

PROVJERA RAČUNA APSORBIRANE DOZE U XIO RAČUNALNOM SUSTAVU ZA PLANIRANJE RADIOTERAPIJE

*Mihaela Mlinarić, Mirjana Budanec, Iva Mrčela, Marin Gregov,
Tomislav Bokulić, Ana Fröbe i Zvonko Kusić*
Klinika za onkologiju i nuklearnu medicinu,
KBC "Sestre milosrdnice", Zagreb
mihaela.mlinaric@kbcsm.hr

UVOD

Cilj radioterapije je isporuka apsorbirane doze u ciljni volumen, uz izbjegavanje organa rizika, sa svrhom eliminacije tumorskih stanica. Preporučena točnost doze u referentnoj točki je $\pm 3,5\%$, radi što veće vjerojatnosti tumorske kontrole, pri čemu su u taj iznos uračunate sve nepouzdanosti radioterapijskog procesa [1].

U modernoj radioterapiji računanje apsorbirane doze u bolesniku provodi se gotovo isključivo računalnim sustavima za planiranje. Točnost tih sustava ograničena je nepouzdanostima u mjerenjima i aproksimacijama u algoritmima. Prema preporuci Međunarodne agencije za atomsku energiju (*International Atomic Energy Agency* - IAEA) prilikom prihvatnog testiranja linearnog akceleratora provodi se i prihvatno testiranje sustava za planiranje, pomoću skupa testnih podataka prikupljenih u tu svrhu [2].

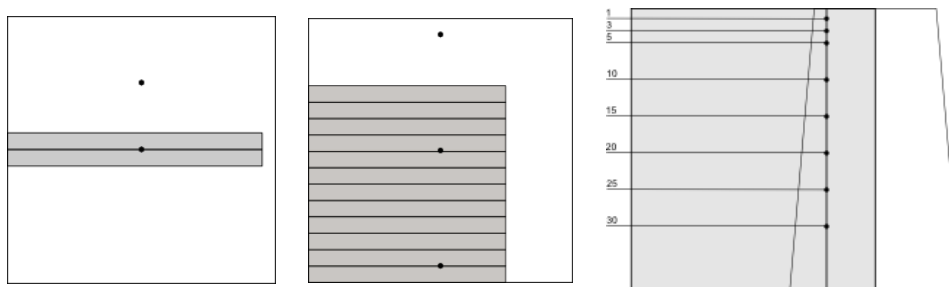
U ovom radu opisana je prilagodba preporučenih testova za mjerenja i pripadna analiza sa svrhom provjere modela fotonskih snopova u sustavu za planiranje linearnog akceleratora postavljenog u Klinici za onkologiju i nuklearnu medicinu Kliničkog bolničkog centra "Sestre milosrdnice".

MATERIJAL I METODE

Linearni akcelerator Elekta Synergy S može proizvesti dva fotonska snopa nominalne energije od 6 i 18 MV te pet elektronskih snopova energija 6, 9, 12, 15 i 20 MeV. Za prilagodbu snopa uređaj nudi asimetričnu kolimaciju, univerzalni (motorizirani) klin od 60° te konformalno oblikovanje polja višamelarnim kolimatorom (*multileaf collimator* – MLC) i lijevanim blokovima. Apsolutna kalibracija uređaja provedena je mjerenjem doze u vodi po IAEA protokolu TRS 398 [3].

Apsorbirana doza (u nastavku teksta - doza) računata je pomoću Elekta CMS XiO 4.62 sustava za planiranje. XiO nudi četiri algoritma za račun doze fotonskih snopova – Clarksonov algoritam, konvolucijski algoritam (*FFT Convolution*), algoritam temeljen na superpoziciji (*Multigrid Superposition*) i brzom superpoziciji (*Fast superposition*). Za klinički rad je odabran prvi superpozicijski algoritam te su pripadni modeli snopova predmet ovog ispitivanja.

Mjerenje za potrebe testiranja sustava za planiranje provedeno je vodootpornom ionizacijskom komoricom Farmerovog tipa (30013), u automatiziranom vodenom fantomu MP3 s programom MEPHYSTO mc² (PTW, Freiburg). Uspoređivani su rezultati mjerene i izračunate doze u reprezentativnim točkama.



Slika 1. Položaj točaka za test 5 (lijevo), test 7 (sredina) i test 10a (desno)

Za svaku geometriju polja ispitivano je nekoliko pozicija u uzdužnoj (*inplane*) osnoj ravnini polja, na do osam dubina u rasponu od 1 do 30 cm. Svi testovi (osim testa 3) provedeni su pri udaljenosti izvora do površine (SSD) od 100 cm, tj. s izocentrom smještenim na površini vode. Ukupno je izmjereno 854 točaka za 11 grupa testova. U Tablici 1 prikazani su položaji i pripadne tolerancije točaka u kojima je ispitivanje provedeno, grupirani po usporedivim položajima (a, b i c).

