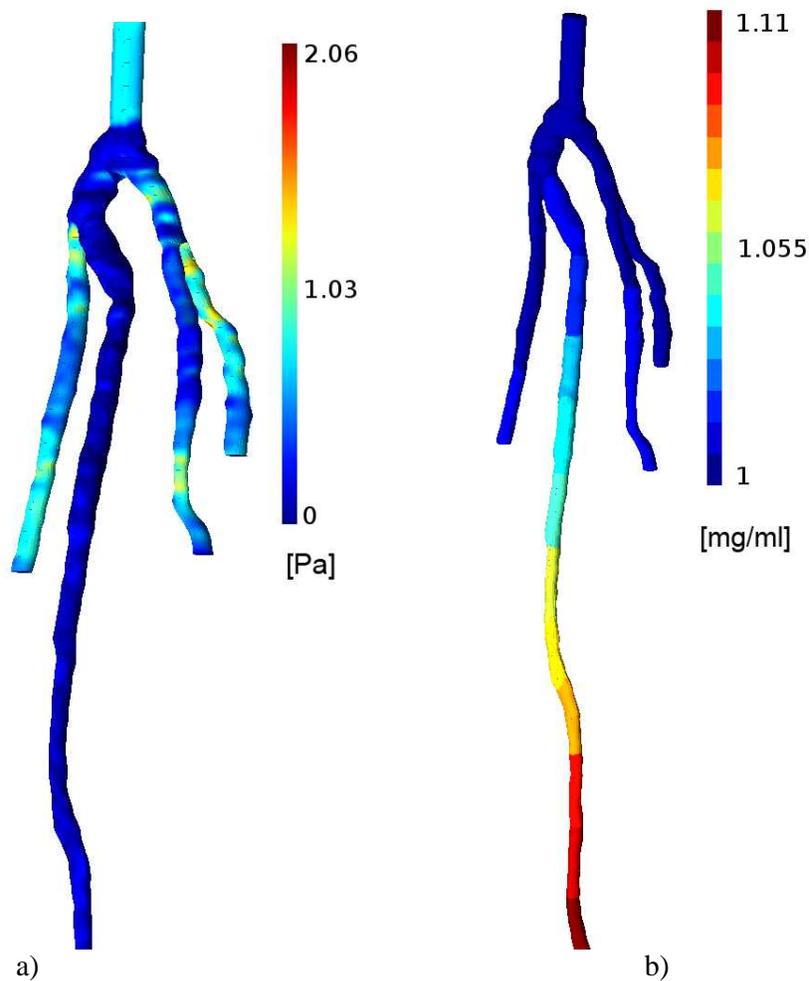


Figure 17. Shear stress and concentration distribution in both branch of the LCA for a specific patient

5. Литература

- Bharadvej BK, Maron RF, Giddens DP, 1982. Steady flow in a model of the human carotid bifurcation. Part I-flow visualisation. *J. Biomechanics*. 15: 349-362.
- Bratzler R, Chislom G, Colton C, 1977. The distribution of labeled low-density lipoproteins across the rabbit thoracic aorta in vivo. *Atherosclerosis*. 28: 289-307.
- Brooks AN, Hughes TJR. 1982. Streamline upwind/Petrov-Galerkin formulations for convection dominated flows with particular emphasis on the incompressible Navier-Stokes equations. *Comput. Meths. Appl. Mech. Engrg.* 32: 199-259.
- Caro CG, Fitz-Gerald JM, Schroter RC. 1971. Atheroma and Arterial Wall Shear. Observation, Correlation and Proposal of a Shear Dependent Mass Transfer Mechanism for Atherogenesis. *Proc. R. Soc. London, Ser. B*. 177: 109-159.
- Cho YJ, Kensey KR, 1991. Effects of the non-Newtonian viscosity of blood on flows in a diseased arterial vessel. Part 1: Steady flow. *Biorheology*. 28: 241-262.
- Ding J, Zhu H, Friedman MH. 2002. Coronary artery dynamics in vivo. *Annals Biomed. Eng.* 30:419-429.

