

Viri sevanja v nuklearni medicini in varstvo pred sevanji

Uroš Čotar, univ. dipl. fiz.,
odgovorna oseba za varstvo pred sevanji
Onkološki Inštitut, Ljubljana

Vsebina

- Definicija
- Uporaba
- Sevalna obremenitev delavcev
- Radioaktivni odpadki
- Zaščita

Definicija

- Odprti viri (open sources): možna je kontaminacija (razlitje, razsutje, ingestija, inhalacija).
 - Sem spadajo tudi raztopine v steklenih in plastičnih posodah.
 - Lamele na kobaltovem obsevalnem aparatu (DU)
- Zaprti viri (sealed sources): kontaminacija ni možna. Ščit je dovolj močan.
 - Radioaktivni viri
 - Naprave s pospeševalno cevjo

Uporaba

- Diagnostika
- Terapija
- Interne kalibracije, preizkušanje naprav
- Raziskovalna dejavnost

Odprti viri (open sources)

- Oddelek nuklearne medicine
- Diagnostika: Tc-99m, I-123, I-131, In-111, Ga-67, F-18,
- Terapija: I-131, Sr-89, Sm-153, Y-90, Ra-223 (α sevalec)

Odprti viri - diagnostika (1)

- Priprava radiofarmaka: vroči laboratorij
- Radiofarmak se aplicira bolniku in porazdeli po telesu
- Slikanje s kopičenjem radioizotopa v posameznih organih (limfni sistem, ščitnica, kosti...)

Odprti viri - diagnostika (2)

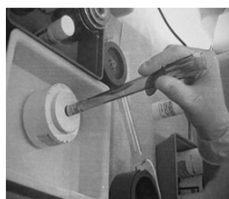
- Najpogostejši izotopi : Tc-99m, I-131, F-18
- Kratki razpolovni časi : nekaj ur do nekaj dni
- Aktivnosti do 1100 MBq: ambulantna obdelava bolnika
- po slikanju na γ kamerah gre bolnik lahko domov

Odprti viri - terapija

- Oralno v obliki kapsul ali v tekoči obliki (primer: I-131 pri karcinomu ščitnice)
- Aktivnosti: do 7.4 GBq
- Bolnik je hospitaliziran 3 dni na BRT oddelku (jodove sobe)
- Aktivnost pada zaradi razpada izotopa in izločanja (fizikalni in biološki razpolovni čas)
- Zakonska omejitev za odpust: 800 MBq preostale aktivnosti (50 μ Sv/h na razdalji 1m)

Terapija z I-131

- Bolnik je aktiven in obvezno hospitaliziran na zaprtem oddelku (BRT)
- I-131 prejme v obliki kapsule ali v tekoči obliki
- Nego vrši osebje BRT oddelka - osnovni načeli varstva pred sevanji:
 1. RAZDALJA
 2. ČAS



Primeri apliciranih aktivnosti

Preiskava ali terapija	Efektivna doza [mSv/MBq]	Aplicirana aktivnost [MBq]
Scintigrafija skeleta	0.0080 (4-6 mSv)	600-800 Tc-99m
PET-CT	0.05 (15-18 mSv)	5.2/kg F-18 (360/70 kg)
Scintigrafija telesa	0.11 (20 mSv)	185 Ga-67
Terapija bolečin	3.1	150 Sr-89
Ablacija ščitnice	0.072 (>100Gy)	3700 I-131
Zdravljenje s Xofigo	1500	3.5/70kg Ra-223 (50kBq/kg)

Hitrosti doz pri delu z odprtimi viri sevanja

- Kontejner: do 500 μ Sv/h
- Vroči laboratorij (digestorij): do 30 mSv/h na roke!!!
- Vročna čakalnica: 5 do 10 μ Sv/h
- kamere γ in PET-CT(1 m od bolnika): 25 μ Sv/h

PET - CT

- Kombinacija NM in RTG diagnostike
- RTG cev: dobra zaščita za X žarke, doze minimalne
- F-18: zaščita za γ žarke ni več učinkovita, doze so visoke

