



KLINIČKI BOLNIČKI CENTAR
SESTRE MILOSRDNICE
ZAGREB, Vinogradska cesta 29

**PROGRAM OSIGURANJA KVALITETE
za djelatnosti s izvorima ionizirajućeg zračenja**

PRILOG 4

Radne upute RU11-SUS10-NM i obrazac OB27-SUS10-NM za bilježenje
doza pacijenata – nuklearna medicina

	SUSTAV UPRAVLJANJA SIGURNOSTI	RU11-SUS10-NM Izdanje: 1 Datum izdanja: 13/07/2021
KBC Sestre milosrdnice	Radne upute za izračun efektivne doze pri dijagnostičkim i terapijskim nuklearno- medicinskim postupcima	1/13

RADNE UPUTE ZA IZRAČUN EFEKTIVNE DOZE PRI DIJAGNOSTIČKIM I TERAPIJSKIM NUKLEARNO- MEDICINSKIM POSTUPCIMA

1	SVRHA	2
2	PODRUČJE PRIMJENE	2
3	RADNJE, SREDSTVA I METODE	2
3.1.	Uvod	2
3.2.	Izračun efektivne doze i apsorbirane doze koju pacijenti prime tijekom provođenja dijagnostičkih i terapijskih postupka u nuklearnoj medicini	3
3.3.	Tablica izračunatih vrijednosti procijenjenih efektivnih doza	5
4	LITERATURA	13
5	VEZE S DRUGIM DOKUMENTIMA	13
6	PREGLED IZDANJA	13

	SUSTAV UPRAVLJANJA SIGURNOSTI	RU11-SUS10-NM Izdanje: 1 Datum izdanja: 13/07/2021
KBC Sestre milosrdnice	Radne upute za izračun efektivne doze pri dijagnostičkim i terapijskim nuklearno-medicinskim postupcima	2/13

1 SVRHA

Opis načina izračuna procijenjene efektivne doze pri dijagnostičkim i terapijskim postupcima u nuklearnoj medicini za postupke u najčešćoj upotrebi.

2 PODRUČJE PRIMJENE

Navedeni su postupci za potrebe računanja procijenjene efektivne doze pri dijagnostičkim i terapijskim postupcima u nuklearnoj medicini za postupke u najčešćoj upotrebi u Klinici za onkologiju i nuklearnu medicinu.

Obrazac OB27-SUS10-NM popunjavaju djelatnici Klinike za onkologiju i nuklearnu medicinu koji pripremaju i pune šprice s radiofarmak za iniciranje prilikom dijagnostičkih postupaka i koji pripremaju radiofarmak za terapiju pacijenta.

Izračun procjene efektivne doze provodi medicinski fizičar u nuklearnoj medicini Odjela za medicinsku fiziku pod nadzorom stručnjaka za medicinsku fiziku.

3 RADNJE, SREDSTVA I METODE

3.1. Uvod

Apsorbirana doza u dijagnostičkoj i terapijskoj nuklearnoj medicini procjenjuje se korištenjem standardiziranih referentnih modela ljudskog tijela. Apsorbirana doza u pojedinom organu izražava se u jedinicama Gy (Gray, $1 \text{ Gy} = 1 \text{ J/kg}$), a ekvivalentna doza, koja se računa kao umnožak apsorbirane doze i težinskog faktora, u Sv (Sievert, $1 \text{ Si} = 1 \text{ J/kg}$). Efektivna doza dobiva se množenjem ekvivalentne doze i težinskog faktora za rizik od oštećenja zbog djelovanja ionizirajućeg zračenja. Efektivne doze navedene u literaturi izračunate su na kinetičkim modelima preko srednjih vrijednosti za ukupnu populaciju i za referentnu osobu (70 kg). Stoga efektivna doza nije indikator individualne doze pacijenta i ne može se koristiti za numeričku procjenu rizika od raka. Efektivna doza ne može se primijeniti niti na terapijske primjene zračenja, obzirom je primjenjiva samo za procjenu stohastičkog rizika zračenja.