- Filipovic N, 1999. Numerical Analysis of Coupled Problems: Deformable Body and Fluid Flow. Ph. D. Thesis, Faculty of Mechanical Engineering, Kragujevac, (Serbia-Yugoslavia).
- Filipovic N, Kojic M (2004). Computer simulations of blood flow with mass transport through the carotid artery bifurcation, *Theoret. Appl. Mech. (Serbian)*, 31(1), 1-33.
- Filipovic N, Mijailovic S, Tsuda A, Kojic M. 2006a. An Implicit Algorithm Within The Arbitrary Lagrangian-Eulerian Formulation for Solving Incompressible Fluid Flow With Large Boundary Motions, *Comp. Meth. Appl. Mech. Eng.* 195: 6347-6361.
- Fogelson AL, Guy RG, 2004. Platelet-Wall Interaction in Continuum Models of Platelet Thrombosis: Formulation and Numerical Solution. *Mathematical Medicine and Biology.* 21(4): 293-334.
- Fogelson AL, Kuharsky AL. 1998. Membrane binding-site density can modulate activation thresholds in enzyme systems. *J. Theor. Biol.* 193: 1-18.
- Gaudio CD, Morbiducci U, Grigioni M. 2006. Time dependent non-Newtonian numerical study of the flow field in a realistic model of aortic arch, *Biomaterials.* 29: 709-718.
- Gerstein M, Levitt M, (2005) Simulating water and the molecules of life, *Scientific American (The Water of Life, Special Issue)*, 24-29.
- Gresho PM, Lee RL, Sani RL. 1982. On the time dependent solution of the incompressible Navier-Stokes equations in two and three dimension, Chapter 2, *Finite Elements in Fluids*, Vol. 4, eds. Gallagher et al., John Wiley & Sons, Chichester.
- Haber S, Filipovic N, Kojic M, Tsuda A. 2006. Dissipative Particle Dynamics Simulation of flow generated by two rotating concentric cylinders. Part I: Boundary conditions. *Phys. Rev. E.* 74: 1-12.
- He X, Ku DN. 1996. Pulsatile flow in the human left coronary artery bifurcation: Average conditions. *J. Biomech. Eng.* 118: 74-82.
- Hoogerbrugge P. J., Koelman J. M. V. A., (1992) Simulating microscopic hydrodynamic phenomena with dissipative particle dynamics, *Europhys. Lett.*, 19, 155-160.
- Jovanov, E., J. Price, D. Raskovic, K. Kavi, T. Martin, and R. Adhami (2000). Wireless Personal Area Networks in Telemedical Environment. Third International Conference on Information technology in Biomedicine, ITAB-ITIS 2000, pp. 22-27.
- Kojic M, Bathe KJ. 2005. *Inelastic Analysis of Solids and Structures*. Springer-Verlag, Berlin/Heidelberg.
- Kojic M, Filipovic N, Stojanovic B, Kojic N, 2008. *Computer modeling in bioengineering: Theoretical Background, Examples and Software*, John Wiley and Sons, Chichester, England.
- Kojic M, Filipovic N, Zivkovic M, Slavkovic R, and Grujovic N. 1998. PAK-F Finite Element Program for Laminar Flow of Incompressible Fluid and Heat Transfer, Laboratory for Engineering Software, Faculty of Mech. Engrg, Univ. Kragujevac, 34000 Kragujevac, Serbia-Yugoslavia
- Kojic M, Filipovic N, Zivkovic M, Slavkovic R, Grujovic N (1998). PAK-FS Finite Element Program for Fluid-Structure Interaction. Faculty of Mech. Engrg, University of Kragujevac, Serbia.
- Kojic M, Filipovic N, Zivkovic M, Slavkovic R, Grujovic N (1999). PAK-F Finite Element Program for Laminar Flow of Incompressible Fluid and Heat Transfer. Faculty of Mech. Engrg, University of Kragujevac, Serbia.
- Ku DN, and Giddens DP. 1987. Laser Doppler anemometer measurements of pulsatile flow in a model carotid bifurcation, *J. Biomechanics.* 20: 407-421.
- Ku DN, Giddens DP, Zarins CZ, and Glagov S. 1985. Pulsatile flow and arteriosclerosis in the human carotid bifurcation. *Arteriosclerosis.* 5: 293-302.
- Ku DN. 1997. Blood flow in arteries, *Annu. Rev. Fluid Mech.* 29: 399-434.

