

OSNOVNE PREPORUKE ZA DOZIMETRIJU X-ZRAČENJA 40 kV — 40 MV, γ -ZRAČENJA ^{60}Co I ^{137}Cs I ELEKTRONA 4 — 40 MeV*

BASIC RECOMMENDATIONS FOR THE DOSIMETRY OF 40 kV — 40 MV X-RAYS, ^{60}Co AND ^{137}Cs γ -RAYS AND 4 — 40 MeV ELECTRONS

Andrić S, Bistović M, Cevc P, Spasić V, Vujnić V

Abstract — The equipment and procedures are recommended for obtaining an accuracy of $\pm 3,5\%$ (1σ) while determining the absorbed dose in radiotherapy. Recommendations touch the following points: the calibration of the dosimeter, the experimental arrangement, the correction and conversion factors, the definition and determination of the beam quality. The conditions of the quality assurance are summarized.

UDC: 615.849.5

Key words: radiotherapy, X-rays, dosimetry

Profess paper

Radiol Jugosl 1989; 23: 403—9

Uvod — Pridržavajući se preporuka koje slede, bit će, u svim našim radioterapijskim centrima, ostvareni preduslovi određivanja apsorbirane doze (u daljem tekstu — doze) mernom nesigurnosti $\pm 3,5\%$ (1σ). U ovim preporukama predlaže se:

1. Rečnik oznaka i mernih parametara
2. Izbor i kalibracija dozimetra
3. Određivanje jačine ekspozicije
4. Specifikacija i određivanje kvaliteta zračenja
5. Dokumentacija i provera uređaja za zračenje

1. Rečnik oznaka i mernih parametara

Posebne merne jedinice:

[j] — sekund, minut ili čas kod rendgenskih uređaja i uređaja za γ -zračenje: monitorski impuls kod akceleratora

[kg] — kilogram vazduha
 [u] — proizvoljne jedinice očitavanja na dozimetru

Ostale oznake:

C [J C^{-1}] — konverzioni faktori za komoru datu u tabeli 1 i izračunati u tabeli 4; primena u izrazu (6); C_x — za X-zračenje 40—300 kV; C_γ — za γ -zračenje; C_x — za X-zračenje ≥ 1 MV; C_e — za elektrone
 $\dot{D}(d)$ [Gy j^{-1}] — jačina doze na dubini d, na osi snopa u vodi; računa se izrazom (7)
 \dot{D}_m [Gy j^{-1}] — maksimalna jačina doze: $\dot{D}_m \equiv D(d_m)$; računa se izrazom (6)
 d [cm] — dubina na osi snopa u fantomu; sa brojnim indeksom, npr. d_{50} , podrazumeva dubinu na kojoj je PDD (d) = 50 %
 d_m [cm] — dubina d smeštaja komore, na kojoj X ima maksimum u odnosu na ostale dubine duž ose snopa; $d_m \equiv d_{100}$; $d_m(^{137}\text{Cs}) = 0,12$ cm; $d_m(^{60}\text{Co}) = 0,5$ cm
 $d_{m,p}$ [cm] — d_m u PMMA- fantomu; $d_{m,p} = 0,88 d_{m,v}$

* Predloženi tekst pripremila je tokom 1986—1988. godine Radna grupa Komisije za kliničku dozimetriju pri Saveznom zavodu za mere i dragocene metale. Komisiji i Radnoj grupi predsedavao je dr. P. Cevc.