	SUSTAV UPRAVLJANJA SIGURNOSTI	RU11-SUS10-NM Izdanje: 1 Datum izdanja: 13/07/2021
KBC Sestre milosrdnice	Radne upute za izračun efektivne doze pri dijagnostičkim i terapijskim nuklearno- medicinskim postupcima	3/13

3.2. Izračun efektivne doze i apsorbirane doze koju pacijenti prime tijekom provođenja dijagnostičkih i terapijskih postupka u nuklearnoj medicini

Aktivnost u nekom trenutku u organu ili tkivu se može izračunati pomoću formule [2]:

$$A_s(t) = \sum_{i=1}^n k_i e^{-(\lambda_i + \lambda_p)t} \quad (1)$$

gdje je t vrijeme proteklo od trenutka iniciranja radiofarmaka pacijentu ($t = 0$) do trenutka kada aktivnost padne na 0, λ_p konstanta raspada radionuklida, λ_i biološka konstanta izlučivanja radionuklida, k_i frakcijska konstanta, a i brojač za sve doprinose aktivnosti, počevši od prvog do posljednjeg (označenog s n).

Biološka konstanta izlučivanja radionuklida λ_i razlikuje se ovisno o modelu kojeg se primjenjuje, o izlučivanju između organa, te o životnoj dobi pacijenta. Biološke konstante izlučivanja radionuklida utvrđene su eksperimentalno i za svaki model postoji tablica istih. Shodno tome, primjenjujući formulu (1), za sve spomenute vrijednosti biološke konstante izlučivanja, mogu se izračunati aktivnosti u nekom trenutku u organu ili tkivu, a potom i ukupni broj raspada $\tilde{A}$ u vremenskom periodu T_D za organ ili tkivo r_s .

Postoji niz standardiziranih biokinetičkih modela za pojedine dijelove tijela (npr. model za bubreg-mjehur, GI trakt model, model za jetru i izlučivanje..). Modeli se primjenjuju za različitu životnu dob pacijenta i to prema dobnim skupinama: odrasli, djeca od 1 god, djeca od 5 god, djeca od 10 god, djeca od 15 god, trudnice u raznim fazama trudnoće.

Ukupni broj raspada $\tilde{A}$ u vremenskom periodu T_D za organ ili tkivo r_s dobiva se računanjem integrala funkcije $A_s(t)$ [1].

	SUSTAV UPRAVLJANJA SIGURNOSTI	RU11-SUS10-NM Izdanje: 1 Datum izdanja: 13/07/2021
KBC Sestre milosrdnice	Radne upute za izračun efektivne doze pri dijagnostičkim i terapijskim nuklearno- medicinskim postupcima	4/13

Faktor doze S dobiva se iz formule:

$$S(r_T \leftarrow r_S) = \frac{c}{M_{r_T}} \sum_i E_i Y_i \varphi_i(r_T \leftarrow r_S, E_i) \quad [Gy] \quad (2)$$

gdje je E_i prosječna energija zračenja i , Y_i doprinos od zračenja i , $\varphi_i(r_T \leftarrow r_S, E_i)$ je apsorpcijska frakcija zračenja i , apsorbirana u cilnom području r_T nakon emisije iz izvorišne regije r_S , M_{r_T} masa cilnog organa ili tkiva r_T , a c konstanta.

Specifična apsorpcijska frakcija $\Phi(r_T \leftarrow r_S, E_i)$ računa se pomoću formule:

$$\Phi(r_T \leftarrow r_S, E_i) = \frac{\varphi(r_T \leftarrow r_S, E_i)}{M(r_T)} \quad (3)$$

gdje je $M(r_T)$ masa cilnog organa ili tkiva, a $\varphi(r_T \leftarrow r_S, E)$ je apsorpcijska frakcija.

