

## ODREĐIVANJE APSORBIRANE DOZE U VODI ZA LEKSELL GAMMA KNIFE UREĐAJ

*Hrvoje Hršak*

Klinika za onkologiju i radioterapiju, Klinički bolnički centar Zagreb,  
Zagreb

[hhrsak@kbc-zagreb.hr](mailto:hhrsak@kbc-zagreb.hr)

### UVOD

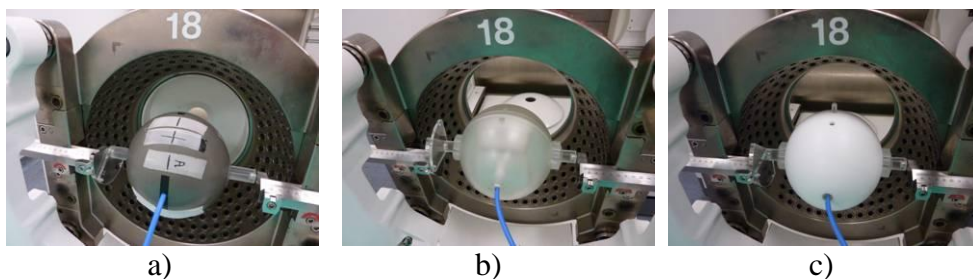
U Gamma Knife radiokirurgiji mozga (GKRR) za jednokratno precizno ozračivanje malih intrakranijskih lezija koristi se uski fotonski snop od 201 izvora  $^{60}\text{Co}$  (promjera 4, 8, 14 i 18 mm), stoga je važno točno odrediti apsorbiranu dozu koju će pacijent primiti tijekom radiokirurškog postupka. Za određivanje apsorbirane doze u vodi  $D_w$  jedan od standardno korištenih protokola jest Technical Reports Series No. 398 (TRS-398) [1]. Međutim, zbog fiksiranog sferičnog rasporeda fotonskih snopova primjena ovakvog protokola za Leksell Gamma Knife (LGK) praktički je nemoguća. Apsorbirana doza u vodi za LGK u praksi se određuje mjerenjem u centru plastičnog sferičnog fantoma promjera 16 cm. Osim standardnog plastičnog fantoma (ABS – akrilonitril butadin stiren) kojeg isporučuje proizvođač uređaja (Elekta AB, Stockholm, Švedska), mnogi LGK centri koriste sferične fantome i drugih proizvođača [2]. Izmjerena brzina doze u plastičnom fantomu koristi se u GKRR za izračun terapijske doze, a računalni sustav za planiranje radiokirurškog postupka Leksell Gamma Plan (LGP, Elekta AB, Stockholm, Švedska) uzima tu vrijednost kao brzinu doze izmjerenu u vodi na dubini 8 cm. Iako bi zbog razlike u sastavu i gustoći materijala plastičnih fantoma u odnosu na vodu, izmjerenu dozu  $D_{pl}$  u plastičnom fantomu trebalo preračunati na vrijednost doze u vodi  $D_w$ , u mnogim radiokirurškim centrima ta se razlika zanemaruje, što je izvor pogrešaka u izračunu terapijske doze [3]. U ovom radu izmjerena je brzina apsorbirane doze  $D'_{pl}$  u centru tri različita plastična fantoma promjera 16 cm: ABS, polimetil-metakrilat (PMMA, PTGR GmbH, München, Njemačka) i PMMA+politetrafluoretilen (PMMA+teflon).

Izmjerena brzina doze  $D'_{pl}$  preračunata je na brzinu doze u vodi  $D'_w$  primjenom metode korekcije atenuacije fotona uz pretpostavku da apsorbirana doza u vodi i plastici opada eksponencijalno s dubinom.

Ekvivalentna dubina u vodi ( $EWD$ ) za različite plastične fantome izračunata je pomoću relativnih elektronskih gustoća materijala.