$d_{m, v}$ [cm]	— d_m u vodenom fantomu	zračenja: $f_r = 1 + w/3$, a u akcelerator- skim snopovima: $f_r = 1 + w$;
d_p [cm]	— praktični domet elektrona u vodi; vidi definiciju na slici 2	ako je $f_r > 1,05$, komora nije po- godna za merenje u datom snopu
d_{ref} [cm]	— referentna dubina u vodi, na osi snopa γ - i X-zračenja; vidi defini- ciju u tabeli 2	ili je radni napon U preizak
E_0 [MeV]	— srednja energija upadnih elek- trona na površini vodenog fan- toma; računa se izrazom (4)	k [$\text{C kg}^{-1} \text{u}^{-1}$] — kalibracioni faktor komore, određuje se izrazom (1)
E_d [MeV]	— srednja energija elektrona na dubini d u vodenom fantomu; računa se izrazom (5)	\dot{M} [u j^{-1}] — prirast očitavanja po jedinici [j] na dozimetru; sa indeksom, npr. \dot{M}_{10} podrazumeva \dot{M} sa komorom smeštenom na dubinu $d = 10 \text{ cm}$ u vodi
F [cm]	— rastojanje od tačke P_{ef} komore do fokusa, duž ose snopa	\dot{M}_{kor} [u j^{-1}] — \dot{M} korigovano: $\dot{M}_{kor} = \dot{M} f_{p, t} f_a f_r$
FFD [cm]	— rastojanje od površine fantoma do fokusa, duž ose snopa	NAP [MV] — nominalni akceleracioni potenci- jal; definicija NAP putem TFO_{10}^{20} data je u tabeli 4
FKD [cm]	— fokusno-kožna distanca; rasto- janje od površine kože bolesnika do fokusa, duž ose snopa	PDD(d) [%] — procenat dubinske doze na du- bini d u vodi; $\text{PDD}(d_m) = 100\%$; graf ove funkcije je — kriva PDD; tabelarni prikaz funkcije su — ta- bele PDD
FPR	— faktor povratnog rasejanja; dat je u tabeli 3 radi primene u izrazima (3a) i (3b)	P_{ef} — efektivna merna tačka cilindrične komore; u snopu X-zračenja 40—300 kV, P_{ef} je u centru ko- more, na njenoj uzdužnoj osi, okomitoj na osu snopa; u snopu γ -zračenja, X-zračenja 1—40 MV i elektrona, P_{ef} je od ose komore pomaknut za $R/2$ u smeru fokusa
FPV [mm Al] ili [mm Cu]	— filtarska poluvrednost X-zrače- nja; debljina aluminijskog ($\leq 100 \text{ kV}$) ili bakarnog (100—300 kV) atenuatora (ap- sorbera) koja jačinu ekspozicije uskog snopa u vazduhu uma- njuje na 50 % vrednosti u tački udaljenoj od atenuatora	PMMA — polimetil-metakrilat, perspeks, lucit, pleksigals
f_a	— faktor atenuacije u zidu cilin- drične komore; primenjuje se kod X-zračenja 40—100 kV, a u su- protnom se stavlja $f_a = 1$; vred- nosti f_a mere sa upoređivanjem s tankozidnom komorom; vred- nosti f_a za komoru predviđenu ovim preporukama date su u ta- beli 1; ako je $f_a > 1,05$, komora nije pogodna za merenje u datom snopu	R [mm] — spoljašnji radijus komore
$f_{p, t}$	— faktor korekcije na vazdušni pri- stisak p [mbar] i temperaturu t [$^{\circ}\text{C}$] mernog ambijenta; izračunava se izrazom	TFO_{10}^{20} — tkivno-fantomni odnos, para- metar kvaliteta X-zračenja 1—40 MV; sa nepromenjenim po- ložajem komore, $F = \text{konst.}$, meri se \dot{M}_{10} i \dot{M}_{20} ; dubina $d = 10 \text{ cm}$ i $d = 20 \text{ cm}$ postiže se pomica- njem vodenog fantoma na $\text{FFD} =$ $= F - 10 \text{ cm}$ i $\text{FFD} = F - 20 \text{ cm}$; veličina polja je $10 \times 10 \text{ cm}^2$ na distanci F od fokusa; računa se izrazom $\text{TFO}_{10}^{20} = \dot{M}_{20} / \dot{M}_{10}$
f_r	— faktor rekombinacije; primenjuje se kod merenja vrlo velikih jačina ekspozicije ($> 0,003 \text{ C kg}^{-1} \text{s}^{-1}$) i u akceleratorskom snopu, ako do- zimetar ima mogućnost promene radnog napona U ; u suprotnom se stavlja $f_r = 1$; računa se po- moću parametra $w = M_U / M_{U/2} - 1$, gde su M_U i $M_{U/2}$ — očitavanja kod napona U , odnosno $U/2$; u snopu X-zračenja 40—300 kV i γ -	\dot{X} [$\text{C kg}^{-1} \text{j}^{-1}$] — jačina ekspozicije u mernoj tački; određuje se izrazom (2)
	$f_{p, t} = \frac{273,16 + t}{293,16} \frac{1013}{p}$	\dot{X}_m [$\text{C kg}^{-1} \text{j}^{-1}$] — maksimalna vrednost jačine eks- pozicije duž ose snopa, na dubini d_m ; određuje se izrazima (3)
		Odgovarajuće engleske kratice i termini
		FFD FPD: focus-phantom distance
		FKD FSD: focus-skin distance
		FPR BSF: back-scatter factor
		FPV HVL: half-value layer
		PDD PDD: percent-depth dose
		NAP NAP: nominal accelerating poten- tial
		TFO_{10}^{20} TPR_{10}^{20} : tissue-phantom ratio