Izračun apsorbirane doze u ciljanoj regiji $D(r_T, T_D)$ dobiva se korištenjem formule:

$$D(r_T, T_D) = \sum_{r_S} \tilde{A}(r_S, T_D) \times S(r_T \leftarrow r_S) \quad [Gy] \quad (4)$$

gdje je S faktor doze.

Uporabom formule (4) za svaki izračunati ukupni broj raspada $\tilde{A}$ dobije se apsorbirana doza u ciljnoj regiji, odnosno.

Kako bi se izračunala ekvivalentna doza $H(r_T, T_D)$ potrebno je za svaku vrstu zračenja uzeti u obzir težinski faktor za tu vrstu zračenja, w_R , te sumirati umnoške težinskih faktora i predane apsorpcijske doze ciljanoj regiji od svake vrste zračenja. Dakle, izračun se oslanja na formulu:

$$H(r_T, T_D) = \sum_R w_R D_R(r_T, T_D) \quad [Sv] \quad (5)$$

	SUSTAV UPRAVLJANJA SIGURNOSTI	RU11-SUS10-NM Izdanje: 1 Datum izdanja: 13/07/2021
KBC Sestre milosrdnice	Radne upute za izračun efektivne doze pri dijagnostičkim i terapijskim nuklearno- medicinskim postupcima	5/13

Organi i tkiva međusobno razlikuju po osjetljivosti na zračenje, pa je stoga u daljnji izračun efektivne doze potrebno je uzeti u obzir i težinski faktor organa ili tkiva w_T .

Efektivna doza računa se prema formuli:

$$E = \sum_{r_T} w_T H(r_T, T_D) \text{ [Sv]} \quad (6)$$

gdje je $H(r_T, T_D)$ ekvivalentna doza za ciljni organ ili tkivo.

3.3. Tablica izračunatih vrijednosti procijenjenih efektivnih doza

U Tablici 1 dan je popis pretraga sa izračunatim procijenjenim efektivnim dozama. Tablica je izračunata na osnovu postupka predloženog na stranicama RADAR (engl. *Radiation Dose Assessment Resource*) pomoću modela predloženih u ICRP 128 [3].

	SUSTAV UPRAVLJANJA SIGURNOSTI	RU11-SUS10-NM Izdanje: 1 Datum izdanja: 13/07/2021
KBC Sestre milosrdnice	Radne upute za izračun efektivne doze pri dijagnostičkim i terapijskim nuklearno- medicinskim postupcima	6/13

Tablica 1 Popis pretraga s otvorenim izvorima zračenja i pripadne procijenjene doze

RADIONUKLI D/ PRETRAGA	AKTIVNOST	PROCIJENJENA EFEKTIVNA DOZA	STAROSNA DOB
Tc-99m DMSA	Odrasli 111 MBq	1.0 mSv - kritični organ: bubrezi 20 mGy	Odrasli
	Djeca 1.85 MBq/kg 19 MBq M/18 MBq Ž	0.7 mSv M/0.7 mSv Ž - kritični organ: bubrezi 14.4 mGy M/13,7 mGy Ž	Djeca-1god 10,2 kg M/ 9,5 kg Ž
	Djeca 1.85 MBq/kg 35 MBq M/33 MBq Ž	0.7 mSv M/ 0.7 mSv Ž - kritični organ: bubrezi 15.0 mGy M/14,2 mGy Ž	Djeca-5god 18,7 kg M/ 17,7 kg Ž
	Djeca 1.85 MBq/kg 58 MBq M/60 MBq Ž	0.9 mSv M/0.9 mSv Ž - kritični organ: bubrezi 17.4 mGy M/18 mGy Ž	Djeca-10god 31,4 kg M/ 32,5 kg Ž
	Djeca 1.85 MBq/kg 105 MBq M/96 MBq Ž	1.2 mSv M/1.1 mSv Ž - kritični organ: bubrezi 23,1 mGy M/21.1 mGy Ž	Djeca-15god 57 kg M/ 52 kg Ž
Tc-99m Disofenin/Mebro fenin	370 MBq	6.3 mSv - kritični organ: žučnjak 40.7 mGy	Odrasli
		37.0 mSv - kritičan organ: žučnjak 351.5 mGy	Djeca-1god