Razpolovni časi

Tc-99m	6h	Co-57	270 dni
I-123	13 h	Ge-68	270 dni
I-131	8 dni	Cs-137	30 let
Ga-67	3.3 dni	Ba-133	10.5 let
Sr-89	50.6 dni	Sr-90	29 let
F-18	< 2h	Ir-192	74 dni
Ra-223	11 dni	Na-22	2.6 let

Priprava FDG



PET-CT



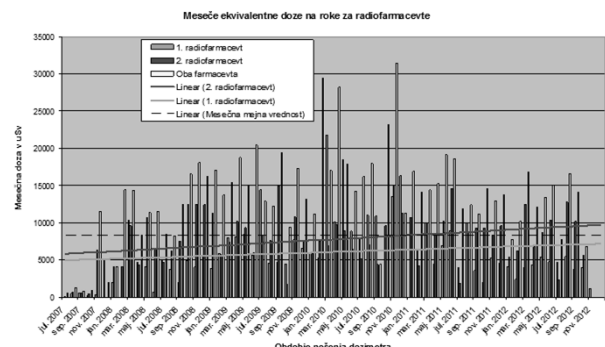
Dozimetrija

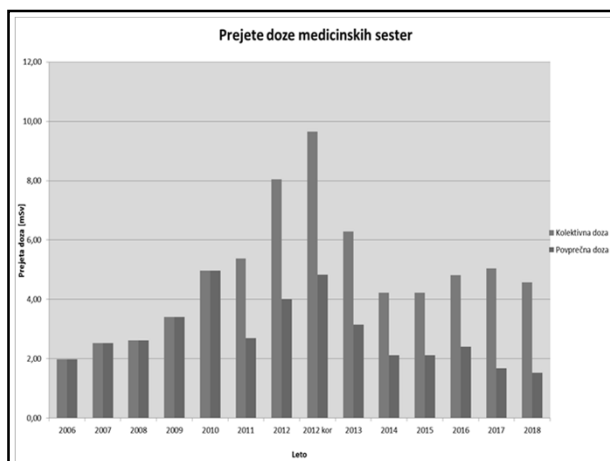
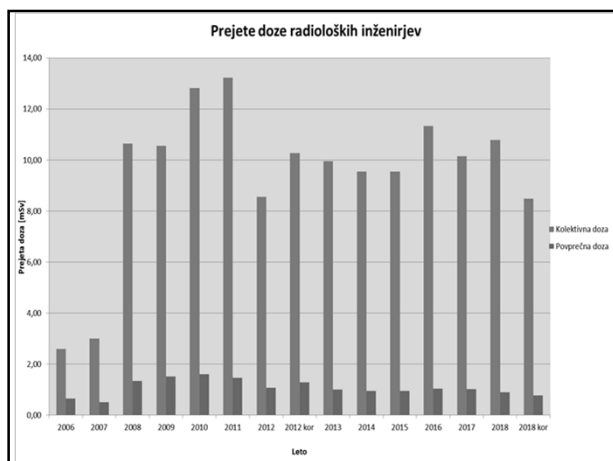
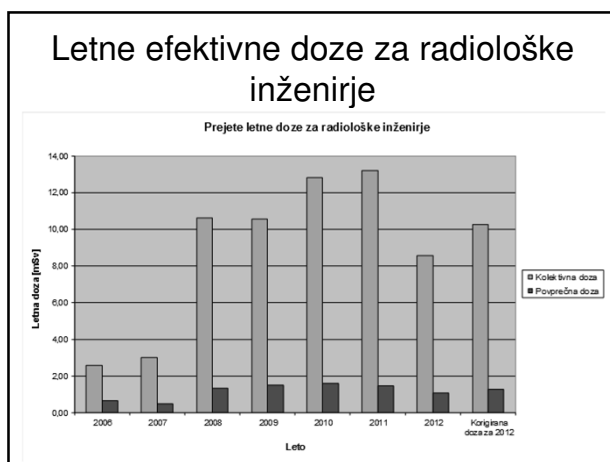
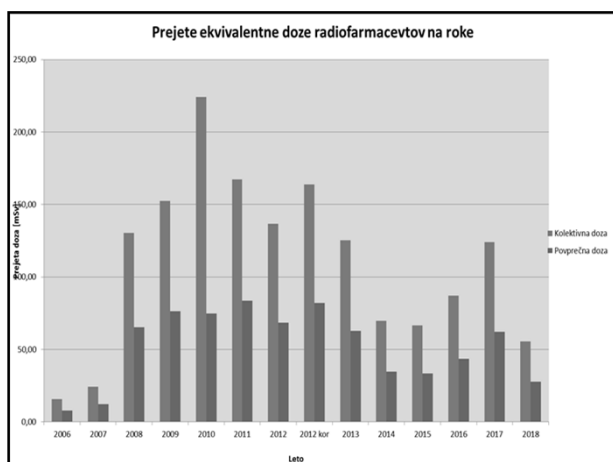
- Obvezna uporaba TL dozimetra (mesečni odčitki)
- Uporaba ročnih in prstnih dozimetrov za določitev ekvivalentne doze na ekstremitete
- Uporaba elektronskega dozimetra z nastavljenim alarmom predvsem za opozarjanje na visoko dozno hitrost

