

**ДРУШТВО ЗА ЗАШТИТУ ОД ЗРАЧЕЊА  
СРБИЈЕ И ЦРНЕ ГОРЕ**



**ЗБОРНИК  
РАДОВА**

**XXIX СИМПОЗИЈУМ ДЗЗСЦГ  
Сребрно језеро  
27- 29. септембар 2017. године**

**Београд  
2017. године**

**SOCIETY FOR RADIATION PROTECTION OF  
SERBIA AND MONTENEGRO**



# PROCEEDINGS

**XXIX SYMPOSIUM DZZSCG  
Srebrno jezero  
27- 29. September 2017**

**Belgrade  
2017**

ЗБОРНИК РАДОВА

XXIX СИМПОЗИЈУМ ДЗЗСЦГ  
27-29.09.2017.

Издавачи:

Институт за нуклеарне науке „Винча“  
Друштво за заштиту од зрачења Србије и Црне Горе

За извршног издавача:

Др Борислав Грубор

Уредници:

Др Јелена Станковић Петровић  
Др Гордана Пантелић

ISBN 978-86-7306-144-3

©Institut za nuklearne nauke „Vinča“

Техничка обрада:

Јелена Станковић Петровић, Гордана Пантелић

Штампа:

Институт за нуклеарне науке ”Винча”, Мике Петровића Аласа 12-14, 11351  
Винча, Београд, Србија

Тираж:

150 примерака

Година издања:

Септембар 2017.

### PROCJENA DOZE TERAPIJSKOG LINEARNOG AKCELERATORA IZVAN POLJA ZRAČENJA PRI KORIŠTENJU RAZLIČITIH TEHNIKA ZRAČENJA

**Milomir MILAKOVIĆ<sup>1</sup>, Miodrag KRMAR<sup>2</sup>, Nikola BOSNIĆ<sup>1</sup> i Slavica MARIĆ<sup>1</sup>**

1) *International Medical Centers Banja Luka, Banja Luka, Bosna i Hercegovina,  
milomir.milakovic@affidea.com*

2) *Univerzitet u Novom Sadu, Departman za fiziku, Novi Sad, Srbija*

#### **SADRŽAJ**

*Prilikom puštanja u rad terapijskog linearnog akceleratora dozimetrijska mjerenja se rade samo u zračnom polju i ti podaci se unose u TPS (sistem za planiranje), dok dozimetrijski podaci izvan zračnog polja nisu dobro dokumentovani. Neminovno je da dijelovi tijela izvan zračnog polja budu izloženi određenoj dozi zračenja rasijanog u tijelu pacijenta, akceleratorskoj glavi, kao i u samoj prostoriji. Razvojem tehnika isporuke doze pomoću kojih imamo mnogo bolju konformalnost, ali isto tako imamo više monitorskih jedinica čime se produžava vrijeme tretmana, a samim time izloženost tijela nižim dozama zračenja. Takođe, koristimo više polja pod različitim uglovima (IMRT) ili puni luk (VMAT). Sve ovo utiče da veća zapremina normalnog tkiva bude izložena nižim dozama zračenja. Cilj ovog rada je da se procijeni vrijednost doze izvan zračnog polja za tretmanske planove (3DCRT, IMRT i VMAT) napravljenih u Eclipse 13.6 TPS (Varian Medical Systems) koja je isporučena pomoću Clinac DHX (Varian Medical Systems) linearnog akceleratora. Mjerenje je rađeno u Thorax Phantom-u (CIRS) pomoću jonizacione komore na udaljenosti od ivice polja u rasponu od 1,75–15,75 cm.*

#### **1. UVOD**

Radijaciona terapija je u proteklih nekoliko godina veoma napredovala u smislu poboljšanja performansi mašina za isporuku doze kao i razvojem tehnika planiranja. Tako su pored 3D konformalne radioterapije (CRT) tehnike planiranja razvijene intenzitetom modulirana radioterapija (IMRT) i volumetrijski modulirana lučna terapija (VMAT). Sve ovo je razvijeno sa ciljem da se radioterapijski tretmani optimizuju da što je moguće manju dozu daju u zdravo tkivo, dok u isto vrijeme doza u ćelijama tumora bi trebala biti maksimalna i ravnomjerna. Isto tako, radijacioni doprinos van zračnog polja u normalno tkivo je neminovan, stoga je važno da se kvantifikuje i analizira zbog rizika od stohastičnih ali i determinističkih radijacionih efekata.

