

---

# OSNOVE RADIOTERAPIJE

Hotimir Lešničar

## UVOD

S skupnim imenom radioterapija imenujemo različne načine zdravljenja, pri katerih uporabljamo ionizirajoče sevanje (IS). Uporabna je predvsem pri zdravljenju malignih tumorjev, v nekaterih primerih pa jo uporabljamo tudi pri zdravljenju benignih (neonkoloških) sprememb. Osnovni odkritji, ki sta omogočila uporabo ionizirajočega žarčenja v medicini sta bili odkritje **rentgenskih žarkov** (imenovanih tudi žarki X) leta 1896 in odkritje **naravnega sevanja** (žarki alfa ( $\alpha$ ), žarki beta ( $\beta$ ) in žarki gama ( $\gamma$ )) leta 1897). V stoletju, ki je sledilo tem odkritjem, je tehnološki razvoj omogočil velik napredek v:

- a) **diagnostiki** (rentgenske aparature, računalniška tomografija (CT), nuklearna medicina), posredno pa tudi razvoj ultrazvoka in magnetnih resonanc;
- b) **terapiji** (rentgenske aparature, kobaltni izvor, pospeševalniki, nizko in visokoaktivni radioaktivni izvori za izvajanje brahiradioterapije);

Znanje o uporabnosti IS v medicini se je razmahnilo predvsem po 2. svetovni vojni, hkrati pa tudi zavedanje o njegovi pogubnosti za življenje. To je privedlo do razvoja novih ved oziroma dejavnosti kot so **radiofizika**, **radiobiologija** in **zaščita pred sevanjem**. Šele ta znanja so omogočila, da lahko danes radioterapijo uporabljamo v vsakodnevni praksi in dovolj varno za bolnike in tudi za osebje, ki sodeluje v procesu zdravljenja. Zaradi pomanjkljivega izobraževanja je prav področje uporabe IS v medicini prepogosto predmet tako laičnih kot strokovnih razprav. Dodatno zmedo na tem področju vnaša tudi zdajšnja zakonodaja, ki še vedno zagovarja skrajšano delovno dobo in več dopusta za tiste zaposlene, ki so v neposrednem stiku z IS pri diagnostičnih in terapevtskih posegih. Že z zdaj veljavnimi postopki zaščite pred IS namreč moramo (in smo tudi sposobni) preprečiti morebitne škodljive učinke njihovega delovanja. Medicinsko osebje pa mora biti s tem dobro seznanjeno.

---

**Definicija ionizirajočega sevanja:** to je žarčenje, ki na poti skozi snovi (tudi zrak ali organsko tkivo) povzroča **ionizacijo**. Ta fizikalni pojav pomeni, da žarki zaradi velike energije, pri trku z atomi, ki so na njihovi poti, izbijajo elektron iz tega atoma in s tem spremenijo njegovo stabilnost. Tak atom, imenovan ion, se zdaj bistveno lažje združuje z drugimi atomi v naključne povezave. Na kratko, pri občutljivih bioloških strukturah to lahko privede do razpada obstoječih molekularnih vezi ali pa do ustvarjanja novih, nesmiselnih in motečih struktur.

Ionizirajoče sevanje je lahko:

- **Elektromagnetno valovanje** velikih energij, ki nastane ali kot produkt radioaktivnega razpada atomskih jeder (npr. izotopa kobalt-60) ali pa ga v posebnih razmerah s pomočjo pospešenih elektronov pridobivamo v t.i. **retgenskih aparaturah** in nekoliko bolj zapletenih napravah, imenovanih **pospeševalniki** (akceleratorji).
- Obsevamo pa lahko tudi z **delci atoma**, ki prav tako povzročajo ionizacijo. Tipični predstavniki takega sevanja so **elektroni**.

## RADIOTERAPIJA V ONKOLOGIJI

Poleg kirurgije je pri zdravljenju rakavih obolenj najpogosteje uporabljamo obsevalno metodo zdravljenja. Pri modernih načinih zdravljenja skupaj s kirurgijo in s sistemskim (citostatskim in hormonskim) zdravljenjem daje bolnikom za zdaj največ možnosti za ozdravitev.

1. Praviloma IS uporabljamo za lokalno oziroma regionalno zdravljenje, t.j. učinkovanje na strogo določenih predelih organizma, izjemoma pa ga uporabljamo tudi kot sistemsko zdravljenje celega organizma.
2. Pri uporabi IS moramo ukreniti vse potrebno za učinkovito zaščito bolnika in osebja pred neželenimi učinki.