	SUSTAV UPRAVLJANJA SIGURNOSTI	RU11-SUS10-NM Izdanje: 1 Datum izdanja: 13/07/2021
KBC Sestre milosrdnice	Radne upute za izračun efektivne doze pri dijagnostičkim i terapijskim nuklearno- medicinskim postupcima	7/13

Tc-99m MAA	148 MBq	1.6 mSv - kritični organ: pluća 9.8 mGy	Odrasli
	74 MBq	4.7 mSv - kritični organ: pluća 28.9 mGy	Djeca-1god
		2.5 mSv - kritični organ: pluća 14.8 mGy	Djeca-5god
		1.7 mSv - kritični organ: pluća 9.6 mGy	Djeca-10god
		1.2 mSv - kritični organ: pluća 7.2 mGy	Djeca-15god
		108.2 mGy na fetus	Rana trudnoća
		0.3 mGy na fetus	Trudnoća 3 mj
		0.4 mGy na fetus	Trudnoća 6 mj
		0.3 mGy na fetus	Trudnoća 9 mj
Tc-99m Pirofosfat	740 - 925 MBq	4.2 mSv – 5.3 mSv - kritični organ: kosti 46.6 mGy - 58.3 mGy	Odrasli

	SUSTAV UPRAVLJANJA SIGURNOSTI	RU11-SUS10-NM Izdanje: 1 Datum izdanja: 13/07/2021
KBC Sestre milosrdnice	Radne upute za izračun efektivne doze pri dijagnostičkim i terapijskim nuklearno- medicinskim postupcima	8/13

Tc-99m MDP	740 - 1110 MBq	Minimalna aktivnost: 4.2 mSv - kritični organ: kosti 46.6 mGy Maximalna aktivnost: 6.3 mSv - kritični organ: kosti 60.4 mGy	Odrasli
		Minimalna: 20.0 mSv	Djeca -1 god
		Minimalna: 10.4 mSv	Djeca – 5 god
		Minimalna: 8.1 mSv	Djeca – 10 god
		Minimalna: 5.2 mSv	Djeca – 15 god
Tc-99m MIBI (pod opterećenjem)	666 - 888 MBq	5.3 mSv- 7.0 mSv - kritični organ: žučnjak 22.0 mGy - 29.3 mGy	Odrasli
	Srce 370-444 MBq	2.9 mSv - 3.5 mSv - kritični organ: žučnjak 12.2 mGy - 14.7 mGy	Odrasli
Tc-99m MIBI (mirovanje)	370 - 444 MBq	3.3 mSv – 4.0 mSv - kritični organ: žučnjak 14.4 mGy - 17.3 mGy	Odrasli

	SUSTAV UPRAVLJANJA SIGURNOSTI	RU11-SUS10-NM Izdanje: 1 Datum izdanja: 13/07/2021
KBC Sestre milosrdnice	Radne upute za izračun efektivne doze pri dijagnostičkim i terapijskim nuklearno- medicinskim postupcima	9/13