- Marcus JT, Smeenk HG, Kuijter JPA, Van der Geest RJ, Heethaar RM, and Van Rossum AC. 1999. Flow profiles in the left anterior descending and the right coronary artery assessed by MR velocity quantification: Effects of through-plane and in-plane motion of the heart. *J. Computer Assisted Tomogr.* 23:567–576.
- May-Newman K, Hillen , Dembitsky W. 2006. Effect of left ventricular assist device outflow conduit anastomosis location on flow patterns in the native aorta. *ASAIO Journal.* 52: 132-139.
- Moore JA and Ethier CR. 1997 Oxygen mass transfer calculations in large arteries, *J. Biomech. Engrg.*, 119: 469-475.
- Myers JG, Moore JA, Ojha M, Johnston KW, and Ethier CR. 2001. Factors influencing blood flow patterns in the human right coronary artery. *Ann. Biomed. Eng.* 29:109–120.
- Perktold K, Peter R, Resch O, Langs G. 1991. Pulsatile non-Newtonian blood flow in three-dimensional carotid bifurcation models: a numerical study of flow phenomena under different bifurcation angles. *J. Biomech. Engrg.* 13: 507-515.
- Perktold K, Resch M, Peter O. 1991. Three-dimensional numerical analysis of pulsatile flow and wall shear stress in the carotid artery bifurcation model, *J. Biomechanics.* 24: 409-420.
- Perktold K, Hofer M, Rappitsch G, Loew M, Kuban BD, and Friedman MH. 1998. Validated computation of physiologic flow in realistic coronary artery branch, *J. Biomechanics.* 31: 217-228.
- Perktold K, Rappitsch G, 1995. Computer simulation of local blood flow and vessel mechanics in a compliant carotid artery bifurcation model, *J. Biomechanics.* 28: 845-856.
- Prosi M, Perktold K, Ding J, Friedman MH. 2004. Influence of curvature dynamics on pulsatile coronary artery flow in a realistic bifurcation model. *J. Biomech.* 37:1767–1775.
- Rappitsch G, Perktold K, 1996. Computer simulation of convective diffusion processes in large arteries. *J. Biomechanics.* 29: 207-215.
- Rindt CCM, van Steenhoven AA, Janssen JD, Reneman RS, Segal A. (1990), A numerical analysis of steady flow in a three-dimensional model of the carotid artery bifurcation. *J. Biomechanics.* 23: 461-473.
- Sorensen EN, 2002. Computational simulation of platelet transport, activation and deposition. Ph.D. thesis. U. Pittsburgh.
- Sorensen EN, Burgreen GW, Wagner WR, Antaki JF, 1999b. Computational simulation of platelet deposition and activation: II. Results of Poiseuille flow over collagen. *Ann. Biomed. Eng.* 27: 439-458.
- Sorensen EN, Burgreen GW, Wagner WR, Antaki JF. 1999a. Computational simulation of platelet deposition and activation: I. Model development and properties. *Ann. Biomed. Eng.* 27: 436-448.
- Soulis JV, Giannoglou GD, Papaioannou V, Parcharidis GE, Louridas GE. 2008. Low-density lipoprotein concentration in the normal left coronary artery tree, *Biomedical Engineering Online.* 7:26.
- Tarbell JM. 2003. Mass transport in arteries and the localization of atherosclerosis. *Annual Rev. Biomed. Eng.* 5:79–118.
- Taylor CA, Hughes TJR, Zarins CK. 1998. Finite element modeling of blood flow in arteries, *Comput. Meths. Appl. Mech. Engrg.* 158: 155-196.
- Vorp DA, Wang DHJ, Webster MW, Federspiel WJ. 1998. Effect of intraluminal thrombus thickness and bulge diameter on the oxygen diffusion in abdominal aortic aneurysm. *Journal of Biomechanical Engineering.* 120: 579-583.

- Weydahl ES, Moore Jr JE. 2001. Dynamic curvature strongly affects wall shear rates in a coronary artery bifurcation model. *J. Biomech.* 34:1189–1196.
- Wootton DM, Ku DN. 1999. Fluid mechanics of vascular systems, diseases, and thrombosis, *Annu. Rev. Biomed. Eng.* 1: 299-329.
- Zarins CK, Giddens DP, Bharadvej BK, Sottiurai VS, Mabon RF, Glagov S. 1983 Carotid bifurcation atherosclerosis: Quantitative correlation of plaque localization with low velocity profiles and wall shear stress. *Circ. Res.* 53: 502-514.
- Zhao SZ, Xu XY, Collins MW, Stanton AV, Hughes AD, Thom, SA. 1999. Flow in carotid bifurcations: effect of the superior thyroid artery, *Medical Engineering & Physics.* 21: 207-214.

Одлуком Наставно-научног већа Машинског факултета у Крагујевцу бр 01-1/1128-14 од 22.04.2010. године именовани смо за рецензенте предлога техничког решења:

„Софтвер за 3Д реконструкцију и струјање крви у артеријама“ - MedCFD аутора: Ненад Филиповић, Милош Којић, Лазар Оташевић, Бобан Стојановић, Владимир Ранковић, Милош Ивановић. На основу предлога овог техничког решења подносимо следећи

УНИВЕРЗИТЕТ У КРАГУЈЕВЦУ
МАШИНСКИ ФАКУЛТЕТ

ПРИМЉЕНО 04 JUN 2010

Орг. јед.	Број	Прилог	Вредност
	01-1/1128-14	1	

ИЗВЕШТАЈ

Техничко решење „Софтвер за 3Д реконструкцију и струјање крви у артеријама“ - MedCFD аутора: Ненад Филиповић, Милош Којић, Лазар Оташевић, Бобан Стојановић, Владимир Ранковић, Милош Ивановић, реализован 2005-2007 године, приказан је на 10 страница формата А4, писаних 11 фонтом, 1 проредом, садржи 7 слика. Састављено је следећих поглавља:

