

Odabrani primeri primene vokselizovane geometrije u radioterapiji za učenike srednjih škola

Milena Živković¹, Tatjana B. Miladinović², Aleksandar Miladinović³ Dragana Krstić¹, Aleksa Đurđević¹, Predrag Živković

¹*Prirodno-matematički fakultet, Kragujevac, Srbija*

²*Institut za informacione tehnologije, Kragujevac, Srbija*

³*Univerzitetski klinički centar, Odsek medicinske fizike, Kragujevac, Srbija*

Apstrakt. U radu je predstavljen programski paket FOTELP-VOX, pomoću koga se simulira transport čestica iz spoljašnjeg izvora kroz unutrašnje organe tela. Sufiks VOX u imenu programa govori da je to verzija u kojoj se geometrija tela prikazuje pomoću kompjuterske tomografije, pri čemu se dimenzije voksel određuju vrstom akceleratora i energijom fotona. FOTELP-VOX se izvršava u nekoliko koraka: definisanje geometrije, priprema izabranog dela CT snimka za simulaciju, priprema ulaznih i izlaznih datoteka i na kraju pokretanje FOTELP-VOX simulacije. FOTELP-VOX je pokazao odlično slaganje sa kliničkim tehnikama primenjenim u lečenju melanoma oka, tumora dojke, kao i tumora pankreasa. Program FOTELP-VOX, se može prilagoditi za učenike srednjih škola, tako da bude odličan primer istraživačkog školskog eksperimenta za učenike koji pokazuju dodatno interesovanje za fiziku i informatiku i koji poseduju dovoljno potrebnog znanja i umenja iz ovih oblasti. Posebno ističemo značaj upoznavanja sa ovim programom za đake medicinskih škola koji bi imali priliku da delić radioterapije „praktično“ izvedu na kompjuterima u svojim učionicama.

Cljučne reči: CT snimci; melanom oka; voksel; FOTELP - VOX.

UVOD

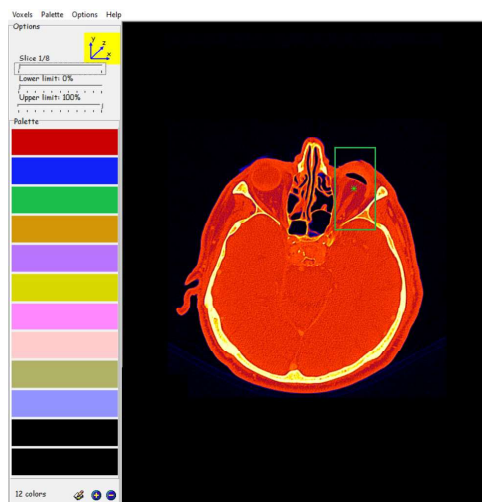
U medicinskoj fizici, metoda Monte Karla (MC) koja se koristi u stimulaciji zračenja za transport čestica postala je univerzalna u poslednjih 50 godina. Kao rezultat toga, iako je brzina obrade podataka porasla, primena MC tehnika nastavlja da raste u medicinskoj fizici. Monte Carlo metod pripada grupi metoda matematičkog modelovanja slučajnih veličina iz njihovih raspodela, u osnovi je statistički a po rezultatima pripada kategoriji numeričkih eksperimenata [1,2].

Većina softverskih paketa koji se baziraju na MC tehnikama ostvaruje analogiju modela kretanja i sudara čestica sa atomima materijalne sredine sa svim interakcijama i verovatnoćama iz realnog fizičkog događaja. Zahvaljujući ovakvom pristupu i neprekidnom razvoju računarske tehnike, danas se izvode veoma složeni numerički eksperimenti i rezultati omogućavaju izbor koncepcija u zaštiti od zračenja, proveru realizovanih rešenja i poređenja sa rezultatima merenja. Pored moćnih softverskih paketa kao što su MCNP, ETRAN, GEANT i drugi, razvijen je domaći softverski paket FOTELP (FOTELP je akronim od FOToni ELEktroni i Pozitroni) koji služi za rešavanje mnogobrojnih problema simulacijom transporta fotona, elektrona i pozitrona [3,4].

Zanimanje medicinskog fizičara je kod nas relativno novo zanimanje, softveri i oprema na kojoj rade se svakodnevno usavršavaju. To nameće potrebu za uvođenje novih softvera i usklađivanje nastavnog plana i programa u srednjim školama. Medicinski fizičari mogu da rade u bolnicama, na odeljenjima za onkologiju gde se primenjuju zračenja, radioterapije, kao i u medicinskim centrima koji se bave ovom oblašću. Kako medicinske tehnologije napreduju i razvijaju se i naša medicina se trudi da održi korak sa savremenim trendovima. U tom smislu prepoznato je da medicinske škole treba da obogate nastavu fizike i konkretnim primerima iz prakse.