Sevalna obremenitev delavcev

- Efektivna doza
- Ekvivalentne doze na posamezne organe

Mesečne ekvivalentne doze na roke pri pripravi radiofarmakov





Sevalna obremenitev delavcev na BRT in NM

Brahiterapija:

■ srednje sestre:

1997: 5.8 do 10.6 mSv

2004: do 2.5 mSv

2007: do 1.3 mSv

2010: < 1 mSv

2012: < 1 mSv

■ višje sestre:

1997: 2.0 do 4.0 mSv

2004: 0.6 do 1.1 mSv

2007: do 1.1 mSv

2010: < 1 mSv

2012: < 1 mSv

Izotopni laboratorij:

■ priprava radiofarmaka:

1997: 3.4 mSv

2004: 1.0 mSv

2007: 0.9 mSv

2010: 1 mSv

2012: 1 mSv

■ aplikacija radiofarmaka:

1997: do 11.3 mSv

2004: do 2.6 mSv

2007: do 2.5 mSv

2010: 5 mSv

2012: 8.4 mSv

Ekstremi

- efektivna mesečna doza 2,3 mSv – april 2008
- ekvivalentna mesečna doza na roke 22 mSv – februar 2010
- efektivna mesečna doza 3.8 mSv – maj 2011 (nenamerno obsevanje dozimetra?)
- ekvivalentna mesečna doza na roke 42 mSv – september 2012 (nenamerno obsevanje dozimetra?)

Dozne ograde in dozne omejitve

- Dozna omejitev: 20 mSv na leto (povprečno 1.6 mSv na mesec)
- Prekoračenje ograde 1.6 mSv na mesec:
 - obvestilo URSVS,
 - iskanje vzroka in odprava le tega,
 - revizija OVID
- Dozna ograda 0.5 mSv, ob prekoračitvi obveščanje URSVS

Kaj je zvišalo doze delavcem NM?

- Uvedba preiskave PET-CT
- Povečanje števila preiskav – do 8 dnevno (naročena aktivnost za zadnjega pacienta je 10x višja kot aplicirana, tipično do 10 GBq, maksimalno 20 GBq) – zakaj?
- Neučinkovita zaščita za fotone 511 keV

Kako znižati osebne doze delavcev pri PET-CT?