Komercijalni sistemi za planiranje i algoritmi za računanje su razvijeni da modeluju tretmansko polje i da sa velikom tačnošću isporuče adekvatnu dozu u ciljni volumen. Međutim, prilikom puštanja u rad sistema za planiranje, podaci o izračunatoj dozi van zračnog polja nisu dobro dokumentovani.

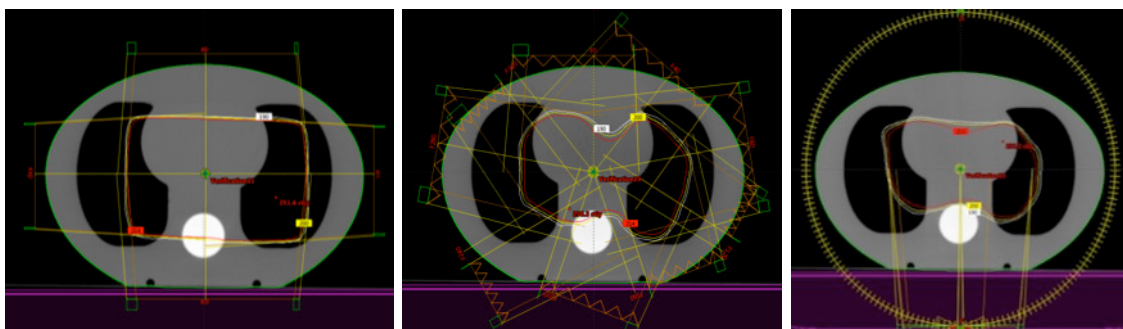
Moderne tehnike u radioterapiji uključuju korišćenje višelisnog kolimatora (MLC), koji se nalazi u glavi akceleratora, za modulisanje zračnog snopa da bi se postigla bolja dozna pokrivenost ciljnog volumena. Ovo direktno utiče na produženje trajanja tretmana i izloženosti pacijenta zračnom snopu. Zbog toga se dešava povećanje izloženosti rasijanom zračenju od samog pacijenta, od glave akceleratora, kao i od same prostorije i opreme u kojoj se sprovodi tretman.

U ovom radu prevashodni cilj je da se kvantifikuje vrijednost apsorbovane doze u tijelu pacijenta izvan zračnog polja za u današnje vrijeme najčešće korištene tehnike planiranja i isporuke doze (3DCRT, IMRT i VMAT), odnosno kolika je realna opasnost da pacijent dobije veću dozu na velikim rastojanjima od ciljnog volumena nego što se može računski procijeniti sistemom za planiranje tretmana. Vrijednosti apsorbovane doze mjerene su jonizacionom komorom u tkivno-ekvivalentnom fantomu. Dobijene vrijednosti mjerenja apsorbovane doze za ove tretmane su poređeni između sebe ali isto tako i sa apsorbovanim dozama dobijenim kalkulacijom pomoću sistema za planiranje.