2. Izbor i kalibracija dozimetra — Osnovni merni instrument za određivanje ekspozicije je dozimetar koji se sastoji od

— vazdušne jonizacione komore (dalje: komore),

— elektrometra i

— etalonskog radioaktivnog izvora.

Za merenje ekspozicije primenjuju se tan-kozidne komore u snopovima X-zračenja 40—100 kV (8), planparalelne komore u snopovima elektrona 4—15 MeV (1, 8, 11) i cilindrične komore (naprstak-komore) u snopovima X-zračenja 40 kV—40 MV, γ -zračenja ^{60}Co i ^{137}Cs i elektrona 4—40 MeV (1, 5, 6, 8, 10). Cilindrična komora predviđena za merenje opisana u ovim preporukama mora udovoljavati propisima (13, 14) a njene karakteristike (2, 12) date su u tabeli 1.

Elektrometar je instrument za merenje količine naboja disociranog jonizacijom u efektivnoj zapremini komore. Elektrometar treba zasebno kalibrirati u slučajevima kada je komora kalibrirana odvojeno od elektrometra.

Etalonski radioaktivni izvor (obično ^{90}Sr) primenjuje se za proveru vremenske stabilnosti dozimetra, tako da očitavanje za datu referentnu ekspoziciju varira u granicama ne većim od 0,5% tokom jedne godine.

Spoljašnja dužina	25,8 mm
Spoljašnji dijametar (2R)	7,0 mm
Unutrašnja dužina	24,1 mm
Unutrašnji dijametar	6,3 mm
Merni volumen	0,63 cm ³
Zid komore	čisti grafit
Debljina zida	0,065 g cm ⁻²
Bildap-kapa	PMMA
Debljina bildap-kape	0,465 g cm ⁻²
Maksimalni radni napon	400 V
Sadržaj komore	vazduh pod atmosferskim pritiskom, vlažnosti 30—70%

faktor atenuacije	f_a
FPV [mmAl]	f_a
1,0	1,052
1,5	1,035
2,0	1,026
4,0	1,013
5,0	1,010
10,0	1,000

Tabela 1 — Karakteristike cilindrične jonizacione komore (2, 12)

U radioterapiji se jačina ekspozicije \dot{X} određuje samo kalibriranim dozimetrom. Kalibracija je postupak određivanja kalibracionog faktora dozimetra i vrši se neposrednim upoređivanjem dozimetra sa etalonom koji može biti

primaran (upoređuje se u primarnoj etalonskoj laboratoriji), sekundaran (upoređuje se u sekundarnoj etalonskoj laboratoriji) ili radni (upoređuje se u radioterapijskom centru) (7). Radni etalon je dozimetar, kalibriran pomoću sekundarnog etalona, a njime se kalibrišu ostali klinički dozimetri. Radni etalon treba da bude kalibriran svake dve godine (13), a ostali klinički dozimetri češće.

Kalibracioni faktor nekog kliničkog dozimetra određuje se izrazom

$$k = \frac{\dot{X}_e}{\dot{M}_{kor}}, \quad (1)$$

gde je \dot{X}_e jačina ekspozicije u mernoj tački određena radnim etalonom. Dozimetar se kalibriše prema vrsti zračenja koje će njime biti mereno:

— za merenje X-zračenja 40—300 kV kalibriše se u vazduhu,

— za merenje γ -zračenja ^{60}Co i ^{137}Cs , X-zračenja 1—40 MV i elektrona 4—40 MeV kalibriše se u vazduhu, a ako se dijametri komora ne razlikuju za više od 15% može se kalibrirati u vodi ili PMMA

Kalibracioni faktori se sa sekundarnog etalona na radni etalon moraju preneti mernom nesigurnosti od 1% (1σ), a na ostale dozimetre mernom nesigurnosti od 2% (1σ).