Na splošno ločimo tri načine uporabe IS v radioterapiji:

- a) **Teleradioterapija (TRT)** imenujemo način zdravljenja, pri katerem je izvor sevanja od bolnika oddaljen (starogrška predpona tele-pomeni daleč)
- b) **Brahiradioterapija (BRT)** z »zaprtimi« **viri sevanja** je način zdravljenja, pri katerem je izvor sevanja vstavljen v neposredno bližino tumorja (predpona brahi- v stari grščini pomeni blizu, kratko).

- 
- c) **Terapija z radionuklidi oziroma »odprtimi« viri** sevanja pomeni uporabo radioizotopov, ki jih same ali vezane na nosilec vbrizgamo v bolnikov organizem.

## I. TELERADIOTERAPIJA (TRT)

Pri tem načinu radioterapije uporabljamo **obsevalne naprave**, pri katerih je izvor IS zunaj bolnikovega telesa. Obsevalni žarki morajo torej prepotovati neko razdaljo do bolnikovega telesa, da lahko nanj učinkujejo. Ker je prodornost teh žarkov velika, lahko žarki iz takih aparatov povzročijo (neželene) učinke tudi na večje daljave. V prostore v katerih so take obsevalne aparature nameščene, moramo zato vgraditi dodatne oblike zaščite, ki preprečujejo vdor žarčenja v okolico. Naprave, ki jih uporabljamo pri TRT, imenujemo **rentgenske** ali tudi kilovoltne aparate ter **telekobalt** in **linearni akcelerator**, ki sta megavoltni aparaturi.

Bistvo TRT je, da žarki lahko prodrejo v kateri koli predel telesa in pogojno uničijo tudi tiste tumorske celice, ki so za kirurško odstranjevanje nedostopne. Ker jo lahko kombiniramo s sistemskimi načini zdravljenja, jo lahko uporabljamo tudi pri večini kurativnih in paliativnih zdravljenj.

### 1. Fizikalno-tehnične lastnosti

- a) **Rentgenske aparature** se bistveno ne razlikujejo od tistih, ki jih uporabljamo v diagnostiki. Žarke pridobivamo s pomočjo pospešenih elektronov v vakuumski cevi. Ko se ti elektroni zaletijo v posebno tarčo, pri prodiranju vanjo izzovejo več fizikalnih pojavov, med njimi tudi tako imenovano »zavorno sevanje«, ki ga imenujemo tudi X ali rentgenski žarki oziroma fotoni.
- b) **Pospeševalniki** (akceleratorji) so le bolj zapletene rentgenske naprave. V osnovi prav tako proizvajajo žarke X (fotone), vendar imajo ti v primerjavi z rentgenskimi žarki 100 – 1000-krat višjo energijo. To dosežemo tako, da elektrone v vakuumu na njihovi poti do tarče še dodatno pospešujemo s tako imenovanimi elektromagnetnimi lečami.
- c) **Telekobalt** je posebna naprava, v katero je nameščen radioizotop kobalt-60. Ta zaradi radioaktivnega razpada stalno izžareva sevanje gama. Pri njegovi uporabi pa obstaja velik problem. Ker izvor seva stalno, lahko v primeru ele-

---

mentarne nesreče pride do raztroša in kontaminacije z radioaktivnim elementom, kar povzroča potencialno nevarnost za okolje in ljudi.

Če združimo nekatere prednosti in slabosti naštetih aparatov, moramo povedati, da ima uporaba pospeševalnikov absolutno prednost pred drugimi napravami, ker so varni za okolje, omogočajo obsevanje globokih (žarki X) in površinskih (elektroni) sprememb, a so dragi in potrebujejo tudi stalno vzdrževanje.

## 2. Radiobiološka spoznanja

S številnimi raziskavami je podprto dejstvo, da je osnovna biološka tarča IS genski material celice oziroma deoksiribonukleinska kislina (DNK), ki je v jedru večine celic. Učinek IS na to, izredno veliko molekulo, je tak, da sevalni žarek (ali delec) ob tem, ko zadene DNK, prekine nekatere atomske vezi v molekuli. DNK ima dvojno vijačnico. Poškodba ene od njiju je popravljiva, poškodba obeh pa sicer smrtna, vendar silno redka. Seveda mora imeti celica na voljo dovolj popravnega materiala in dovolj časa za popravilo poškodbe. In prav ta dva pogoja s pridom uporabljamo v TRT.