## 2. MATERIJAL I METODOLOGIJA

### 2.1. PLANIRANJE TRETMANA

Za ovaj rad korišteni su planovi napravljeni na stvarnom pacijentu sa tumorom sredogruda (mediastinum) snimljenom kompjuterizovanom tomografijom (CT) sa debljinom presjeka od 0,25 cm. Delineaciju tretmanskog volumena i rizičnih organa je uradio nadležni radijacioni onkolog. 3DCRT konformalni plan je napravljen u BOX tehnici, odnosno uglovi polja su  $0^{\circ}$ ,  $90^{\circ}$ ,  $180^{\circ}$  i  $270^{\circ}$ . IMRT plan je napravljen sa 9 ekvidistantnih polja sa uglovima  $0^{\circ}$ ,  $40^{\circ}$ ,  $80^{\circ}$ ,  $120^{\circ}$ ,  $160^{\circ}$ ,  $200^{\circ}$ ,  $240^{\circ}$ ,  $280^{\circ}$  i  $320^{\circ}$ . VMAT (RapidArc, RA) plan je napravljen sa dva puna luka, odnosno od  $0^{\circ}$  do  $360^{\circ}$  tako da se jedan luk vrti u smjeru kazaljke na satu, a drugi suprotno, tokom isporuke doze (slika1)



**Slika 1. Transverzalni presjek fantoma sa prikazom uglova polja za 3DCRT, IMRT i VMAT planove**

Kod svih planova korištena je fotonska energija od 6 MeV, a težinski odnos između polja u istom planu je jednak. Veličina polja po x-osi je u rasponu od 11,5-19,8 cm u zavisnosti od ugla gantrija za 3DCRT i IMRT planove, dok je za RA plan veličina polja po x-osi ručno podešena na 15 cm zbog ograničenja kretanja MLC-a (Milenium 120), a po y-osi je u rasponu od 11,6-12,3 cm (tabela 1). Planovi su rađeni u Eclipse 13.6 (Varian Medical Systems) sistemu za planiranje, a za računanje isporučene doze korišten je algoritam Acuros XB (Varian Medical Systems) sa korekcijom na heterogenost i rezolucijom računanja 2,5 mm. Broj monitorskih jedinica dobijen kod 3DCRT tehnike je 289 MU, kod IMRT-a 1091 MU dok je kod RA tehnike broj monitorskih jedinica 743 MU. Kod 3DCRT i IMRT tehnika isporuke doze, brzina doze je ručno podešena na vrijednosti koje se obično koriste u našem centru i to 600 MU/min za 3DCRT i 300 MU/min za IMRT. Kod RA tehnike broj monitorskih jedinica se

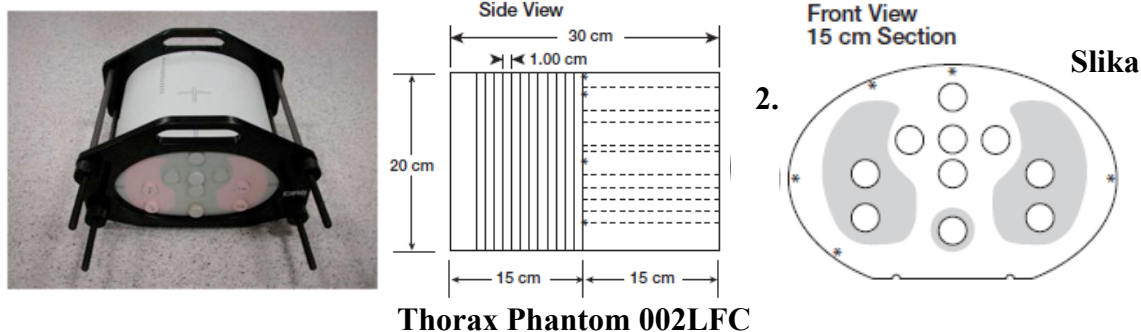
mijenja tokom isporuke doze i na njih nije moguće uticati, a kod ovog plana on se kretao u rasponu od 200-400 MU/min.