- Uvedba after-load tehnike -> posledično manjše število ročnih aplikacij (kot na BRT)
- Zaščitni svinčeni ščit pri pripravi radiofarmaka
- Zvečanje števila delavcev
- Zmanjšanje števila preiskav (razdelitev preiskav z drugimi klinikami)
- Uporaba plaščev ni smiselna (build-up)
- Zaščita prostorov je že optimizirana
- Način dela je že optimiziran

Primeri zaščite



Odprti viri – radioaktivni odpadki

- Odprti viri v medicini so kratkoživi – razpolovni čas je krajši od 8 dni (za I-131)
- Najbolj problematičen odpadki predstavljajo:
 - neporabljen radiofarmak
 - injekcijske igle
 - Tc-99m generatorji
- Shranjevanje v posebnih sodčkih, v skladišču radioaktivnega materiala
- V vrečah se hranijo smeti in perilo z BRT oddelka iz "jodovih sob"
- Iznos: najprej pregled pooblaščen inštitucije, nato opustitev nadzora ali v CS RAO

Radioaktivni odpadki – skladiščenje



Radioaktivni odpadki - tekoči



- Hranjenje minimalno 2 meseca
- Odvzem vzorcev in merjenje specifične aktivnosti (zakonsko določilo uredba UV1, tabela 3)
- Izpust

Zaprti viri (sealed sources)

- Diagnostika:
 - rentgen, CT, mamograf, premični rentgen, mamotom
- Terapija
 - linearni pospeševalnik - Linac
 - terapevtski rentgen (Gulmay)
 - radioizotopi: Ir-192 in Sr-90 (BRT), Co-60 (TRT odstranjen avgusta 2010)
- Interne kalibracije in preizkušanje naprav (NM):
 - γ kamere: Co-57, Cs-137, Ba-133
 - PET/CT: Na-22, Ge-68
- Raziskave:
 - Rentgen: Gulmay Darpac 3225

Značilnosti virov s pospeševalno cevjo

- Sami po sebi ne sevajo (v prostoru ni sevanja, ko je aparat izključen)!
- Dostop je možen tudi za nesevalne delavce
- Ni kontaminacije
- Ni radioaktivnih odpadkov
- Toda: RTG napravo in cev je potrebno strokovno uničiti

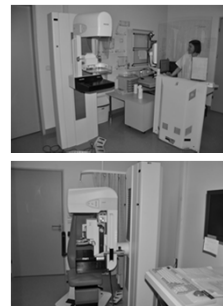
Stacionarni rentgenski aparati



CT – računalniška tomografija



Mamografija



Vakuumska biopsija



Premični aparati



Brahiradioterapija (BRT)

- Brahiradioterapija (BRT) = zdravljenje z radioaktivnimi viri na telesu ali v telesu
- Izotopi: Sr-90 (β sevalec), Ir-192 za PDR in HDR (γ sevalec)
- Aktivnosti:
 - Sr-90 do 1GBq,
 - Ir-192 do 450 GBq !!!

Način vstavljanja

- Ročno: Sr-90
- Naknadno: vir Ir-192 vstavijo naknadno (after-load) poseg je računalniško krmiljen

Aplikatorji Sr-90



Napravi za PDR in HDR



Sevalna obremenitev delavcev na brahiterapiji in nuklearni medicini

Brahiterapija:

■ srednje sestre:

1997: 5.8 do 10.6 mSv

2004: do 2.5 mSv

2007: do 1.3 mSv

2010: < 1 mSv

■ višje sestre:

1997: 2.0 do 4.0 mSv

2004: 0.6 do 1.1 mSv

2007: do 1.1 mSv

2010: < 1 mSv

Izotopni laboratorij:

■ priprava radiofarmaka:

1997: 3.4 mSv

2004: 1.0 mSv

2007: 0.9 mSv

2010: 1 mSv

■ aplikacija radiofarmaka:

1997: do 11.3 mSv

2004: do 2.6 mSv

2007: do 2.5 mSv

2010: 5 mSv

2013: 6.5 mSv

Kaj je znižalo osebne doze delavcev na BRT?

- Uvedba after-load obsevalnih tehnik
- Manjše število ročnih aplikacij
- Dobra zaščita prostorov, kjer se pripravlja in izvaja terapija.
- Profesionalen odnos do dela z viri sevanja in občutek za prepoznavanje resnično nevarnih situacij.