U sklopu testa 4 osim u središtu polja (a), mjerene su doze van osi pod tanjim (b) i debljim (c) dijelom klina. U testu 5 središte polja blokirano je s dvije lamele najbliže izocentru (Slika 1, lijevo), a mjerene su doze u središtu (a), i van osi polja (b). Sve točke u testu 6 udaljene su 4 cm od osi polja. Polje u testu 7 oblikovano je višamelarnim kolimatorom u oblik slova L, a mjerene su doze u zatvorenom (a i b) i otvorenom području polja (c) (Slika 1, sredina). Test 9 proveden je s osi polja pod kutom od 45° prema površini fantoma, a mjerena je doza u točkama 3 cm lijevo (a) odnosno desno (b) od

osi snopa. U testu 10 os snopa prolazi kroz vanjsku stijenku fantoma (Slika 1, desno). U testovima 11 i 12 provjerava se doza asimetričnog polja, u ravnini geometrijske sredine otvorenog dijela polja. U slučaju testa 12 polje smo podijelili na područja središnjeg (a), tanjeg (b) i debljeg dijela klina (c).

Tablica 1. Popis testova s navedenim položajima u odnosu na središte i tolerancijama na odstupanje po IAEA preporukama [2]. Usporedivi položaji grupirani su po (a), (b) i (c) (središte, van osi polja i izvan polja)

Test	Opis polja	Položaji (tolerancija) / cm		
		(a)	(b)	(c)
1a	5×5 cm ²	0 (2%)	1 (3%)	5 (3%)
1b	10×10 cm ²	0 (2%)	3 (3%)	9 (3%)
1c	25×25 cm ²	0 (2%)	9 (3%)	19 (3%)
2a	5×25 cm ²	0 (2%)	1 (3%)	5 (3%)
2b	25×5 cm ²	0 (2%)	9 (3%)	19 (3%)
3	10×10 cm ² , SSD=85 cm	0 (2%)	2,5 (3%)	7 (3%)
4	9×9 cm ² , klin	0 (3%)	-2,5 (3%)	2,5 (3%)
5	16×16 cm ² , središnji blok (Slika 1)	0 (3%)	4 (3%)	
6	10×10 cm ² , van osi 4 cm	0 (3%)	3 (3%)	8 (3%)
7	16×16 cm ² , oblik slova L (Slika 1)	0 (3%)	7 (3%)	-7 (3%)
9	10×10 cm ² , kosi upad	0 (3%)	-3 (3%)	3 (3%)
10a	10×10 cm ² , defekt tkiva (Slika 1)		4 (3%)	
10b	20×20 cm ² , defekt tkiva		5; 9 (3%)	
11a-d	Asimetrično 15×15 cm ²	0 (3%)	-6 (3%)	6 (3%)
12a-f	Asimetrično 15×15 cm ² , klin	0 (4%)	-6 (5%)	6 (5%)

Promatrana veličina je odstupanje izračunate (D_{TPS}) od mjerene doze (D_M), normirano na mjerenu dozu pri istoj dubini. U slučaju točke mjerenja unutar polja jednostavne geometrije, relativno odstupanje je:

$$\Delta_1 = 100 \times \frac{D_{TPS} - D_M}{D_M} \% \quad (1)$$

Kod točke mjerenja van polja ili pod blokom, odstupanje je normirano na dozu mjerenu na osi snopa ili u ekvivalentnoj točki otvorenog polja.

Za većinu odstupanja IAEA preporuča toleranciju od 3 %. U slučaju jednostavnih konfiguracija (kvadratna i pravokutna polja na osi snopa) preporuča se da tolerancija bude do 2 %. Za složenije slučajeve poput

asimetričnih polja s klinom, dopušteno je do 4 % odstupanja na osi, odnosno 5 % van osi snopa [2]. Položaji mjerenja po testu i pripadne vrijednosti tolerancija prema IAEA protokolu prikazane su u Tablici 1.

S obzirom na veliki broj mjerenja i po uzoru na ranije radove, kao procjenu uspješnosti provedenog testa koristili smo granicu pouzdanosti (*confidence limit*) δ , definiranu jednadžbom (2), gdje je Δ srednja vrijednost relativnog odstupanja za usporedivi set mjerenja, a σ standardna devijacija tih odstupanja [1,4]:

$$\delta = |\Delta| + 1,5\sigma \quad (2)$$

REZULTATI

Analizom je utvrđeno da je odstupanje izračunate od mjerene doze slično za obje energije, stoga su ti podaci objedinjeni radi bolje statistike (Tablica 2). Granice pouzdanosti računane su po testovima, u skladu s prikazom iz rada Venselaara i suradnika [4]. Svi testovi su unutar tolerancije (3 %, odnosno 4 % za testove 5 i 12), osim testa 7.

Tablica 2. Rezultati usporedbe mjerene i izračunate doze iskazani preko intervala pouzdanosti za grupe točaka (a), (b) i (c). Istaknute su vrijednosti odstupanja van tolerancije.