**Tabela 1. Karakteristike tretmanskih planova**

Plan	Max. veličina polja	Broj polja	Broj MU	Doza u izocentru
3DCRT	18,4 x 12,3 cm <sup>2</sup>	4	289	2,3 Gy
IMRT	19,8 x 12,3 cm <sup>2</sup>	9	1091	2,5 Gy
RA	15 x 12,3 cm <sup>2</sup>	2 luka	743	2,4 Gy

### 2.2. FANTOM

Na osnovu gore opisanih planova kreirani su verifikacioni planovi na fantomu Thorax Phantom 002LFC (Cirs Inc.) (slika 2). Fantom je dizajniran tako da simulira grudni koš čovjeka sa umetcima koji imaju gustinu jednaku gustini pluća, mišića i kostiju. Fantom je takođe snimljen pomoću kompjuterizovane tomografije, a iscrtana mu je samo kontura tijela. Ova kontura je neophodna jer svi komercijalni sistemi za planiranje računaju dozu samo unutar ove konture. Ovi verifikacioni planovi su kopije stvarnih planova sa istim uslovima; broj monitorskih jedinica, uglovi gantrija, veličina polja i oblik polja, odnosno istim kretanjem MLC-a u slučaju IMRT-a i RA-a.



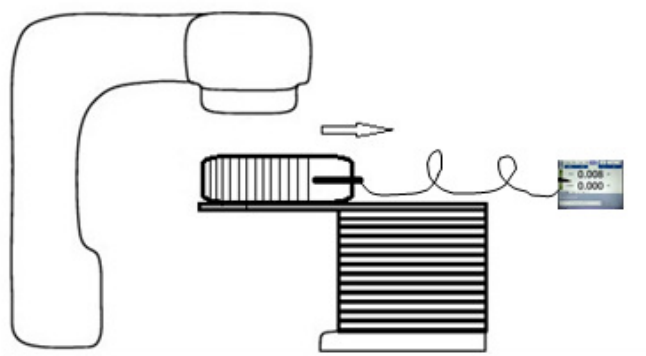
### 2.3. ISPORUKA DOZE

Doza je isporučena pomoću linearnog akceleratora Clinac DHX (Varian Medical Systems) u International Medical Centers Banja Luka (Affidea Group) korištenjem tretmanskih planova prethodno opisanih. Ovaj linearni akcelerator je kalibrisan prema TRS 398 (IAEA) protokolu i licenciran od strane Državne regulatorne agencije za radijacionu sigurnost Bosne i Hercegovine, a isto tako isporuka doze ovog akceleratora je verifikovana od strane IAEA Dosimetry Laboratory.

Unutar fantoma nalazi se nekoliko mjesta za postavljanje jonizacione komore. Kako se u ovom slučaju radi o regiji sredogruda tako je izabrano i mjesto postavke komore u fantomu, odnosno u izocentru. Za ova mjerenja korištena je jonizaciona komora tipa Farmer (Standard Imaging) koja je povezana na elektrometar SuperMAX 1000 (Standard Imaging).

### 2.4. MJERENJE

Mjerenja isporuke doze van zračnog polja rađena su tako što je fantom sa jonizacionom komorom postavljen tako da ivica zračnog polja bude 0,5 cm udaljena od vrha jonizacione komore ili 1,75 cm od sredine mjernog dijela jonizacione komore i to bi bila početna pozicija i prvo mjerenje isporuke doze za jednu frakciju. Zatim je tretmanski sto zajedno sa fantomom i jonizacionom komorom pomjeran longitudinalno za po 1 cm od sredine mjernog dijela jonizacione komore, odnosno od početne pozicije i mjerena je isporučena doza po frakciji za svaku poziciju. Tako su dobijena mjerenja doza van tretmanskog polja u fantomu na rastojanju od sredine mjernog dijela jonizacione komore u rasponu od 1,75 cm do 15,75 cm, korakom od 1 cm (slika 3).