Tc-99m Pertehnetat (čisti)	1.85 MBq /kg 92 – 240 MBq	1.2 mSv – 3.1 mSv - kritični organ: gornje debelo crijevo 5.3 mGy - 13.7 mGy	Odrasli 50 – 130 kg
	1.85 MBq /kg 19 MBq M/18 MBq Ž	1.5 mSv M/1.4 mSv Ž - kritični organ: gornje debelo crijevo 7.2 mGy M/6.8 mGy Ž	Djeca-1god 10,2 kg M/ 9,5 kg Ž
	1.85 MBq /kg 35 MBq M/33 MBq Ž	1.5 mSv M/1.4 mSv Ž - kritični organ: gornje debelo crijevo 7.0 mGy/6.6 mGy	Djeca-5god 18,7 kg M/ 17,7 kg Ž
	1.85 MBq /kg 58 MBq M/60 MBq Ž	1.5 mSv M/1.6 mSv Ž - kritični organ: gornje debelo crijevo 7.0 mGy/7.2 mGy	Djeca-10god 31,4 kg M/ 32,5 kg Ž
	1.85 MBq /kg 105 MBq M/96 MBq Ž	1.8 mSv M/1.6 mSv Ž - kritični organ: gornje debelo crijevo 7.7 mGy/7.0 mGy	Djeca-15god 57 kg M/ 52 kg Ž
Tc-99m Pertehnetat	Slinovnice 444 MBq	5.8 mSv - kritični organ: gornje debelo crijevo 25,3 mGy	Odrasli
Tc-99m Pertehnetat	Štitnjača 185 MBq	2.4 mSv - kritični organ: gornje debelo crijevo 0.5 mGy	Odrasli

	SUSTAV UPRAVLJANJA SIGURNOSTI	RU11-SUS10-NM Izdanje: 1 Datum izdanja: 13/07/2021
KBC Sestre milosrdnice	Radne upute za izračun efektivne doze pri dijagnostičkim i terapijskim nuklearno- medicinskim postupcima	10/13

Tc-99m HMPAO	1110 MBq	10.3 mSv - kritični organ: bubrezi 37.7mGy	Odrasli
Tc-99m RBCs	740 - 925 MBq	5.2 mSv – 6.5 mSv - kritični organ: stjenka srca 17.0 mGy - 21.3 mGy	Odrasli
Tc-99m MAG3	Djeca 3.7 MBq/kg 38 MBq M/35 MBq Ž	0.8 mSv M/0.8 mSv Ž - kritični organ: mjehur 12.2 mGy M/ 11.2 mGy Ž	Djeca-1god 10,2 kg M/ 9,5 kg Ž
	Djeca 3.7 MBq/kg 69 MBq M/65 MBq Ž	0.8 mSv M/0.8 mSv Ž - kritični organ: mjehur 12.4 mGy M/ 11.7 mGy Ž	Djeca-5god 18,7 kg M/ 17,7 kg Ž
	Djeca 3.7 MBq/kg 116 MBq M/120 MBq Ž	1.5 mSv M/1.4 mSv Ž - kritičan organ: mjehur 21.4 mGy M/20.4 mGy Ž	Djeca-10god 31,4 kg M/ 32,5 kg Ž
	Djeca 3.7 MBq/kg 211 MBq M/192 MBq Ž	1.9 mSv M/1.7 mSv Ž - kritični organ: mjehur 29.5 mGy M/26.9 mGy Ž	Djeca-15god 57 kg M/ 52 kg Ž
Tc-99m DTPA (intravenozno)	74 MBq - 111 MBq	0.4 mSv- 0.5 mSv - kritični organ: stjenka mjehura 4.6 mGy – 6.9 mGy	Odrasli
		1.2 mSv –1.8 mSv - kritični organ: stjenka mjehura 12.6 mGy - 18.9 mGy	Djeca – 1 god

	SUSTAV UPRAVLJANJA SIGURNOSTI	RU11-SUS10-NM Izdanje: 1 Datum izdanja: 13/07/2021
KBC Sestre milosrdnice	Radne upute za izračun efektivne doze pri dijagnostičkim i terapijskim nuklearno- medicinskim postupcima	11/13