SOFTVER FOTELP - VOX

Korišćenje programa FOTELP-VOX podrazumeva nekoliko koraka [5]. Prostornu raspodelu apsorbovane doze u tumoru ljudskog organizma prikazanu preko njegove anatomske slike pripreme i obave programi: DICVOX, AVOXMAT, FEPDAT, FOTELP-VOX po tom redosledu i na kraju DICVOX. DICVOX čita CT podatke iz fajlova tipa *.img onako kako su oni zapisani tokom rada skenera. Zaglavlje DICOM se ignorise. Svi pročitani slajsovi smestaju se u 3D matricu HOUND.TXT. Tokom pregleda CT podataka korisnik unosi podatke sa kojima treba da rade ostali programi. AVOXMAT pročitati datoteku Avoxmat.dat koju korisnik popunjava prema svojoj predstavi tkiva u tumoru i Snajderovim podacima o vezi između gustine, Hounsfieldovim brojevima i sastavu tkiva [6]. Kad učitati i Hound.txt, Avoxmat formira Hound.dat koji kasnije koristi Fotelp-vox za simulaciju i Fepdat.inp potreban za računanje verovatnoća prelaza fotona. Postoje materijali tkiva odabrani, a intervali Hounsfieldovih brojeva predodređeni biće sa Avoxmat uzeti u obzir oni materijali koji postoje u tumoru. Program FEPDAT pročitati Fepdat.inp i pripremi verovatnoće prelaza i ulazne podatke za rad programa FOTELP-VOX. FOTELP.FOR pročitati Fotelp.inp i Hound.dat pa podesi referentni koordinatni sistem i na kraju simulacije 3D raspodelu doze Redose.txt.



SLIKA 1. Izgled interfejsa programa VOXVIEW.

Korisnici mogu da promene paletu za prikaz deponovane doze kao i nivo transparentnosti (Slika 1). Datoteka REDOSE.TXT sadrži informacije o deponovanoj dozi u vokalima. Ova datoteka se

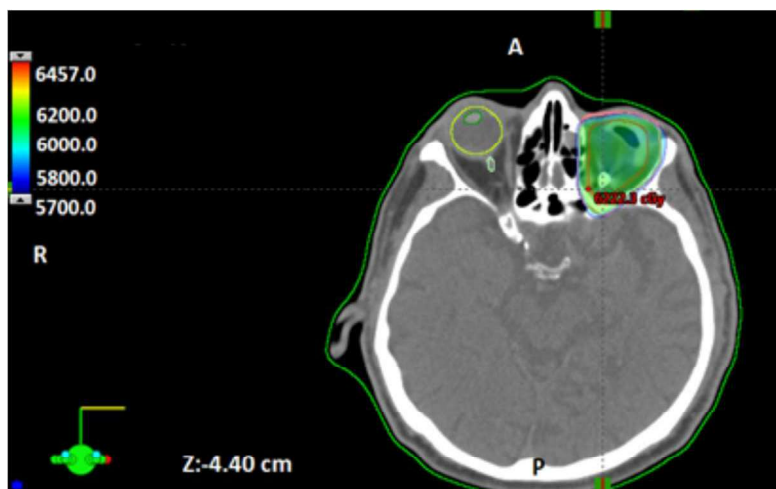
može prikazati klikom na dugme "Prikaži". Takođe, izborom ove opcije biće prikazana doza u tumoru i statistička nesigurnost.

Iako je fizika koja stoji iza softvera FOTELP VOX složena sama manipulacija programom je vrlo jednostavna. Učenici mogu na zanimljiv način da se upoznaju sa osnovnim principima radioterapije. Na ovaj način je ostvareno povezivanje i primena usvojenih znanja iz drugih stručnih predmeta i ostvaren multidisciplinarni pristup. Ukoliko se đacima još i ukaže prilika da posete neki klinički centar, na taj način bi mogli da vide praktičnu primenu softvera za dobijanje doze u tumoru u radioterapiji.

Rezultati

Melanom oka može biti odličan primer kako se vokselizovana geometrija može koristiti u radioterapiji. Potrebno je uništiti tumor a maksimalno sačuvati okolno tkivo. Kod odraslih pacijenata melanom oka je podjednako zastupljen i kod muškaraca i kod žena, dok je njihova prosečna starost u vreme dijagnostikovanja ovog tumora oko 60 godina. Tretmani za ovu vrstu melanoma uključuju hirurgiju, hemioterapiju ili radioterapiju, ili njihovu kombinaciju. Čak i nakon operacije postoji rizik da se ćelije tumora ponovo nađu u samom ležištu gde je bio tumor [7].

Korišćeni su CT snimci glave pacijenta sa veličinama vokseli (najmanjim delovima trodimenzionalnog prostora) od $0,5 \times 0,5 \times 1 \text{ mm}^3$. Pretpostavili smo da je melanom sfernog oblika i da je postavljen u retini oka. Terapijski plan je kreiran korišćenjem FOTELP-VOX softvera sa sledećim ulaznim podacima: 1 cm radijusa kružni fotonski snop energije 6 MV. Korišćeno je ukupno 10^8 fotona u simulaciji.



SLIKA 2. Raspodela doze u VMAT-u za jednog pacijenta sa intraokularnim karcinomom.