**Slika 3. Postavka uređaja. Strelica pokazuje smjer pomjeranja tretmanskog stola**

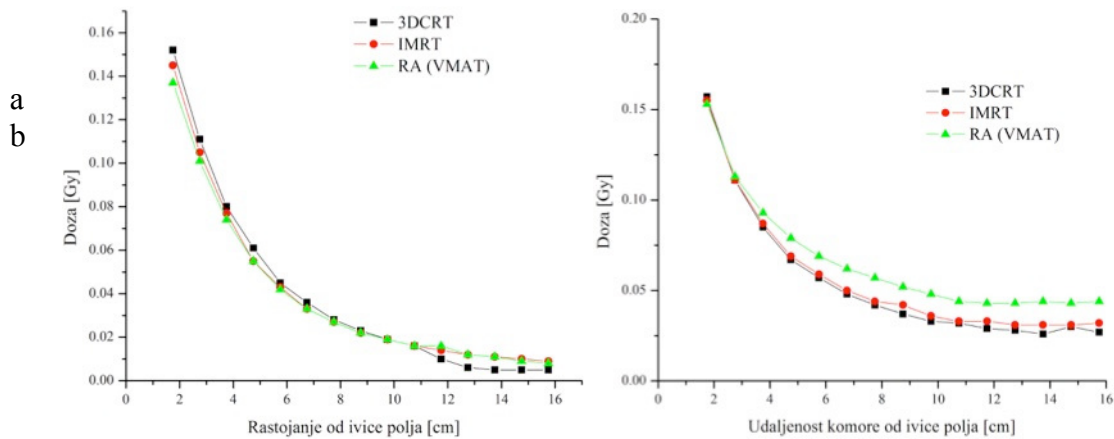
### 3. REZULTATI I DISKUSIJA

Grafik (a) na slici 4 prikazuje vrijednosti doza dobijenih pomoću sistema za planiranje izvan zračnog polja na rastojanjima od 1,75 cm do 15,75 cm u fantomu za 3DCRT, IMRT i VMAT tehnike planiranja. Vrijednosti doze su određivane pomoću alata u sistemu za planiranje „point dose tool“, a birane su tako da se poklapaju sa mjestima mjerenja doze pomoću jonizacione komore. Vrijednost izračunatih doza pada sa rastojanjem od ivice polja. Tako za 3DCRT imamo da je vrijednost doze 0,152 Gy na 1,75 cm rastojanju od ivice polja, i pada do vrijednosti od 0,005 Gy na rastojanju od 15,75 cm od ivice polja što je za približno tri reda veličine niže u odnosu na vrijednost doze u izocentru. Iz ovog grafika možemo još vidjeti da nema velikih odstupanja u vrijednostima doza na datim rastojanjima između različitih tehnika planiranja tako da je razlika u vrijednostima doza između IMRT-a i VMAT-a svega nekoliko procenata (0% - 12,5%, srednja 3,3%). Razlika u vrijednosti doza između 3DCRT i druge dvije tehnike planiranja je takođe neznatna i ona takođe iznosi nekoliko procenata, do rastojanja od oko 11 cm, dok na većim rastojanjima vrijednost doze za 3DCRT niža za od 28.6% - 54.5% (srednja je 18.9%) u odnosu na druge dvije tehnike planiranja. Ova razlika izgleda dosta velika, međutim kao što je već rečeno, radi se o vrijednostima doza koje su za približno tri reda veličine niže od doze u izocentru.

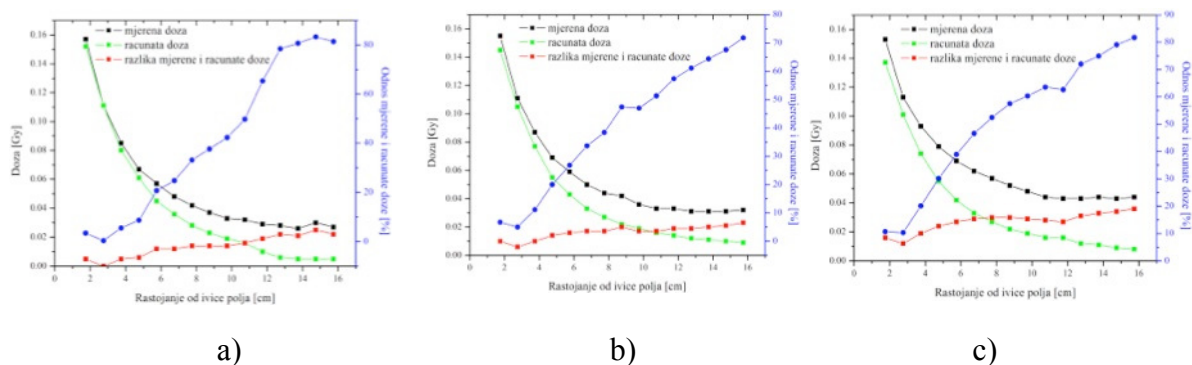
Grafik (b) na slici 4 prikazuje vrijednosti doza dobijenih mjerenjem pomoću jonizacione komore u fantomu na datim rastojanjima od ivice polja. Možemo uočiti da je vrijednost doze za 3DCRT iznosi 0,157 Gy na rastojanju od 1,75 cm od ivice polja, dok sa povećanjem rastojanja vrijednost doze pada na 0,027 Gy na rastojanju od 15,75 cm što