3. Određivanje jačine ekspozicije — Pre merenja dozimetrom treba da prođe izvesno vreme da bi instrument i merni fantom dostigli termičku ravnotežu sa mernim ambijentom. Merni (vodeni ili PMMA) fantom treba da bude dovoljno velik, da izvan polja zračenja i iza komore uvek bude još 5 cm fantomnog medijuma.

Jačina ekspozicije u maksimumu \dot{X} uvek se određuje u nekoj mernoj tački u vazduhu, vodi ili PMMA, u koju treba smestiti komoru tokom merenja. Komora u toku merenja treba da bude smeštena tako da P_{ef} komore bude u mernoj tački. Jačina ekspozicije \dot{X} u mernoj tački, kada se komora ukloni, određuje se izrazom

$$\dot{X} = k \dot{M}_{kor} \quad (2)$$

Maksimalna jačina ekspozicije \dot{X}_m određuje se na sledeći način. Najpre će se odrediti \dot{X} u mernoj tački definisanom standardnom geometrijom, zavisno o tipu i kvalitetu zračenja, a potom će se izračunati \dot{X}_m ovako:

A) za X-zračenje 40—300 kV odredi \dot{X} prema tabeli 2 (slučaj a) i slici 1a i izračunaj

$$\dot{X}_m = \dot{X} \text{FPR} [(FKD + R/2)/FKD]^2, \quad (3a)$$

gde su vrednosti FPR date u tabeli 3, a kvadratni izraz predstavlja korekciju zbog nezanemarljivih dimenzija komore;

B) za γ -zračenje, X-zračenje 1—40 MV i elektrone:

— ako se \dot{X} određuje u mernoj tački u vazduhu prema tabeli 2 (slučaj b) i slici 1b, tada izračunaj

$$\dot{X}_m = \dot{X} \text{ FPR}, \quad (3b)$$

gde su vrednosti FPR date u tabeli 3;

— ako je \dot{X} određen na dubini d_{ref} u vodenom fantomu prema tabeli 2 (slučaj b, c i d) i slici 1c, tada izračunaj:

$$\dot{X}_m = \dot{X} \frac{100}{\text{PDD}(D_{ref})}, \quad (3c)$$

— ako je \dot{X} određen na dubini d_m u vodenom ili PMMA-fantomu prema tabeli 2 (slučaju d, e i f) i slici 1d i 1e, tada je

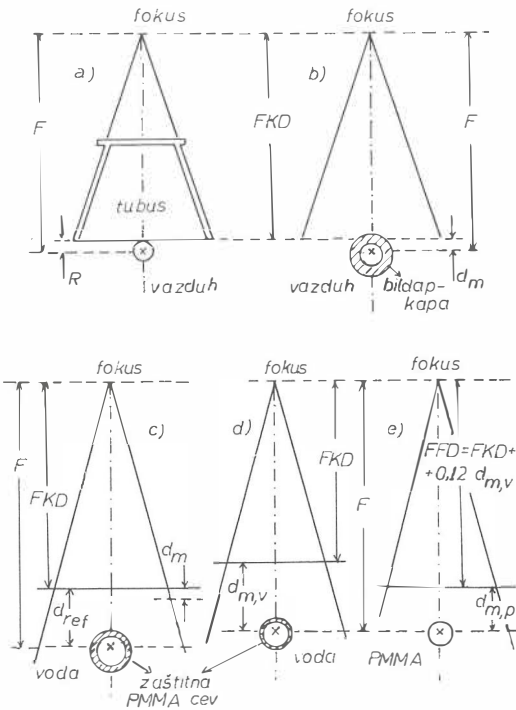
$$\dot{X}_m \equiv \dot{X} \quad (3d)$$

Tip zračenja	Medijum		
	vazduh	voda	PMMA
a) X-zračenje 40—300 kV	$F = \text{FKD} + R/2$ (slika 1a)	—	—
b) γ -zračenje i X-zračenje 1—3 MV	$F = \text{FKD} + d_m$ (slika 1b)	$d_{ref} = 5 \text{ cm}$ (slika 1c)	—
c) X-zračenje 3—10 MV	—	$d_{ref} = 7 \text{ cm}$ (slika 1c)	—
d) X-zračenje 10—40 MV	—	$d_{ref} = 10 \text{ cm}$ (slika 1c) ili $d_{m,v}$ (slika 1d)	$d_{m,p} = 0,88 d_{m,v}$ $\text{FFD} = \text{FKD} + 0,12 d_{m,v}$ (slika 1e)
e) elektroni 4—20 MeV	—	$d_{m,v}$ (slika 1d)	$d_{m,p} = 0,88 d_{m,v}$ $\text{FFD} = \text{FKD}$ (slika 1e)
f) elektroni 20—40 MeV	—	$d_{m,v}$ (slika 1d)	$d_{m,p} = 0,88 d_{m,v}$ $\text{FFD} = \text{FKD} + 0,12 d_{m,v}$ (slika 1e)