Kriterijumi prihvatljivosti planiranja za organe od rizika (OARs) su navedeni u Tabeli 1. Kao što je prikazano u Tabeli 1. FOTELP-VOX ispunjava kliničke zahteve (upoređen je sa VMAT tehnikom, koja se primenjuje u kliničkim centrima za izradu planova zračenja), a oni su usaglašeni tako da i drugi OAR poput mozga takođe ispunjavaju zahteve (Slika 2).

Histogram volumena doze (DVH), koji se dobija nakon izrade radioterapijskog plana, sistem proračunava dozu u tumoru i organima od rizika. DVH se koristi za procenu kliničkog plana lečenja, ovom slučaju, zračenja oka, proračun DVH je pokazao da je plan lečenja zadovoljio ograničenje doze i zapremine postavljene na ležište tumora [8]. DVH je pokazao da je oko 50% zapremine desnog oka dobilo 5,2 Gy, desno sočivo je primilo maksimalno 3,2 Gy, dok je oko 6,3% mozga primilo 60 Gy. Prepisana doza je bila 60 Gy, maksimalna isporučena 64,6, dok je program FOTELP-VOX proračunao 67,2 Gy.

TABELA 1. Kriterijumi prihvatljivosti planiranja za OAR dobijeni pomoću VMAT-a i FOTELP-VOX-a

OAR	FOTELP-VOX (in Gy)	VMAT (in Gy)
Kontralateralno sočivo	3,2	2,5
Dmax < 10 Gy		
Kontralateralna očna jabučica	12,3	13,3
Dmax < 45 Gy		
Moždano stablo		
Dmax < 54Gy	24,5	22,8
D1 < 59 Gy		
Optički nerv		
Dmax < 54 Gy	27,2	25,2
Hipofiza		
Dmax < 50 Gy	25,2	28,0
Kičmena moždina		
Dmax < 48 Gy	1,2	0,9
Mozak		
Dmax < 68 Gy	67,5	63,6

ZAKLJUČAK

Ovakav način rada bi učenike upoznao sa neophodnom teorijom, a obezbedio im prakse koliko je moguće. Glavni cilj jeste razvijanje sposobnosti samostalnog rada učenika. Program čine zadaci koje učenici treba da reše samostalno: tu su zastupljene problemske, poluprogramirane i programirane sekvence i uputstva za korišćenje softvera. U tom procesu nastavnici imaju značajnu ulogu jer uvode novi softver u nastavu fizike i od njih zavisi koliko će učenicima i na koji način približiti medicinsku fiziku. Visoko motivisani nastavnici će na taj način postići integraciju informacionih tehnologija na školskim časovima a odlazak u klinički centar bi mogao da bude praktična potvrda onoga što je obrađeno planom i programom.

ZAHVALNICA

Autori se zahvaljuju profesoru dr Radovanu Iliću, autoru programa FOTELP, za neizmernu pomoć, upornost i podsticaj tokom rada u programu FOTELP-VOX. Profesor Ilić nas je uveo u tehnologiju Monte Carlo metode i omogućio upotrebu svih verzija softverskog paketa FOTELP.

LITERATURA

1. Sempau J., Wilderman S.J., Bielajew A.F. DPM, a fast, accurate Monte Carlo code optimized for photon and electron radiotherapy treatment planning dose calculations. *Physics in Medicine and Biology*, 2000, 45, 2263-2291, doi: 10.1088/0031-9155/45/8/315.
2. Rogers, D. W. O. Fifty Years of Monte Carlo Simulations for Medical Physics. *Physics in Medicine and Biology*, 2006, 51, R287-R301, doi: 10.1088/0031-9155/51/13/R17.
3. Ilić R.D., Spasić-Jokić V., Belicev P., Dragović M. The Monte Carlo SRNA-VOX code for 3D proton dose distribution in voxelized geometry using CT data. *Physics in Medicine and Biology*, 2005, 50, 1011-1017. doi: 10.1088/0031-9155/50/5/023.
4. Pereira G.C., Traughber M., Muzic R.F. The role of imaging in radiation therapy planning: past, present, and future, *BioMed Research International*, 2014, 231090, doi: 10.1155/2014/231090.
5. Lalić D., Ilić R.D., Stanković S.J. Comparison of measured and Monte Carlo calculated electron beam central axis depth dose in water, *Archive of Oncology*, 2001, 9, 83-87, doi: 10.2298/NTRP0801031L.
6. Schneider W., Bortfeld T., Schlegel W. Correlation between CT numbers and tissue parameters needed for Monte Carlo simulations of clinical dose distributions, *Physics in Medicine and Biology*, 2000, 45, 459-478, doi: 10.1088/0031-9155/45/2/314.
7. Dieckmann K., Bogner J., Georg D., Zehetmayer M., Kren G., Pötter R. A linac-based stereotactic irradiation technique of uveal melanoma, *Radiotherapy and Oncology*, 2001, 61, 49-56, doi: 10.1016/s0167-8140(01)00413-3.
8. Deng Z., Shen L., Zheng X., Zhou Y., Yi J., Han C., et al. Dosimetric advantage of volumetric modulated arc therapy in the treatment of intraocular cancer, *Radiation Oncology*, 2017, 12, 83. doi: 10.1186/s13014-017-0819-7.