### MATERIJAL I METODE

$D'_{pl}$  je izmjerena cilindričnom ionizacijskom komoricom tipa Semiflex s aktivnim mjernim volumenom  $0,125 \text{ cm}^3$  uz pomoć elektrometra UNIDOS-E (PTW, Freiburg, Njemačka), uz primjenu fotonskog snopa od 201 izvora  $^{60}\text{Co}$ , kolimiranog 18 mm kolimatorom LGK uređaja od 18 mm. Mjerenje je izvedeno u centru tri različita sferična plastična fantoma promjera 16 cm (dubina 8 cm): ABS, PMMA i PMMA uz dodatak sferne teflonske ljuske debljine 5 mm koja svojom elektronskom gustoćom simulira kosti glave (Slika 1).



Slika 1. Plastični fantomi u položaju za mjerenje:  
a) ABS, b) PMMA, c) PMMA+teflon

Ionizacijska komorica kalibrirana je na apsorbiranu dozu u vodi prema protokolu TRS-398, u dozimetrijskom laboratoriju proizvođača (kvaliteta zračenja  $^{60}\text{Co}$ , faktor korekcije kvalitete zračenja  $k_{Q,Q_0} = 1$ ). Zbog geometrije fotonskih snopova pomak efektivne točke mjerenja ionizacijske komorice u ovom radu nije uziman u obzir. Brzina doze mjerena je 10 puta za svaki fantom s mjernim intervalom 10 minuta uz položaj komorice duž z-osi LGK uređaja (Slika 1).

Izmjerena brzina doze  $D'_{pl}$  preračunata je na brzinu doze u vodi  $D'_w$  primjenom metode korekcije atenuacije fotona uz pretpostavku da doza  $D(x)$  u vodi i plastici opada eksponencijalno s dubinom (1).

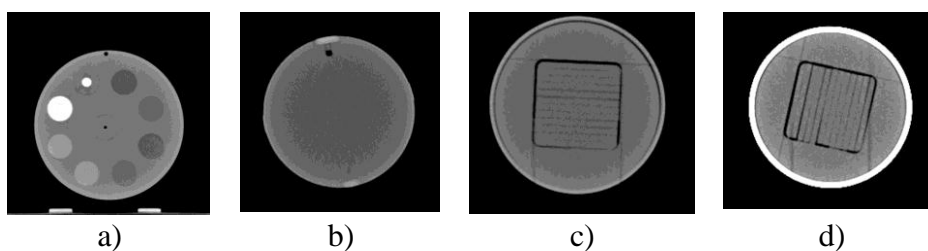
$$D(x) = D_0 e^{-\mu_w x} \quad (1)$$

gdje je  $\mu_w$  efektivni atenuacijski koeficijent fotonskog snopa u vodi za LGK uređaj ( $\mu_w = 0,0621 \text{ cm}^{-1}$ ) [3], a  $D_0$  je konstanta.

Ekvivalentna dubina u vodi ( $EWD$ ) za različite plastične fantome izračunata je pomoću relativnih elektronskih gustoća materijala od kojih su fantomi izrađeni (2) [4].

$$EWD = \sum_i L_i (\rho_{e,rel})_i \quad (2)$$

gdje je  $L_i$  duljina prolaska fotonskog snopa, a  $(\rho_{e,rel})_i$  relativna elektronska gustoća materijala  $i$ . Relativne elektronske gustoće plastičnih fantoma izračunate su iz vrijednosti njihovih brojeva kompjutorizirane tomografije (CT-broj). Odnos CT-broj – elektronska gustoća određen je mjerenjem CT-broja za različite materijale poznate elektronske gustoće u referentnom fantomu (Electron Density Reference Phantom Model 062, CIRS, Norfolk, SAD) [5]. CIRS fantom i plastični dozimetrijski fantomi za te su potrebe skenirani CT uređajem (SIEMENS Somatom Sensation Open), uz parametre skeniranja: debljina aksijalnih slojeva 2 mm, napon rendgenske cijevi 120 kV, struja katode 130 mA, rezolucija dobivenih CT slojeva  $512 \times 512$  piksela (Slika 2).