Tabela 2 — Smeštaj komore kod standardne geometrije merenja

Kvalitet snopa	Dijametar kružnog polja				
	3 cm	5 cm	10 cm	20 cm	30 cm
FPV [mm Al]					
0,5	1,06	1,07	1,08	1,17	
1,0	1,10	1,13	1,16	1,18	
1,5	1,12	1,16	1,20	1,25	
2,0	1,14	1,19	1,24	1,30	
3,0	1,16	1,22	1,29	1,36	
4,0	1,17	1,23	1,33	1,41	
FPV [mm Cu]					
0,25	1,17	1,23	1,33	1,41	
0,5	1,19	1,24	1,36	1,46	
1,0	1,15	1,20	1,34	1,46	
2,0	1,12	1,16	1,27	1,39	
3,0	1,10	1,13	1,22	1,32	
4,0	1,08	1,10	1,18	1,26	
^{137}Cs	1,02	1,02	1,04	1,06	1,08
^{60}Co i X-zračenje 1—3 MV	1,01	1,02	1,03	1,06	1,08

Tabela 3 — Faktor povratnog rasejanja, FPR, za razne kvalitete zračenja. Tabela izrađena na osnovu (3, 4, 8, 9)



Slika 1 — Standardna geometrija. Križićem (x) je označena tačka P_{ef} — efektivna merna tačka komore. a) X-zračenje 40—300 kV; komora u vazduhu, tik do tubusa. b) γ -zračenje i X-zračenje 1—3 MV; komora sa bildap-kapom namenjenom za mereni tip zračenja. c) γ -zračenje i X-zračenje 1—40 MV; komora je na dubini d_{ref} u vodi i u zaštitnoj PMMA-cevi. d) X-zračenje 10—40 MV i elektroni 4—40 MeV; komora je na dubini d_m u vodi i zaštićena PMMA-cevi. e) X-zračenje 10—40 MV i elektroni 4—40 MeV; kad je $d_{m,v} > 2$ cm treba izvršiti korekciju na elektronsku gustinu PMMA, $d_{m,p} = 0,88 d_{m,v}$, kod čega F zadržava istu vrednost kao kod merenja u vodi (uporedi sa slikom d); zbog toga je $FFD = FFKD + 0,12 d_{m,v}$.

4. Specifikacija i određivanje kvaliteta zračenja — Kvalitet snopa X-zračenja 40—300 kV specifikuje se (8) naponom na rendgenskoj cevi, sveukupnom filtracijom i prvom filtarskom poluvrednosti (FPV).

Kvalitet snopa γ -zračenja specifikuje se imenom radionuklida. ^{137}Cs emitira fotone energije 0,662 MeV, a ^{60}Co fotone srednje energije 1,25 MeV.

Kvalitet snopa X-zračenja 1—40 MV specifikuje se (1, 8) parametrom tkivno-fantomnog odnosa TFO_{10}^{20} i nominalnim akcelerationim potencijalom NAP. Međuzavisnost ova dva parametra data je u tabeli 4.

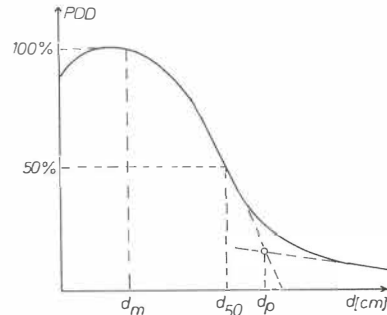
Kvalitet elektronskog snopa specifikuje se (1, 8) vrednostima srednje energije elektrona duž ose snopa u vodi. Srednje energije elektrona

izračunavaju se pomoću grafički definisanih parametara funkcije PDD (d) (slika 2). Srednja energija upadnih elektrona je

$$E_0 = 2,33 d_{50} \quad (4)$$

a srednja energija elektrona na dubini d u vodi

$$E_d = E_0(1 - d/d_p) \quad (5)$$



Slika 2 — Grafički prikaz funkcije PDD(d) — kriva PDD. Definicija parametara d_m , d_{50} i d_p .