<i>Tc-99m Tektrotid</i>	740 MBq	NIJE NAVEDENO U TABLICI	Odrasli
I-123 MIBG	185 - 370 MBq	2.4 mSv – 4.8 mSv - kritični organ: jetra 12.4 mGy - 24.8 mGy	Odrasli
		12.6 mSv – 25.2 mSv - kritični organ: jetra 61.1 mGy - 122.1 mGy	Djeca – 1 god
		6.8 mSv – 13.7 mSv - kritični organ: jetra 33.3 mGy - 66.6 mGy	Djeca – 5 god
		4.8 mSv – 9.6 mSv - kritični organ: jetra 24.1 mGy - 48.1 mGy	Djeca – 10 god
		3.1 mSv – 6.3 mSv - kritični organ: jetra 16.1 mGy - 32.2 mGy	Djeca – 15 god
I-123 Ioflupan (DaTScan)	1110- 185 MBq	1.4 mSv – 2.4 mSv - kritični organ: gornje debelo crijevo 6.3 mGy - 10.5 mGy	Odrasli
I-131 NaI (gutanjem)	≤ 1.85 MBq	Max. 20.4 mSv - kritični organ: štitnjača 666 mGy	Odrasli

	SUSTAV UPRAVLJANJA SIGURNOSTI	RU11-SUS10-NM Izdanje: 1 Datum izdanja: 13/07/2021
KBC Sestre milosrdnice	Radne upute za izračun efektivne doze pri dijagnostičkim i terapijskim nuklearno- medicinskim postupcima	12/13

I-131 MIBG	37 - 74 MBq	7.4 mSv - 14.8 mSv - kritični organ: jetra 30.7 mGy - 61.4 mGy	Odrasli
		40.7 mSv – 81.4 mSv - kritični organ: jetra 170.2 mGy - 340.4 mGy	Djeca – 1 god
		22.6 mSv - 45.1 mSv - kritični organ: jetra 88.8 mGy - 177.6 mGy	Djeca - 5 god
		14.8 mSv – 29.6 mSv - kritični organ: jetra 59.2 mGy - 118.4 mGy	Djeca – 10 god
		9.6 mSv –19.2 mSv - kritični organ: jetra 40.7 mGy - 81.4 mGy	Djeca – 15 god

	SUSTAV UPRAVLJANJA SIGURNOSTI	RU11-SUS10-NM Izdanje: 1 Datum izdanja: 13/07/2021
KBC Sestre milosrdnice	Radne upute za izračun efektivne doze pri dijagnostičkim i terapijskim nuklearno- medicinskim postupcima	13/13

4 LITERATURA

1. ICRP Publication 128: Radiation Dose to Patients from Radiopharmaceuticals: A Compendium of Current Information Related to Frequently Used Substances
2. RADAR: Radiation Dose Assessment Resource
<http://www.snmmi.org/AboutSNMMI/CommitteeContent.aspx?ItemNumber=5251&navItemNumber=763>
3. SNMMI – Nuclear Medicine Radiation Dose Tool
<http://www.snmmi.org/ClinicalPractice/doseTool.aspx?ItemNumber=11216&navItemNumber=11218>

5 VEZE S DRUGIM DOKUMENTIMA

- Obrazac OB27-SUS-10-NM

6 PREGLED IZDANJA

- Izdanje 1: početno izdanje



SUSTAV UPRAVLJANJA SIGURNOSTI

OB27-SUS10-NM

Izdanje: 1

Datum izdanja: 28.12.2016.

KBC "Sestre milosrdnice"

Obrazac evidencije relevantnih podataka – unos radionuklida

Datum	Ime i prezime pacijenta	Vrsta radionuklida i kemijskog spoja u kojem se koristi	Aktivnost ili koncentracija pripravka koji se unosi u tijelo pacijenta	Mjesto i način unosa	Ciljni organ	Drugi relevantni podaci

Izradio: Ana Pavić Grego, dipl. ing. fizike

Pregledao: dr.sc. Iva Mrčela, dipl. ing. fizike