Slika 2. Aksijalni CT slojevi fantoma:  
a) CIRS, b) ABS, c) PMMA, d) PMMA+teflon

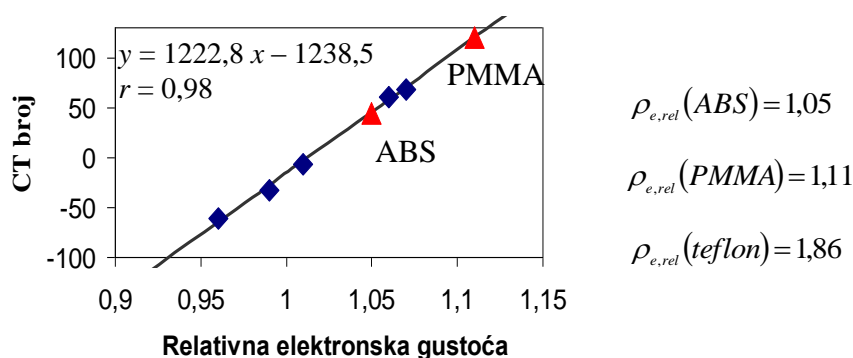
Brzina doze u vodi  $D'_w$  na referentnoj dubini 8 cm izračunata je iz brzine doze u plastičnom fantomu  $D'_{pl}$  na referentnoj dubini 8 cm, koja odgovara  $D'_w(EWD)$  (3,4).

$$D'_{pl}(8\text{cm}) = D'_w(EWD) \quad (3)$$

$$D'_w(8\text{cm}) = D'_w(EWD) e^{-\mu_w(8\text{cm}-EWD)} \quad (4)$$

## REZULTATI

Linearnom regresijom određen je odnos CT-broj – relativna elektronska gustoća (Slika 3).



Slika 3. Linearni odnos CT-broj – relativna elektronska gustoća. Plavi kvadrati predstavljaju 5 tkivo-ekvivalentnih umetaka u CIRS fantomu, koji određuju pravac linearne regresije  $y = 1222,8x - 1238,5$  pomoću kojeg je izračunata relativna elektronska gustoća ABS, PMMA fantoma i teflona.

Izmjerena brzina doze u plastičnom fantomu na referentnoj dubini 8 cm, te preračunata vrijednost brzine doze na referentnoj dubini 8 cm u vodi prikazana je u Tablici 1 zajedno sa *EWD* vrijednostima za pojedine fantome.

Tablica 1. Brzina doze u vodi na dubini 8 cm izračunata je korekcijom atenuacije fotona prema ekvivalentnoj dubini u vodi za svaki fantom

Fantom, dub. L (cm)	$D'_{pl}(8\text{ cm})$ (Gy/min)	<i>EWD</i> (cm)	$D'_w(8\text{ cm})$ (Gy/min)	$(D'_w - D'_{pl})/D'_w$ (%)
ABS 8 cm	3,312	8,400	3,395	2,52
PMMA 8 cm	3,129	8,880	3,305	5,62
PMMA 7,5 cm teflon + 0,5 cm	3,064	9,255	3,312	8,11

Relativna elektronska gustoća ljudskog mozga odgovara vodi, a za kosti lubanje odgovara teflonu, pa uz prosječnu debljinu frontalne, temporalne i okcipitalne kosti lubanje od 0,6 cm [6], *EWD* za mozak s kostima lubanje približno odgovara ABS fantomu (Tablica 2).