5. Određivanje jačine doze u vodi — jačina doze u maksimumu \dot{D}_m računa se izrazom

$$\dot{D}_m = \dot{X}_m C \quad (6)$$

Konverzioni faktor C, sem kvaliteta zračenja, uračunava i perturbaciju usled prisustva komore i određuje se pomoću table 4, zavisno o medijumu u kome se nalazi merna tačka: C_x , C_x i C_y prema specifikovanom kvalitetu snopa, a C_e prema srednjoj energiji elektrona u mernoj tački.

Jačina doze duž ose snopa $\dot{D}(d)$ data je izrazom

$$\dot{D}(d) = \dot{D}_m \frac{PDD(d_{ref})}{100} \quad (7)$$

Funkcija PDD(d) može da se odredi merenjem u vodenom fantomu ili se koriste table PDD date u priručnicima (3, 4, 9).

6. Dokumentacija i provera uređaja za zračenje — Za radioterapijsku primenu, potrebno je na osnovu mernih podataka pripremiti kliničku dokumentaciju uređaja: table vrednosti \dot{D}_m (ili \dot{D}_m^{-1} [J Gy^{-1}]) i table PDD za izvestan broj klinički primenjivanih snopova. Tabelarni prikaz mora omogućiti da se podaci za ostale snopove mogu tačno izračunati interpolacijom. Table PDD dobivaju se merenjem, ili se, za X-

X-zračenje (kV)		C_x (voda)	
FPV			
0,5 mm Al		34,5	
1 mm Al		34,1	
2 mm Al		33,7	
4 mm Al		33,7	
0,3 mm Cu		34,1	
0,5 mm Cu		34,5	
1 mm Cu		35,3	
1,5 mm Cu		36,1	
2 mm Cu		36,4	
3 mm Cu		36,8	
4 mm Cu		37,2	
γ -zračenje		TFO_{10}^{20}	C_γ (PMMA)
^{137}Cs		—	37,5
^{60}Co		0,53	37,4
X-zračenje (MV)		TFO_{10}^{20}	C_γ (PMMA)
NAP			
4 MV		0,65	37,3
6 MV		0,70	37,2
8 MV		0,73	37,0
10 MV		0,75	36,9
15 MV		0,77	36,6
20 MV		0,80	36,2
25 MV		0,82	36,0
35 MV		0,83	35,8
45 MV		0,84	35,6
elektroni		C_x (voda)	C_γ (PMMA)
E_d			
2 MeV		34,2	34,1
2,5 MeV		34,1	34,0
3 MeV		33,9	33,8
4 MeV		33,7	33,5
5 MeV		33,3	33,2
6 MeV		33,1	32,8
8 MeV		32,8	32,6
10 MeV		32,7	32,5
12 MeV		32,5	32,4
16 MeV		32,1	32,0
20 MeV		31,8	31,7
25 MeV		31,6	31,5
30 MeV		31,2	31,1
35 MeV		31,0	30,9

Tabela 4 — Vrednosti C-faktora [J C^{-1}], za komoru datu tabelom 1, izračunate na osnovu (1, 5), a vrednosti TFO_{10}^{20} i NAP određene prema (1)

-zračenje 40—300 kV i γ -zračenje, mogu upotrebiti prethodno proverene tabele iz priručnika (3, 4, 9).

Radi obezbeđenja zahtevane merne nesigurnosti, potrebno je povremeno proveravati ravnomernost poprečne raspodele doze (jednom mesečno) i vremensku stabilnost vrednosti \dot{D}_m te kvaliteta zračenja (jednom sedmično) u nekoliko referentnih snopova. Kod ^{60}Co i ^{137}Cs uređaja proverava se samo poprečna raspodela doze (jednom godišnje) uz uslov da se tabele vrednosti \dot{D}_m koriguju na radioaktivni raspad u vremenskim razmacima od cca 0,01 $T_{1/2}$ ($T_{1/2}(^{60}\text{Co}) = 5,26 \text{ g}$; $T_{1/2}(^{137}\text{Cs}) = 30 \text{ g}$). Merenja prilikom provera beleže se u dnevnik radi lakšeg uočavanja promena rada uređaja, a vrše se na sledeći način.