je za približno dva reda veličine niže u odnosu na vrijednosti doze u izocentru. Vrijednosti izmjerenih doza na ovom rastojanju za IMRT i VMAT još su veće i iznose 0,032 Gy i 0,044 Gy. Odnos doza ovih tehnika raste sa udaljenosti od ivice polja, tako odnos 3DCRT i VMAT se kreće u rasponu od 1,8% pa do 40,9% (srednji 23,9%), dok je odnos na 3DCRT-a i IMRT-a je neznatan i kreće se u rasponu od 0% do 16,1% (srednji 6,6%). Odnos izmjerenih doze između VMAT-a i IMRT-a kreće se u rasponu od 1,3% do 29,5% (srednji 18,9%).

Na slici 5 dato je poređenje vrijednosti izračunatih doza pomoću sistema za planiranje i vrijednostima mjenjenih doza pomoću jonizacione komore na datim rastojanjima za 3DCRT, IMRT i VMAT tehnike planiranja i isporuke doze. Kod sve tri tehnike, vrijednosti mjenjenih doza rastu sa povećanjem rastojanja jonizacione komore od ivice polja u odnosu na računatu vrijednosti i tako za 3DCRT taj odnos je u rasponu od 0,4% pa do 83,3% (srednji je 41%). Za IMRT odnos mjenjene i računate doze na datim rastojanjima je u rasponu od 5% do 71,8% (srednji je 40,7%) dok se za VMAT taj odnos kreće u rasponu od 10,3% do 81,7% (srednji je 50,7 %).



**Slika 4. Vrijednosti apsorbovane doze: a) izračunatre pomoću TPS, b) izmjenjene jonizacionom komorom**



**Slika 5. Rezultati poređenja mjenjene i računate apsorbovane doze: a) za 3DCRT, b) za IMRT, c) za VMAT**



### 4. ZAKLJUČAK

U ovom radu radili smo poređenje vrijednosti doza zračenja dobijenih pomoću Eclipse sistema za planiranje i vrijednosti doza mjerenjem pomoću jonizacione komore izvan tretmanskog polja na rastojanju u rasponu od 1,75 cm do 15,75 cm od ivice polja. Doze su poređene za 3DCRT, IMRT i VMAT tehnike planiranja koje su ujedno i najčešće korištene tehnike za planiranje i isporuku tretmanske doze. Kod sve tri tehnike dobijeno je da je mjerena doza viša u odnosu na računatu dozu i da ta razlika raste, i preko 80%, sa povećanjem rastojanja od ivice polja. Isto tako, računate vrijednosti doze su na ovim rastojanjima približno za tri reda veličine niže u odnosu na dozu u izocentru tretmanskog polja dok je mjerenjem utvrđeno da je ta doza niža za približno dva reda veličine. Najveće vrijednosti doze rasijanog zračenja daje VMAT tehnika zatim IMRT i na kraju 3DCRT.

Uopšteno gledano, razlike u vrijednostima računate i mjerene rasijane doze koje su prikazane u ovoj studiji, relevantne su za regione tijela koji se nalaze na velikim udaljenostima od ciljnog volumena, odnosno gdje preovlađuju niske doze koje nemaju značaja kada su u pitanju akutne toksičnosti. Ovi rezultati bi mogli pružiti informacije o procjenama kasnih efekata zračenja kao što su nastanci drugih primarnih tumora ili za razvoj modela doznog odgovora za efekte niskih doza.