Tablica 2. EWD za mozak s kostima lubanje približno odgovara ABS fantomu, razlika u  $D'_w(8\text{ cm})$  1,5 %

		$D'_{pl}(8\text{cm})\text{-ABS}$ (Gy/min)	EWD (cm)	$D'_w(8\text{ cm})$ (Gy/min)
<b>Fantom</b>	ABS 8cm	3,312	8,400	3,395
<b>Mozak + kosti</b>	Voda 7,4 cm teflon + 0,6 cm	3,312	8,516	3,342

## ZAKLJUČAK

Apsorbirana doza mjerena je za LGK uređaj u standardnim komercijalno dostupnim fantomima i preračunata na vrijednosti u vodi primjenom korekcije atenuacije fotonskog snopa. Izmjerene vrijednosti veće su od ekvivalentnih vrijednosti u vodi za istu dubinu, posebno za PMMA fantom s teflonskom ljuskom (ABS 2,5 %, PMMA 5,6 %, PMMA+teflon 8,1 %). Preračunate doze u vodi imaju konzistentnije vrijednosti (maksimalna razlika 2,6 %). EWD mozga i kosti lubanje približno odgovara EWD ABS fantoma (razlika ekvivalentne doze u vodi 1,5 %), stoga je primjena ABS fantoma klinički najprihvatljivija. Obzirom da mnogi radiokirurški centri koriste različite fantome, određivanje doze u vodi metodom korekcije atenuacije fotonskog snopa predstavlja korisnu metodu za smanjivanje sustavne pogreške koja se pojavljuje zbog različitih materijala od kojih su fantomi izrađeni.

## LITERATURA

- [1] 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. Technical Reports Series No. 398. Vienna, IAEA; 2000.
- [2] Mack A, Mack G, Hones A, et al. Quality assurance in stereotactic space. Determination of the accuracy of aim and dose in single dose radiosurgery. *Strahlenther Onkol* 1999;179:760-766.
- [3] Chung HT. Application of IAEA TRS-398 protocol to Gamma Knife model C. *J Korean Med Phys* 2007; 18:194-201.
- [4] Seco J, Evans PM. Assessing the effect of electron density in photon dose calculations. *Med Phys* 2006; 33:540-552.
- [5] Battista JJ, Rider WD, Van Dyk J. Computed tomography for radiotherapy planning. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 1980; 6:99-107.
- [6] Hwang K, Kim JH, Baik SH. The thickness of the skull in Korean adults. *J Craniofac Surg* 1999;10:395-399.

## DETERMINATION OF ABSORBED DOSE TO WATER FOR LEKSELL GAMMA KNIFE UNIT

*Hrvoje Hršak*

Department of Oncology and Radiotherapy,  
University Hospital Centre Zagreb, Zagreb, Croatia  
[hhrsak@gmail.com](mailto:hhrsak@gmail.com)

Because of geometry of photon beams in Leksell Gamma Knife Unit (LGK), there are several technical problems in applying standard protocols for determination of absorbed dose to water ( $D_w$ ). Currently,  $D_w$  in LGK unit, measured at the center of spherical plastic phantom, is used for dose calculation in LGK radiosurgery. Treatment planning software (LGP TPS) accepts this value as a measurement in water and since plastic phantom has higher electron density than water, this leads to systematic errors in dose calculation. To reduce these errors, a photon attenuation correction (PAC) method was applied. For that purpose, measurements of absorbed dose in a center of three different plastic phantoms with 16 cm diameter (ABS – acrylonitrile butadiene styrene, PMMA – polymethyl metacrylate, PMMA + teflon - polytetrafluoroethylene 5 mm shell) were made with ionization chamber (Semiflex, PTW Freiburg). For measured dose values, PAC to water was applied based on electron density ( $ED$ ) and equivalent water depths ( $EWD$ ) of the plastic phantoms. The relation between CT number and  $ED$  was determined by measuring CT number of standard CT to ED phantom (CIRS Model 062 Phantom). Absorbed dose in plastic phantoms was 2.5 % lower than calculated dose in water for ABS phantom and more than 5.5 % lower for PMMA and PMMA+teflon phantom. Calculated dose in water showed more consistent values for all three phantoms (max. difference 2.6 %).  $EWD$  for human cranial bones and brain has value close to the  $EWD$  of ABS phantom, which makes this phantom most suitable for dose measurements in clinical application. In LGK radiosurgery determination of errors related to the difference of phantom materials should not be neglected and measured dose should be corrected before usage for patient treatment dose calculation.