Teleterapija

- Zdravljenje z obsevanjem na daljavo
- Teleradioterapevtska naprava = zaprt terapevtski vir sevanja, ki ni vstavljen v telo bolnika
- Hitrosti doze v primarnem snopu: 1-2 Gy/min
- Oprema na Onkološkem inštitutu
 - 8 Linacov
 - 1 300kV RTG (Gulmay)
 - 3 simulatorji
 - (teleterapevtski vir s Co-60 Theratron - odstranjen avgusta 2010)

Značilnosti TRT naprav

- Zelo visoke hitrosti doze; smrtna doza (5 do 10 Gy) v nekaj minutah
- Potreba po dobri zaščiti prostorov (zunaj nad pospeševalniki še vedno 2 mSv/h)
- Osebjia med terapevtskim posegom ni v obsevalnem prostoru

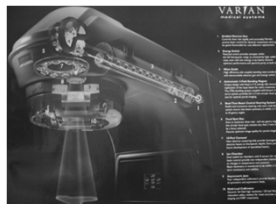
Linearni pospeševalniki - Linaci

- so naprave, ki proizvajajo visokoenergijske fotone ali elektrone
- Energije : 4-18 MeV za elektrone in 6-15 MV za fotone (Onkološki Inštitut)
- Možne energije do 25 MeV
- Hitrost doze v primarnem snopu: poljubno prilagajamo, ponavadi 1-2 Gy/min

Obsevanje z visokoenergijskimi fotoni

- Velika prodornost
- Build-up efekt
- Osebna zaščita ni smiselna
- Dobra zaščita prostora (tudi pred nevtroni) za energije nad 10 MeV

Linearni pospeševalnik Varian



- Aparata 6 in 8 sta visokoenergijska (15 MV fotoni)
- Aparata 1 in 2 sta nizkoenergijska (6 MV fotoni)

Linearni pospeševalnik ELEKTA Sinergy

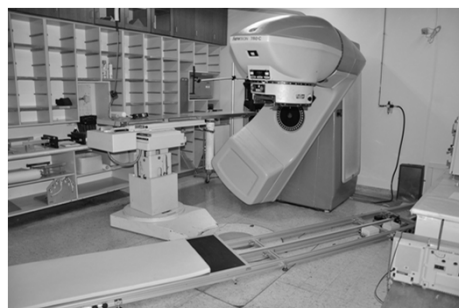
- Energije fotonov:
 - 6 MV
 - 15 MV
- Energije elektronov:
 - 6, 9, 12, 15 in 18 MeV



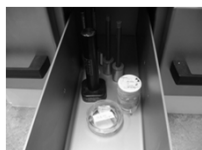
Varian Novalis TX



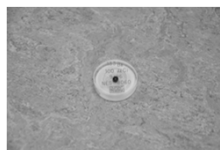
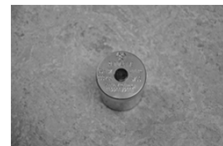
Obsevalnik Theratron - Co-60



Kalibrirani zaprti viri za interne kalibracije



Kalibrirani zaprti viri za interne kalibracije



Raziskovalna dejavnost

- Obsevanje celičnih in tkivnih vzorcev ter poskusnih živali
- RTG aparat Gulmay Darpac 3225 (220 kV)
- Hitrost doze:
 - v primarnem snopu: 2.2 Gy/min
 - nadzorni pult: < 1 $\mu\text{Sv/h}$
- Mesečne doze: nekaj μSv
- Dodatna zaščita ni potrebna
- Nadzor ni tako strog kot pri medicinskih posegih

Gulmay Darpac 3225



Kalibrirani zaprti viri za interne kalibracije



Zaprti viri – radioaktivni odpadki

- Iztrošeni zaprti viri v medicini niso več tako kratkoživi – specifična aktivnost je nad predpisano mejo za opustitev nadzora
- Shranjevanje v svinčenih kontejnerjih, v skladišču radioaktivnega materiala
- Iznos: najprej pregled pooblaščenih inštitucij, nato opustitev nadzora ali v CS RAO

Nošenje dozimetra – pravilno napačno



3 načini ščitenja pred sevanjem

- Čas
- Razdalja
- Ščit

Zaščita pred sevanjem

- RTG: zaščitno **Pb steklo** ali tanka stena
- γ : zaščitna obleka **ne pomaga** (ščiti nas samo pred **kontaminacijo**), Pb plašč je primeren samo za Tc-99m, za ostale vire pa ne, zato zmanjšamo čas zadrževanja na minimum in povečamo razdaljo do vira na maksimum
- β : nekaj **mm plastike**
- Linac: **1 m betona**

Razdelitev območij s povišanim sevanjem

- Nadzorovana območja
- Opazovana območja
- Območja, ki niso pod nadzorom

Nadzorovana območja

So območja:

- ki so posebej označena z oznakami (pozor sevanje, radioaktivno)
- kjer lahko letna doza delavca preseže 6 mSv
- kjer je povprečna hitrost doze večja kot 3 $\mu\text{Sv/h}$
- kjer je največja hitrost doze večja od 60 $\mu\text{Sv/h}$
- kjer se izvajajo radioterapevtski posegi
- kjer obstaja nevarnost kontaminacije nad dopustno mejo
- Na OI: celotni oddelek NM, skladišče radioaktivnega materiala in radioaktivnih odpadkov, BRT jodove sobe, prostor za RTG slikanje, BRT in TRT: bunkerji, kjer so obsevalne naprave, prostori neposredno pod in nad Linaci, BIO – prostor aparata

Nadzorovana območja (2)

Dostop v nadzorovano območje mora biti fizično omejen (zaklepanje, kartice, alarmi).

Vstop je dovoljen samo osebam, ki:

- so seznanjene s tveganjem, ki je povezano z delom
- imajo ustrezno znanje iz varstva pred sevanjem
- imajo veljavno zdravniško spričevalo za delo z viri sevanj
- nosijo osebni dozimeter

Opazovana območja

So tista:

- kjer omejitev dostopa sicer ni potrebna, potreben pa je reden nadzor
- kjer je povprečna hitrost doze 0.5 do 3 $\mu\text{Sv/h}$
- kjer je največja hitrost doze med 3 in 60 $\mu\text{Sv/h}$
- na OI:
 - TRT: nadzorni prostori obsevalnih naprav in simulatorjev obsevanja,
 - RTG: nadzorna mesta RTG aparatov
 - BIO: nadzorno mesto RTG aparata
- ostala območja so izven nadzora

Izredni dogodki

- Kontaminacija
- Povišana doza

Primeri

- Pacient po zaužitju I-131 bruha
- Pacient apliciran s F-18 urinira po tleh
- Pri aplikaciji se kontaminira osebje
- Jodova cisterna spušča
- Jodova kapsula poči in se raztrese
- V jodovo cisterno priteče 5m³ vode
- Delavec ostane v prostoru CT naprave

Ukrepanje

- Prostor označi z nalepkami POZOR SEVANJE in ga zavaruj, da ni možen dostop nepooblaščenim osebam.
- Obvesti odgovorno osebo. Če situacija ni obvladljiva, pokliči pooblaščen organizacije (ZVD, IJS).
- Obleci zaščitna oblačila, obujke, rokavice ter zaščitno masko.

Ukrepanje

- Preveri hitrost doze v prostoru in kontaminacijo površin.
- Odpadke pospravi v zaščitno embalažo.
- Dekontaminiraj prostor.
- Še enkrat preveri hitrost doze v prostoru ter kontaminacijo prostora in osebja.

Ukrepanje

- V primeru kontaminacije osebja sledi dekontaminacija (tuširanje, umivanje, preoblačenje)
- Odčitaj prejeto dozo iz elektronskega dozimetra, TLD pa pošlji v odčitavanje na pooblaščen dozimetrični servis.
- Napiši poročilo o izrednem dogodku.

Ukrepanje

- V primeru večjih kontaminacij ali nesreč odgovorna oseba pripravi poročilo in je pošlje Upravi RS za varstvo pred sevanji.
- Reševanje človeškega življenja ima prednost pred sevanjem.
- Preprečitev materialne škode ima prednost pred sevanjem.

Zaključek

- Hvala lepa za pozornost!
- Vprašanja?