Test	Granica pouzdanosti po testu	Granica pouzdanosti po položajima		
		(a)	(b)	(c)
1a-c	2,4%	1,6%	1,4%	3,5%
2a-b	2,7%	1,6%	1,1%	3,6%
3	2,8%	1,7%	0,8%	4,0%
4	1,5%	1,5%	1,6%	0,6%
5	2,7%	2,2%	2,6%	
6	3,0%	1,5%	2,0%	3,6%
7	4,8%	1,1%	0,5%	5,8%
9	2,3%	1,7%	2,9%	2,1%
10a-b	3,0%		3,0%	
11a-d	2,2%	1,6%	3,4%	1,1%
12a-f	3,2%	2,9%	5,6%	2,5%

Odstupanja za jednostavna polja veća su od očekivanih. Zbog toga su određene granice pouzdanosti po položajima u grupama testova te su uspoređene s IAEA preporukama [2]. U ovom prikazu vidljivo je da su veća

odstupanja u ukupnoj granici pouzdanosti posljedica većih odstupanja u slučaju mjernih točaka van polja. Test 7 u području otvorenog polja pokazao je odstupanja od oko 6 %. U slučaju testa 12 - rezultati za tanji dio klina - odstupanje je gotovo 6 %.

Točke u slučaju testova 7 i 12 nalaze se u području velikog gradijenta doze (blizu samog ruba polja, a za test 12 postoji i gradijent od klina). Postoji mogućnost da je zbog efekta volumnog usrednjavanja pri mjerenju s komoricom Farmer tipa u ovom području izmjerena doza manja od stvarne. Potrebna su dodatna mjerenja prikladnim detektorom manjeg volumena da bi se provjerila ispravnost ove pretpostavke i utvrdilo porijeklo povećanog odstupanja u tim testovima.

ZAKLJUČAK

Rezultati našeg ispitivanja u skladu su s rezultatima ranijih ispitivanja [4]. Rezultati testa 7 i 12 upućuju na oprez u kliničkom radu zbog česte upotrebe nepravilnih polja (poput polja 7) i poluotvorenih polja s klinom (poput polja u testu 12). Proizvođač sustava za planiranje preporuča da se referentna točka mora nalaziti barem 2 cm od ruba polja i dublje od položaja maksimuma postotne dubinske doze, a taj uvjet je teško zadovoljiti kod konfiguracije polja koja pokazuju veća odstupanja u ovom radu. Ispitivanje upućuje na potrebu za što pažljivijim odabirom referentne točke pri planiranju te na provjeru složenijih planova zračenja nekom od metoda mjerenja doze na pacijentu ili u odgovarajućem fantomu.

LITERATURA

- [1] Venselaar J, Welleweerd H, Mijnheer B. Tolerances for the accuracy of photon beam dose calculation of treatment planning systems. *Radiother Oncol* 2001;60:191-201.
- [2] International Atomic Energy Agency (IAEA). Specification and Acceptance. Testing of Radiotherapy Treatment Planning System, IAEA-TECDOC-1540. Vienna: IAEA; 2007.
- [3] International Atomic Energy Agency (IAEA). Absorbed Dose Determination in External Beam Radiotherapy: An International Code of Practice for Dosimetry based on Standards of Absorbed Dose to Water, IAEA-Technical Reports Series 398. Vienna: IAEA; 2000.
- [4] Venselaar J, Welleweerd H. Application of a test package in an intercomparison of the photon dose calculation performance of treatment planning systems used in a clinical setting. *Radiother Oncol* 2001;60:203-213.

VERIFICATION OF ABSORBED DOSE CALCULATION WITH XIO RADIOTHERAPY TREATMENT PLANNING SYSTEM

*Mihaela Mlinarić, Mirjana Budanec, Iva Mrčela, Marin Gregov,
Tomislav Bokulić, Ana Fröbe and Zvonko Kusić*
Department of Oncology and Nuclear Medicine,
University Hospital Center "Sestre milosrdnice", Zagreb, Croatia
mihaela.mlinaric@kbcsm.hr

Modern radiotherapy relies on computerized treatment planning systems (TPS) for absorbed dose calculation. Most TPS require a detailed model of a given machine and therapy beams. International Atomic Energy Agency (IAEA) recommends acceptance testing for the TPS (IAEA-TECDOC-1540). In this study we present customization of those tests for measurements with the purpose of verification of beam models intended for clinical use in our department.

Elekta Synergy S linear accelerator installation and data acquisition for Elekta CMS XiO 4.62 TPS was finished in 2011. After the completion of beam modelling in TPS, tests were conducted in accordance with the IAEA protocol for TPS dose calculation verification. The deviations between the measured and calculated dose were recorded for 854 points and 11 groups of tests in a homogenous phantom.

Most of the deviations were within tolerance. Similar to previously published results, results for irregular L shaped field and asymmetric wedged fields were out of tolerance for certain groups of points.