S tako imenovano **frakcionacijo** (delitvijo celotne doze obsevanja v več manjših odmerkov) namreč dosežemo, da se poškodba v zdravem tkivu lahko popravi, v tumorju pa se zaradi nenadzorovane rasti ne more. Če bo obsevanje dobro usmerjeno le na oboleli predel, se bo poškodba kopičila predvsem v tumorju, ki bo zato odmrl, okoliško zdravo tkivo pa bo preživelo. Ker IS najbolj prizadene hitro deleče se celice, bodo med zdravimi tkivi največ poškodb utrpeli koža in sluznice v obsevanem področju. Na srečo so te poškodbe **ob dobri negi** praviloma popolnoma popravljive.

## 3. Izvajanje TRT

Proces pričnemo na **simulatorju**, t.j. posebni rentgenski aparaturi (ali na napravi CT), ki nam omogoča da natančno določimo obsevalno polje oziroma volumen. Zdravnik ob pomoči inženirjev radiologije izdelava podroben potek obsevanja, ki je prirejen vsakemu bolniku in njegovi bolezni. V strokovni skupini sodeluje tudi radiofizik, ki z računalnikom izbere najboljšo možnost uporabe določenih obsevalnih naprav in izriše obsevalni načrt.

---

#### 4. Klinična uporabnost TRT v onkologiji

Od vseh načinov radioterapije je klinična uporabnost TRT daleč največja. S pravih načini načrtovanja zdravljenja je uporabna za površinske in globoko ležeče tumorje. Po osnovnem namenu ločimo naslednje načine uporabe TRT v kliniki:

- a) **Odločitev za kurativno TRT** pomeni, da želimo tumor pozdraviti le z obsevanjem ali pa v kombinaciji npr. s citostatiki (govorimo o kemo-radioterapiji). Uporabljamo jo pri kožnih tumorjih, tumorjih otorinolaringološkega področja, ginekoloških in pljučnih tumorjih, karcinomu prostate in mehurja. Ozdravitve so odvisne predvsem od tega, koliko je bolezen že napredovala.
- b) **Pooperativno ali adjuvantno TRT** izvajamo zato, ker z operacijo ni mogoče vedno odstraniti vseh tumorskih celic. Z obsevanjem namreč lahko prodremo tudi v področja, ki so kirurgiji težko dostopna. Tako zdravimo tumorje dojke, otorinolaringološkega področja in ginekološke tumorje.
- c) **Paliativna TRT** je široko uporabljena obsevalna metoda. Uporabna je predvsem pri tumorjih, ki so že napredovali, in inoperabilnih tumorjih ter pri izčrpanih in oslabeledih bolnikih. Z nekaj obsevanji ali celo z enim samim, lahko bistveno omilimo bolečine in druge spremljajoče simptome, kar bolnikom izboljša kakovost življenja. V take namene lahko izjemoma uporabljamo tudi metodo **obsevanja polovice telesa**, ki jo izvajamo v dveh delih.

#### 5. Toksičnost zdravljenja s TRT

S toksičnostjo razumemo škodljive učinke na zdravem tkivu. Le-ti so odvisni od celotne tumorske doze, občutljivosti tkiv za IS ter volumna obsevanega področja. O **zgodnjih** (akutnih) posledicah govorimo, kadar ocenjujemo učinke na tistih tkivih, ki jih sestavljajo **hitro deleče se celice**. Za učinke IS sta pomembni predvsem koža in sluznica. Pri frakcionirani TRT se praviloma po 14 dnevih pojavita radiodermatitis (vnetje kože) in radio-mukozitis (vnetje sluznice). Pomembno je, da obsevanja kljub tem pojavom ne prekinjamo, saj se spremembe v 2-3 tednih po končanem obsevanju večinoma popolnoma pozdravijo.

K **pozni** posledicam prištevamo predvsem podkožno fibrozo, nekatere spremembe na žilju, edem in nekrozo obsevanega področja. Ker gre za učinek na tkiva, ki jih sestavljajo **počasi deleče se celice**, sprememb med obseva-

---

njem ne opazimo, ampak se pojavijo čez nekaj mesecev, ko na njihov razvoj ne moremo več vplivati. Izognemo se jim lahko z izjemno natančnim načrtovanjem obsevanja, s postopnim zmanjševanjem obsevanega volumna in ščitenjem zdravega tkiva. Take posledice so bolj očitne pri bolnikih, ki so bili poleg obsevanja zdravljeni tudi z operacijo in/ali s kemoterapijo. Nekaterim blažjim posledicam se ne moremo izogniti, nastanek težjih posledic pa lahko povsem preprečimo z uporabo najmodernejših obsevalnih metod.

## 6. