

Gabrijel FABJANCIC

1. VIRI SEVANJA V MEDICINI

Glede na probleme zaščite pred sevanjem lahko delimo vire sevanja v medicini na

- vire, ki sevajo samo med obratovanjem naprave (diagnostični rentgenski aparati, terapevtski rentgenski aparati, pospeševalniki) in
- vire, ki v določenem časovnem razdobju sevajo neprekinjeno. Slednje delimo na zaprte in odprte vire.

1.1. Zaprte vire sevanja so radioaktivni materiali, ki so stalno z vseh strani obdani s tesno, trdno, neaktivno prevleko, ki pri normalnih pogojih uporabe zanesljivo preprečuje izstop radioaktivne snovi. Uporabljamo jih

- kot vire sevanja v teleterapevtskih obsevalnih napravah (Co-60 ali Cs-137, začetne aktivnosti velikostnega reda 400 TBq -- 10000 Ci) in
- v brahiradioterapiji za površinsko, intrakavitarno in intersticijsko aplikacijo. V uporabi so radijske igle in celice (Ra-226), cezijeve celice (Cs-137), očesni aplikatorji (Ru-106, Sr-90), različni merilni standardi itd.

Med zaprte vire sevanja prištevamo tudi tiste radioaktivne predmete, ki so v trdnem stanju in so toliko kompaktni, da ob normalni uporabi ne oddajajo radioaktivne snovi, n.pr. iridijeva žica (Ir-192), zlata zrnca (Au-198). Oboje uporabljamo za različne implantacije.

1.2. Odpri vire sevanja

Odpri vire sevanja so radioaktivne snovi v trdnem, tekočem ali plinastem stanju, ki jih moramo pred uporabo razdeljevati, meriti, tehtati in izvajati druge manipulacije, pri katerih obstaja nevarnost, da del radioaktivne snovi nekontrolirano preide v delovno ali splošno življenjsko okolje človeka.

---

Prof. Gabrijel Fabjančič, Onkološki inštitut v Ljubljani.

Ob delu z odprtimi viri sevanja je torej stalno prisotna nevarnost radioaktivne kontaminacije.

## 2. ZAŠČITA PRED SEVANJEM

Namen zaščite pred sevanjem je ta, da ob uporabi ustreznih sredstev in ukrepov osebje pri delu z viri sevanja prejme čim manjše doze žarkovja.

Pri vsakem delu z viri sevanja moramo upoštevati tri osnovna načela zaščite:

- Čim krajši je čas obsevanja, tem manjša bo prejeta doza žarkovja. Zato delamo z virom sevanja samo toliko časa, kolikor je nujno potrebno. Kratek čas ravnanja z virom sevanja dosežemo tudi s tem, da vnaprej skrbno premislimo in načrtujemo potek dela z virom sevanja ter pripravimo vse potrebne pripomočke.
- Čim večja je oddaljenost od vira sevanja, tem manjša je njegova intenziteta. Virov sevanja ne prijemajmo z golo roko, ampak uporabljajmo ustrezna prijemala in manipulatorje.
- Čim debelejši in gostejši je zaščitni zaslon, tem manjši intenziteti žarkovja bomo izpostavljeni. (Zato pri delu z viri sevanja uporabljajmo zaščitne zaslone in osebna zaščitna sredstva.)

Na strani \_\_\_ so navedene formule, s katerimi lahko ob zadostnih podatkih izračunamo oz. ocenimo prejeto dozo žarkovja pri posameznih manipulacijah z viri sevanja, vaje na strani \_\_\_ pa ilustrirajo nekaj značilnih primerov.

### 2.2 Zaščita pred žarkovjem alfa

Delci alfa so jedra helijejevih atomov z vrstnim številom  $Z=2$  in masnim številom  $A=4$ . Doseg delca alfa v zraku znaša nekaj centimetrov, v trdnih snoveh pa nekaj tisočink do nekaj stotink milimetra. Zaradi majhnega dosega je pri delu z zaprtimi sevalci alfa zadosten zaščitni ukrep primerna oddaljenost (več kot  $1 \mu\text{m}$ ).

### 2.3 Zaščita pred žarkovjem beta

Delci beta so negativno nabiti elektroni. Pri prehodu skozi snov delci beta izgubljajo svojo energijo zaradi ionizacije atomov snovi in zaradi stvarjanja zavornega žarkovja. Maksimalni doseg delcev beta je približno sorazmeren

z njihovo energijo in znaša v zraku nekaj metrov, v lažjih materialih (aluminij, steklo) nekaj milimetrov, v gostejših materialih (svinec, zlato) pa nekaj desetink milimetra. V praksi ne uporabljamo zaščitnih zaslonov pri kratkotrajnih manipulacijah s sevalci žarkovja beta, če njihova aktivnost ne presega 10 mCi. Za daljše čase in za večje aktivnosti pa je zaščita potrebna. Za zaščito pred žarkovjem beta uporabljamo materiale z manjšim vrstnim številom Z. Pri visokih energijah žarkovja beta moramo upoštevati tudi potrebo po zaščiti pred zavornim žarkovjem.

#### 2.4 Zaščita pred žarkovjem gama in rentgenskim žarkovjem

Žarki gama in rentgenski žarki niso materialni delci, ampak energija v obliki elektromagnetnega valovanja. Imenujemo jih tudi fotoni ali kvanti elektromagnetnega valovanja.

Prehod fotonov skozi snov se bistveno razlikuje od prehoda materialnih delcev. V tem primeru pride do interakcije med materijo in fotoni. Pri interakciji fotonov z energijami med 10 keV in 5 MeV prihaja do naslednjih pojavov:

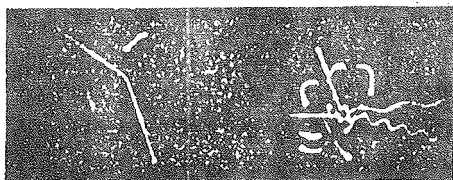
- fotoefekt (prevladuje pri energijah fotonov med 10 keV in 100 keV)
- Comptonov efekt (prevladuje pri energijah med 100 keV in 1,022 MeV)
- tvorba parov elektron-pozitron (nastopa pri energijah, večjih od 1,022 MeV).

V praksi se največ ukvarjamo z zaščito pred žarkovjem gama, ki pri prehodu skozi snov nima končnega dosega. Če v snop žarkovja gama postavimo zaslon iz nekega materiala, bo intenziteta snopa po izstopu iz zaslona oslabljena. Padanje intenzitete snopa pri prehodu skozi snov lahko v prvem približku prikažemo s funkcijo:

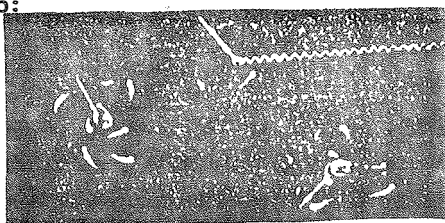
$$X = X_0 \cdot e^{-1,6 \cdot d/d_{1/2}}$$

Funkcija je grafično prikazana na sliki.

Interakcije med nenabitimi delci in snovjo:



Elastičen in neelastičen trk hitrega nevtrona z atomskim jedrom



Prodor počasnega nevtrona v jedro in sprožitve nuklearne reakcije.



Zajetje nevtrona in cepljenje težkega atomskega jedra.

### Absorpcija röntgenskega žarkovja in žarkovja gama v snoveh

Če v snop fotonov postavimo zaslon iz nekega materiala, bo intenziteta snopa po izstopu iz zaslona oslABLJENA. Padanje intenzitete snopa v materialu lahko v prvem približku podamo s funkcijo

$$X = X_0 \cdot e^{-\mu d} \quad \text{kjer pomeni}$$

$X_0$  intenziteto snopa ob vstopu v material,

$X$  intenziteto snopa ob izstopu,

$\mu$  absorpcijski koeficient, ki je odvisen od energije (trdote) žarkovja in od gostote ter vrstnega števila materiala,

$d$  debelina materiala

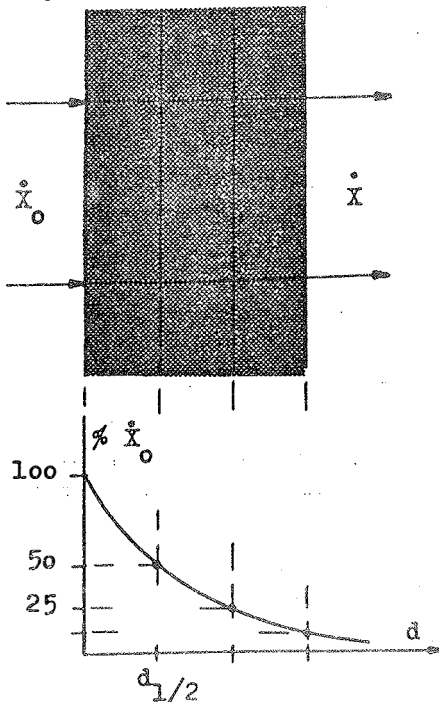
$e$  osnova naravnih logaritmov ( $e=2.718\dots$ )

Funkcija je grafično prikazana v spodnjem delu slike.

V praksi se absorpcija žarkovja v različnih materialih podaja z razpolovno debelino ( $d_{1/2}$ ), to je debelina materiala, ki oslabi intenziteto žarkovja določene energije na polovico. Za računanje slabljenja intenzitete žarkovja s pomočjo dane razpolovne debeline materiala uporabljamo enačbo

$$X = X_0 / 2^n$$

( $n$  = število razpolovnih debelin)



Grafični prikaz padanja intenzitete snopa fotonov pri prehodu skozi snov.

v praksi se absorpcija žarkovja gama in rentgenskega žarkovja podaja z razpolovno debelino ( $d_{1/2}$ ), to je debelina materiala, ki oslabi intenziteto žarkovja določene energije na polovico.

Razpolovna debelina posameznega materiala je močno odvisna od energije žarkovja in od vrstnega števila Z ter od gostote materiala.

V praksi se za izvajanje tehničnih zaščitnih ukrepov uporablja največkrat svinec ( $Z = 82$ ) in baritni beton, za izdelavo osebnih zaščitnih sredstev pa svinčena guma, svinčeno steklo in razne svinčene plastike.

Pri osebnih zaščitnih sredstvih je pomemben podatek "ekvivalent debeline svinca". Pri zaščitnih predpasnikih in rokavicah, ki jih običajno najdemo v trgovinah, je ekvivalent debeline svinca 0,25 do 0,5 mm, pri zaščitnih očalnih iz svinčenega stekla pa do 1 mm Pb. Omenjena zaščitna sredstva uporabljamo pri delu z viri, ki sevajo žarkovje energije do 150 keV (rentgensko žarkovje, žarkovje radioizotopa Tc-99m). Večina radioizotopov, ki jih uporabljamo v diagnostiki in terapiji, oddaja žarkovje z energijami od 400 keV do 1,3 MeV. Pri teh energijah žarkovja pa običajni zaščitni predpasniki in rokavice absorbirajo komaj še kakšen odstotek vpadlega žarkovja.

Zato pri delu z radioaktivnimi izotopi ne uporabljamo zaščitnih predpasnikov in rokavic iz svinčene gume. Uporabljamo pa

- svinčene kontejnerje in različne sefe za shranjevanje radioizotopov,
- zaščitna ohišja (n.pr. pri teleterapevtskih obsevalnih napravah),
- fiksne in premične zaščitne zašlone,
- različen pribor (prenosne kontejnerje, ščitnike za injekcijske brizgalkke, prijemala, manipulatorje itd.).

## 2.5 Zaščita pred nevtronskim žarkovjem

V zdravstvenih ustanovah le redko srečujemo vire sevanja, pri katerih nastopajo nevtroni. Navajamo samo en primer: pri obsevanju na linearnem pospeševalniku z žarkovjem energij nad 12 MeV pride do sproščanja nevtronov zaradi jedrskih reakcij.

Zaščitni ukrepi pred nevtronskim žarkovjem so:

- zaviranje hitrih nevtronov v plasteh parafina, vode ali plastičnih mas,
- absorpcija počasnih nevtronov v plasteh kadmija ali bora,
- absorpcija žarkovja gama, ki nastane ob jedrski reakciji ( $n, \gamma$ ).

## 2.6 Zaščita pri delu z odprtimi viri sevanj

Odprte radioaktivne snovi moramo pred uporabo razdeljevati, razredčevati, meriti, tehtati itd. Pri teh manipulacijah lahko pride ne samo do zunanje- ga obsevanja osebja, ampak tudi do inkorporacije teh snovi prek prebavnih ali dihalnih poti in tudi prek kože. Obstajajo možnosti, da se radioaktivne snovi nahajajo v delovnem okolju v obliki plina, aerosola, pa tudi v teko- či ali trdni obliki. Ukrepi zaščite pred sevanji, ki jih najpogosteje upo- rabljamo pri delu z odprtimi viri sevanja, so:

- uporaba osnovnih načel zaščite pred sevanji
- hermetizacija opreme, zato da bi izolirali procese, ki lahko postanejo viri razširjanja radioaktivnih snovi,
- organizacijski zaščitni ukrepi,
- uporaba osebnih zaščitnih sredstev (respiratorji, zaščitne maske, zaščit- na obleka, zaščitna obutev in rokavice za enkratno uporabo, različni pri- bor in oprema),
- spoštovanje pravil osebne higijene,
- radiološka in medicinska kontrola,
- vzgoja in pouk osebja.

## 2.7 Kontaminacija

Osnovna nevarnost, ki jo predstavljajo odprti viri sevanj, je stalna mož- nost kontaminacije. Radioaktivna kontaminacija je nezaželena prisotnost radioaktivnih snovi v količinah, ki so lahko škodljive za ljudi. Po drugi strani lahko kontaminacija negativno vpliva na natančnost eksperimentov in meritev. Lahko pride do kontaminacije delovnih in drugih površin, ob- leke in kože osebja ter živil, pa tudi do notranje kontaminacije z inkor- poriranjem radioaktivne snovi. Učinek inkorporiranih radioaktivnih snovi na organizem je odvisen od porazdelitve teh snovi na posamezne organe, od njihove občutljivosti za žarkovje in od reakcije celotnega organizma na motnje v delovanju posameznih organov.

Vsi predmeti, ki so v neposrednem dotiku z radioaktivnim materialom, posta- nejo aktivni zaradi površinske absorpcije ali zaradi por in brazd, v kate- rih se zadržujejo delci kontaminanta. Stopnja kontaminacije je lahko tako

velika, da intenziteta žarkovja na kontaminiranih površinah predstavlja resno nevarnost za zaposleno osebje.

Kontaminacija je tem bolj nevarna,

- čim večja je količina raztresenega kontaminanta,
- čim večja je njegova radiotoksičnost in
- čim daljša je razpolovna doba kontaminanta.

## 2.8 Dekontaminacija

Dekontaminacija površin je odstranjevanje radioaktivnih materialov s površin. Izvajanje dekontaminacije zahteva v praksi resno znanje, tako pri izbiranju metode kot pri ocenjevanju ekonomskih momentov. Zato opravljajo dekontaminacijo v vsakem resnejšem primeru specializirane ekipe.

Dekontaminacijo izvajamo po naslednjih postopkih:

- pranje z vodo,
- pranje z detergenti,
- ionska izmenjava (Večina površin absorbira iz raztopine katione. Ta pojav lahko uporabimo pri dekontaminaciji. Če je na primer kontaminant radioaktivni stroncij, ga lahko zamenjamo z neaktivnim kalcijem, če izpiramo površino z raztopino, ki vsebuje kalcijeve ione.),
- obdelava površin s kislinami ali lugi,
- obdelava površin z organskimi topili,
- mehanska obdelava in odstranjevanje gornje plasti.

## 2.9 Pacient z vstavljenimi radioizotopi, kot vir sevanja

V praksi pogosto slišimo vprašanje: Ali pacient po končanem diagnostičnem ali terapevtskem obsevanju z rentgenskim aparatom ali s teleterapevtsko obsevalno napravo še seva in koliko časa?

Odgovorimo lahko, da tak pacient po končani ekspoziciji ne seva več, ker se vsi elementarni akti medsebojnega učinkovanja med žarkovjem in snovjo odigravajo v milijardinkah sekunde. Seva samo pacient, ki ima inkorporirane zaprte ali odprte radioizotope. Zaprte radioizotope po končanem obsevanju odstranimo in spravimo v trezor. Potem pacient ne seva več.

Če pa ima pacient vstavljen odprt radioizotop, seva še nekaj ur, dni ali tednov – odvisno od vrste diagnostičnega ali terapevtskega posega. V tem času radioaktivna snov deloma razpade v neaktivno snov, deloma pa se izloči s telesnimi izločki. Razume se, da tudi aktivnost v izločkih razpade po zakonu o radioaktivnem razpadu.

Aktivnosti, ki ostane v pacientu po opravljenem radioizotopnem diagnostičnem ali terapevtskem posegu, imenujemo rezidualna aktivnost ali retenca. Rezidualna aktivnost s časom pada, zaradi razpada in zaradi izločanja radioaktivne snovi. V prvem približku lahko rezidualno aktivnost ocenimo po zakonu o radioaktivnem razpadu, pri čemer upoštevamo izločanje radioizotopa, in to tako, da vstavimo namesto fizikalne razpolovne dobe efektivno razpolovno dobo, ki jo izračunamo po obrazcu:

$$\frac{1}{T_{ef}} = \frac{1}{T_f} + \frac{1}{T_b}$$

$T_f$  je pri tem fizikalna razpolovna doba, ki jo najdemo v tabelah,  $T_b$  pa je biološka razpolovna doba, ki upošteva izločanje radioizotopa. Podatke o biološki razpolovni dobi navaja radiološka literatura, v nuklearnomedicinskih laboratorijih pa jih poznajo tudi iz lastne izkušnje.

Tabela na str. \_\_\_ navaja podatke o najpogostejših radioizotopnih diagnostičnih in terapevtskih posegih, na naslednjih dveh straneh pa je v logaritmičnem merilu približno izraženo

- padanje rezidualne aktivnosti s časom in
- padanje intenzitete žarkovja v razdalji 1 m od pacienta, v višini kritičnega organa

za nekaj različnih posegov. Z znakom + je v grafih označena rezidualna aktivnost oz. čas po aplikaciji radioizotopa, ko smemo pacienta odpustiti s posebnega oddelka bolnišnice.

Za diagnostične namene prejme pacient 4 do 200 MBq (0,1 do 6 mCi), redkeje več. Terapevtske doze radioizotopov (večinoma J-131 oralno ali koloidno zlato Au-198 intraplevralno ali intraabdominalno) pa so skoraj vedno med 1,5 in 5,5 GBq (med 40 in 150 mCi).



Po diagnostičnem posegu sme pacient zapustiti bolnišnico, ker so aplicirane doze relativno majhne. Izotopa F-18 in Tc-99m imata tudi tako kratko razpolovno dobo, da pade rezidualna aktivnost že v nekaj urah na nemerljivo vrednost. Izotopi Ga-67, Se-75, Sr-89 in J-131 imajo sicer daljše razpolovne dobe, aplicirane doze pa so manjše.

Po terapevtskem posegu mora pacient - zaradi velike prejeté doze radioizotopa - ostati nekaj dni na posebnem oddelku bolnišnice, kjer ne sme sprejemati obiskov, streže pa mu posebej za to usposobljeno osebje. Ta oddelek sme zapustiti šele potem, ko pri njem rezidualna aktivnost pade na predpisano vrednost:

|           |          |          |          |
|-----------|----------|----------|----------|
| za J-131  | 0,55 GBq | (15 mCi) | 3,2 mr/h |
| za Au-198 | 0,37 GBq | (10 mCi) | 2,3 mr/h |

(Gl. Uradni list SFRJ 1986/40, str. 1172, čl. 53)

V zadnji koloni so vpisane še ustrezne izračunane vrednosti za intenziteto žarkovja v razdalji 1 m od pacienta, pri katerem je navedena rezidualna aktivnost. V praksi določamo čas, ko smemo pacienta odpustiti s posebnega oddelka, prav z meritvijo intenzitete žarkovja v razdalji 1 m.

Ob odhodu v domačo nego izročimo pacientu pismena navodila o najnujnejših ukrepih (str. ).

V teku prvih dveh dni po oralni aplikaciji terapevtske doze J-131 pacient intenzivno izloča radioizotop z urinom. Izloči ga od 70 do skoraj 100 %. Preostanek (ca. 30 %) radioizotopa se zbere v ščitnici in jo notranje obseva. Po dveh dneh, ko pade koncentracija J-131 v krvi na nižje vrednosti, začne ščitnica v manjši meri oddajati jod, ki se v naslednjih dneh še vedno malenkostno izloča z urinom. V prvem približku pa lahko ocenimo padanje rezidualne aktivnosti v naslednjih dneh, če pri izračunu razpada upoštevamo samo fizikalno razpolovno dobo akumuliranega joda.

Pri intrapleuralni ali intraabdominalni aplikaciji koloidnega zlata (Au-198) so razmere drugačne. Skoraj vsa aplicirana količina zlata se fiksira na plevri oz. na peritoneju, zato se koloidno zlato ne izloča. Padanje rezidualne aktivnosti s časom lahko predvidimo s pomočjo zakona o razpadu. Upoštevamo seveda fizikalno razpolovno dobo (2,7 dni).

Če je pacient nekaj dni po aplikaciji koloidnega zlata podvržen punkciji, najdemo majhen del aplicirane aktivnosti tudi v punktatu (0 do 5 %). Punktat je vedno tako nizkoaktiven, da ga smemo zlititi v fekalno kanalizacijo.

Iz povedanega izhajajo pravila, ki jih moramo upoštevati, kadar imamo opravka s pacientom, ki je prejel odprt radioizotop:

- Prvi dan po aplikaciji diagnostičnih doz radioizotopov se izogibljemo dolgotrajnejšemu stiku s pacientom; nego in preiskave omejimo na najnujnejše.
- V času treh dni po preiskavah z Ga-67 naj pacient ne bi bil podvržen kirurškim posegom, če to ni nujno potrebno.
- Po aplikaciji terapevtske doze J-131 ali Au-198 pacienta odpustimo s posebnega oddelka bolnišnice šele potem, ko pade rezidualna aktivnost na predpisano vrednost (15 oz. 10 mCi). To se zgodi po približno 3 do 10 dneh. Po odpustu s posebnega oddelka bolnišnice je pacient še vedno aktiven, vendar v domači negi zadošča, če se drži navodil, ki jih je prejel ob odpustu. Pacienta ne tretiramo več kot aktivnega, ko pade njegova rezidualna aktivnost pod 1 mCi. To traja pri aplikaciji Au-198 približno 18 dni, pri aplikaciji J-131 pa 8 do 40 dni (odvisno od količine J-131, ki se je nakopičil v ščitnici).

## NAVODILA PACIENTOM, KI SO PREJELI TERAPEVTSKO KOLIČINO J-131

Dobili ste zdravilno količino radioaktivnega joda. Radioaktivni jod se hitro nakopiči v ščitnici, vendar pa se izloča tudi s slino in z urinom. Količina radiojoda v vašem telesu pa ni tolikšna, da bi vas morali zadrževati v bolnišnici.

Da bi preprečili nepotrebno izpostavljenost vaše družine, predvsem otrok in nosečnic, vsakršnemu radioaktivnemu sevanju, priporočamo, da še en teden ne spite skupaj z otroki in nosečnicami, jih ne pestujete oziroma ne poljubljate.

Po jedi splaknite svoj jedilni pribor pod tekočo vodo, še preden ga pomijete skupaj z ostalo posodo.

Po opravljeni potrebi straniščno školjko splaknite z vodo in si vsakokrat skrbno umijte roke.

Vodja radioizotopnega laboratorija

## NAVODILO PACIENTOM, KI SO PREJELI TERAPEVTSKO KOLICINO

Au-198

Dobili ste zdravilno količino radioaktivnega zlata. Količina radioaktivne snovi v vašem telesu pa ni več tolikšna, da bi vas morali zadrževati v bolnišnici.

Da bi preprečili nepotrebno izpostavljenost vaše družine, predvsem otrok in nosečnic, radioaktivnemu sevanju, priporočamo, da še en teden ne spite skupaj z otroci in nosečnicami in da se ne zadržujete dalj časa v njihovi neposredni bližini.

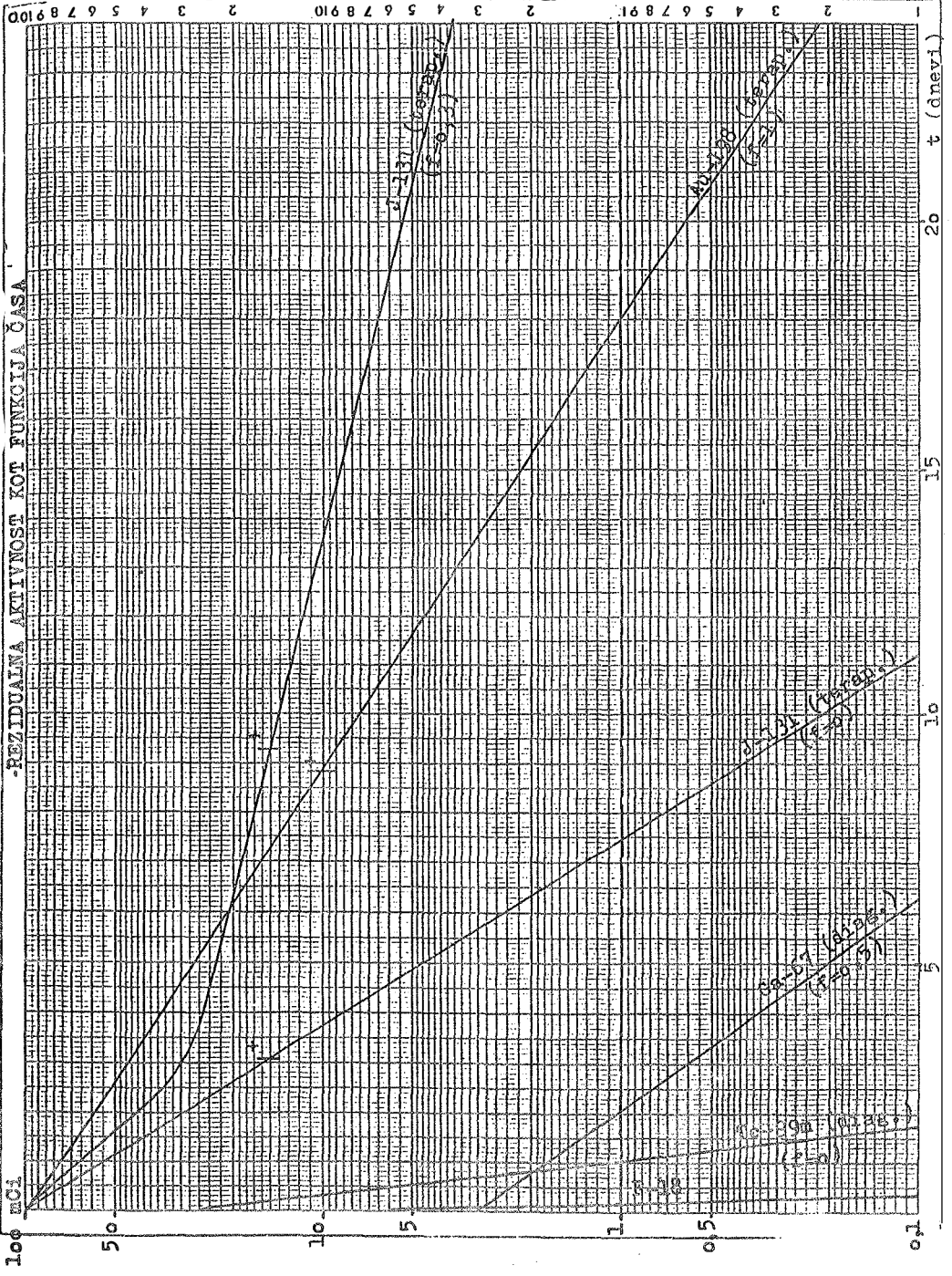
Vodja brahiterapevtskega oddelka

OSNOVNE FORMULE ZA IZRACUN PARAMETROV ZASCHITE PRED SEVANJEM

| IZRACUN   | ENACRA  | POMEN OZNAK   | ENOTA  |
|---|---|---|--|
| 1. padanje aktivnosti s časom   | $\frac{A_t}{A_0} = \frac{1}{2^{nT}}$ $= e^{-n \cdot 1n2}$ $= e^{-0,693 \cdot t/T_{1/2}}$ $= e^{-t}$   | <p><math>A_0</math> začetna aktivnost</p> <p><math>A_t</math> aktivnost po času <math>t</math></p> <p><math>T_{1/2}</math> razpolovna doba</p> <p><math>n</math> razpadna konstanta</p> <p><math>n = t/T_{1/2}</math> število rozp. dob</p> <p><math>1n2 = 0,693</math>; <math>e = 2,718</math>..</p>             | <p><math>Ci</math></p> <p><math>Ci</math></p> <p>s, min, h, d., s, min, ...</p> <p><math>s^{-1}</math></p> <p>s, ...</p>   |
| 2. padanje intenzitete snopa žarkovja gama ali X pri prehodu skozi plast absorberja | $\frac{\dot{X}}{X_0} = \frac{1}{2^n}$ $= e^{-n \cdot 1n2}$ $= e^{-0,693 \cdot d/d_{1/2}}$ $= e^{-ud}$ | <p><math>\dot{X}</math> intenz. vpadlega snopa</p> <p><math>X</math> intenz. prepušč. snopa</p> <p><math>d</math> debelina absorberja</p> <p><math>d_{1/2}</math> razpolovna debelina</p> <p><math>n = d/d_{1/2}</math> število rozp. debelin</p> <p><math>u = 1n2/d_{1/2}</math> linearni absorp. koeficient</p> | <p>R/h</p> <p>R/h</p> <p>cm, m</p> <p>cm, m</p> <p><math>cm^{-1}</math></p> <p><math>m^{-1}</math></p> <p><math>C/kg \cdot s</math></p> <p><math>C/kg \cdot s</math></p> <p>m</p> <p>m</p> |
| 3. intenziteta žarkovja v okolici točkastega sevalca gama                           | $\dot{X} = I \cdot A/r^2$   | <p><math>A</math> aktivnost vira</p> <p><math>r</math> oddaljenost od vira</p> <p><math>I</math> konstanta sevanja</p>  | <p><math>Ci</math></p> <p><math>cm^2</math></p> <p><math>R \cdot m^2/h \cdot Ci</math></p> <p><math>C \cdot m^2/kg \cdot s \cdot Bq</math></p>   |
| 4. prejete doze   | $X = \dot{X} \cdot t$   | <p><math>X</math> doza žarkovja</p> <p><math>\dot{X}</math> intenziteta</p> <p><math>t</math> čas ekspozicije</p>   | <p>R</p> <p>R/h</p> <p>s, h</p> <p>C/kg</p> <p>C/kg.s</p> <p>s</p>   |



-REZIDUALNA AKTIVNOST KOT FUNKCIJA ČASA



**ODFRTI RADIOIZOTOPPI ZA DIAGNOSTIČNE IN TERAPEVTSKE  
NAMENE**

| IZOTOP            | P R E I S K A V A   | APLIC.<br>MBq | DOZA<br>mCi | F I K S A C I J A % | EGSKRECIJA % | f <sup>T</sup> | ef <sup>T</sup> | (A <sub>T</sub> <sup>t</sup> = 1mCi) |
|-------------------|---------------------|---------------|-------------|---------------------|--------------|----------------|-----------------|--------------------------------------|
| 32-P-15           | terapija            | 550           | 15          | 100                 | intraabd.    | 14d            | 14d             | 55 d                                 |
| 67-Ga-31          | iskanje tumorjev    | 110           | 3           | 50                  | tumor, jetra | 78h            | 18h             | 48 h                                 |
| 75-Se-34          | scint. pankreasa    | 15            | 0,4         | 100                 | jetra in dr. | 122d           | 122d            |                                      |
| 89-Sr-38*         | terap. kost. mt.    | 74            | 2           | 50                  | metastaze    | 53d            | 24h             | 24 h                                 |
| 99m-Tc-43         | scintigr. jeter     | 74            | 2           | 100                 | jetra        | 6h             | 6h              | 6 h                                  |
|                   | hepatobliografija   | 55            | 1,5         | 0                   | faeces       | 6h             | 6h              | 5 h                                  |
|                   | scint. možganov     | 900           | 25          | 0                   | urin         | 6h             | 5h              | 24 h                                 |
|                   | scint. skeleta      | 550           | 15          | 50                  | urin         | 6h             | 4h              | 12 h                                 |
|                   | scint. ščitnice     | 74            | 2           | 10                  | urin         | 6h             | 4h              | 2 h                                  |
| ventrikulografija | 550                 | 15            | 80          | eritrociti          | 6h           | 6h             | 24 h            |                                      |
| 113m-In           | scintigr. jeter     | 15            | 0,4         | 100                 | jetra 1      | 1,7h           | 1,7h            |                                      |
| 131-I-53          | testiranje ščitnice | 4             | 0,1         | 30-50               | urin         | 8d             | 0,5d            |                                      |
|                   | iskanje metastaz    | 37            | 1           | 0-30                | urin         | 8d             | 0,5d            |                                      |
|                   | renografija         | 3             | 0,07        | 0                   | urin         | 8d             | 10m             |                                      |
|                   | terapija ščitnice   | 5500 (do 150) |             | 30                  | urin         | 8d             |                 | 5 do 40 d                            |
| 198-Au-79         | terapija            | 3700          | 100         | 100                 | intraabd.    | 2,7d           | 2,7d            | 18 d                                 |

S + označeni radioizotopi so čisti sevalci beta. Žarkovje beta označenih dveh radioizotopov se popolnoma absorbira v 3 mm debeli plasti mehkega tkiva. Dovoljena rezidualna aktivnost izotopa 32-P-15 ob odpustu bolnika znaša 1,1 GBq (30 mCi).