### 5. LITERATURA

- [1] Rebecca M Howell, Sarah B Scarboro, S F Kry, Derek Z Yaldo, *Accuracy of out-of-field dose calculations by a commercial treatment planning system*, Phys Med Biol, 2010 December 7
- [2] Marilyn Stovall, Charles Robert Blackwell, Jackson Cundiff, Devorah H. Novack, Jatinder R. Palta, Louis K. Wagner, Edward W. Webster, Robert J. Shalek (Consultant), *Fetal dose from radiotherapy with photon beams*, Report of AAPM Radiation Therapy Committee Task Group No. 36, February 1995
- [3] Eric J. Hall, D. Phil, *Intensity-Modulated Radiation Therapy, Protons, and the Risk of Second Cancers*, Elsevier Inc. 2006.
- [4] Robert Kaderka, *Out-of-field dose measurements in radiotherapy*, Offenbach am Main 2011 — Darmstadt — D 17
- [5] R. Kaderka, C. LaTessa, D. Schardt, U. Ramm, J. Licher, M. Durante, *Out-of-field dose measurements in radiotherapy for ALLEGRO*, GSI SCIENTIFIC REPORT 2009
- [6] T. Siji Cyriac, M.M. Musthafa, R. Ganapathi Raman, K. Abdul Haneefa, Saju Bhasi, *Out-of-field photon dosimetry study between 3-D conformal and intensity modulated radiation therapy in the management of prostate cancer*, International Journal of Radiation Volume 13, No 2 Research, April 2015
- [7] Sungkoo CHO, Seong Hoon KIM, Chan Hyeong KIM, Jang Guen PARK, Jin Hyung PARK, Jong Hwi JEONG, *Secondary Cancer Risks in Out-of-field Organs for 3-D Conformal Radiation Therapy*, NUCLEAR SCIENCE and TECHNOLOGY, Vol. 1, p.521-524 (2011)
- [8] Technical Report Series No. 398, *Absorbed Dose Determination in External Beam Radiotherapy*, IAEA Vienna, 2004
- [9] Harold E Johns, John R Cunningham, *The Physics of Radiology*, USA, 1974

**EVALUATION OF THERAPEUTIC DOSE LINEAR  
ACCELERATOR OUT-OF-FIELD USING DIFFERENT  
TECHNIQUES RADIATION**

**Milomir MILAKOVIĆ<sup>1</sup>, Miodrag KRMAR<sup>2</sup>, Nikola BOSNIĆ<sup>1</sup> i Slavica MARIĆ<sup>1</sup>**

*1) International Medical Centers Banja Luka, Banja Luka, Bosnia and Herzegovina,  
milomir.milakovic@affidea.com*

*2) Physics Department, University Novi Sad, Novi Sad, Srbija*

**ABSTRACT**

*When commissioning therapeutic linear accelerator dosimetric measurements are made only in the air field and these data are entered in TPS (treatment planning system), and dosimetry data out-of-field are not well documented. It is inevitable that parts of the body out-of-field to be exposed to a certain dose of the scatter radiation in the patient's body, accelerator head, as well as in the room. The development of technique delivery doses with which we have a much better conformity, but also we have more of monitor units that serve to prolong the treatment time, and thus the exposure of the body lower doses of radiation. Also, use more fields at different angles (IMRT) or full arch (VMAT). All this affects the larger volume of normal tissue is exposed to lower doses of radiation. The aim of this study is to assess the value out-of-field dose for treatment plans (3DCRT, IMRT and VMAT) made in Eclipse 13.6 TPS (Varian Medical Systems) that is delivered using CLINAC DHX (Varian Medical Systems) linear accelerator. Measurement was conducted in Thorax Phantom-in (CIRS) using ionization chamber at the distance from the edge of the field in the range of (1.75 - 15.75) cm.*