1. Опис проблема који се решава техничким решењем
2. Стање решености проблема у свету – приказ и анализа постојећих решења
3. Суштина техничког решења
4. Детаљан опис техничког решења теоријске основе као и верификациони пример (укључујући и пратеће илустрације)
5. Литература

Техничко решење припада области научно-технолошких услуга, пројектовање и развој компјутерског софтвера (класа 42)

Наручилац техничког решења је **Министарство науке Републике Србије**, реализовано је у оквиру рада на пројекту: *TR6209– Развој компјутерских метода и софтвера за моделирање и симулације у области општег и биомедицинског инжењеринга, 2005-2007,*

Основне идеје као и резултати овог техничког решења објављивани су у међународној монографији, међународним часописима и излагани на међународним и домаћим научним скуповима. Примена предложеног техничког решења реализована је у Клиничком центру Крагујевац.

МИШЉЕЊЕ

Аутори техничког решења „Софтвер за 3Д реконструкцију и струјање крви у артеријама“ - MedCFD су јасно приказали, теоријски обрадили и имплементирали комплетну структуру техничког решења.

Развијени софтвер је написан на основу стандардних и новијих теоријских формулација биофлуида, а у циљу:

- аутоматизације прорачуна струјања крви код пацијента,
- предвиђање раста атеросклерозе,
- одређивање смичућих напона и притисака у сложеним артеријама
- стабилност за спрегнуте проблеме транспорта ЛДЛ молекула

На основу описа техничког решења могу се донети следећи закључци:

1. Развијени софтвер MedCFD у поређењу са другим комерцијалним софтверима који су били доступни, даје много боље могућности лекарима кардиолозима и даје поуздане резултате при нумеричким прорачунима. Треба нагласити да су поред стандардних метода у програмски пакет MedCFD уграђене и савремене методе 3Д реконструкције објеката из медицинских слика као стабилности прорачуна конвективно дифузних процеса 3Д проблеме.
2. Софтвер MedCFD је развијан према утврђеном програмском задатку, усвојеном на основу анализе потреба Клиничког центра Крагујевац, могућности других комерцијалних софтвера, као и експертског знања великог броја истраживача који су учествовали у развоју софтвера.
3. Упутство је урађено по узору на упутства познатих произвођача комерцијалних софтвера, а која подразумевају: теоријске поставке, упутства за коришћење софтвера, као и упутства са урађеним примерима. Треба нагласити да је у оквиру теоријских основа дат шири преглед теорије, са циљем да корисник лакше савлада суштину развијеног софтвера и лакше га примењује.
4. Велики број решених примера развијеним софтверским пакетом MedCFD и упоређивање резултата са резултатима добијеним коришћењем познатих светских софтверских пакета, показују велике могућности програма MedCFD и поузданост његове примене у решавању сличних

реалних проблема. Такође развијени софтвер даје могућност нумеричког прорачуна параметара механике флуида конкретних геометрија артерија код пацијента, чиме се превазилазе ограничења других неспецијализованих комерцијалних софтвера.

Дакле, „Софтвер за 3Д реконструкцију и струјање крви у артеријама“ - MedCFD има значајно место као компјутерска методологија у анализи струјања крви код пацијента са предвиђањем раста атеросклерозе. Са задовољством предлажемо да се „Софтвер за 3Д реконструкцију и струјање крви у артеријама“ - MedCFD прихвати као ново техничко решење.

3.06.2010., у Крагујевцу


Др Небојша Јовичић, ванр. проф.


Др Слободан Савић, доцент



Универзитет у Крагујевцу
Машински факултет у Крагујевцу
Број : ТР-42/2010
10. 06. 2010. године
Крагујевац

Наставно-научно веће Машинског факултета у Крагујевцу на својој седници од 10. 06. 2010. године на основу члана 200. Статута Машинског факултета, донело је

О Д Л У К У

Усвајају се позитивне рецензије техничког решења „Софтвер за 3Д реконструкцију струјања крви у артеријама - MedCFD“, аутора Др Ненада Филиповића, др Милоша Којића, Лазара Оташевића, др Бобана Стојановића, др Владимира Ранковића и Милоша Ивановића.

Решење припада класи **M85**, према класификацији из Правилника о поступку и начину вредновања, и квантитативном исказивању научноистраживачких резултата истраживача, ("Сл. гласник РС", бр. 38/2008).

Рецензенти су:

1. Др Небојша Јовичић, ванредни професор, Машински факултет Крагујевац
2. Др Слободан Савић, доцент, Машински факултет Крагујевац

Достављено:

Ауторима

Архиви



ДЕКАН МАШИНСКОГ ФАКУЛТЕТА

Др Мирослав Бабић, ред. проф.