Poprečna raspodela doze može se proveriti bilo merenjem ekspozicije u ravni maksimuma doze, bilo denzitometriranjem prethodno eksponovanog filma. Film se eksponuje u PMMA-fantomu, u ravni maksimuma doze. Kod snopova X-zračenja 1—40 MV i γ -zračenja, uglovi svetlosne simulacije snopa se markiraju probadanjem filma ili drugačije. Doza se proverava u dva okomita smera, od kojih je jedan paralelan osi rotacije uređaja. U terapijski primenjivanom delu snopa, doza prema rubovima snopa ne sme da padne za više od 5% u odnosu na dozu u osi, a u tačkama simetričnim obzirom na osu snopa ne smeju se razlikovati za više od 3%. U snopovima X-zračenja 1—40 MV i γ -zračenja, doza na rubovima svetlosne simulacije mora biti $50 \pm 5\%$ one na osi snopa.

Stabilnost vrednosti \dot{D}_m i kvaliteta snopa može se proveriti u PMMA-fantomu, merenjem na osi snopa u dve dubine $d_A \geq d_m$ i $d_B > d_A$ tako da je $\dot{D}(d_B)/\dot{D}(d_A) \leq 0,75$.

Merene jačine ekspozicija upoređuju se sa onima koje su dobijene prilikom kalibracije uređaja pod potpuno identičnim uslovima, a odstupanje ne sme biti veće od 2%.

Pokažu li se odstupanja većim od dopuštenih, potrebno je tehnički proveriti i doterati uređaj, a potom izvršiti novu kalibraciju i obnoviti kliničku dokumentaciju.

Sažetak

Preporučeni su oprema i postupci radi postizanja merne nesigurnosti od $\pm 3,5\%$ kod određivanja apsorbirane doze u radioterapiji. Preporuke dotiču sledeća pitanja: kalibracija dozimetra, eksperimentalni razmeštaji, korekcion i konverzioni faktori, definicija i određivanje kvaliteta snopa. Ukratko su pobrojani uvjeti za obezbeđenje kvaliteta radioterapije.

Reference

1. AAPM (1983): A protocol for the determination of absorbed dose from high-energy photon and electron beams. *Med. Phys.* 10: 741—771.

2. Aird EG i Farmer FT (1972): The design of a thimble chamber for the Farmer dosimeter. *Phys. Med. Biol.* 17: 169—174.

3. British Journal of Radiology (1972): Central axis depth dose data for use in radiotherapy, Supplement 11.

4. British Journal of Radiology (1983): Depth dose tables for use in radiotherapy, Supplement 17.

5. HPA (1983): Revised code of practice for the dosimetry of 2 to 35 MV X-ray, and Caesium-137 and Cobalt-60 gamma-ray beams. *Phys. Med. Biol.* 28: 1097—1104.

6. HPA (1985): Code of practice for electron beam dosimetry in radiotherapy. *Phys. Med. Biol.* 30: 1169—1194.

7. IAEA (1979): Calibration of dose meters used in radiotherapy, TRS No. 185, Vienna.

8. IAEA (1987): Absorbed dose determination in photon and electron beams. An international code of practice, TRS No. 277, Vienna.

9. Johns HE i Cunningham JR (1983): The physics of radiology. Charles Thomas Publishers.

10. NACP (1980): Procedures in external radiation therapy dosimetry with electron and photon beams with maximum energies between 1 and 50 MeV. *Acta Radiol. Oncol.* 19: 56—79.

11. NACP (1981): Electron beams with mean energies at the phantom surface below 15 MeV. *Acta Radio. Oncol.* 20: 401—415.

12. Nuclear Enterprises Ltd. (1975): Instruction manual for Farmer dosimeter type 2502/3.

13. Savezni zavod za mere i dragocene metale (1984): Naredba o rokovima za periodične preglede etalona i merila. Službeni list SFRJ, br. 26: 734—739.

14. Savezni zavod za standardizaciju (1986): Pravilnik o tehničkim normativima za jonizacione komore koje se upotrebljavaju u radioterapijskoj dozimetriji. Službeni list SFRJ, br. 36: 1104—1108.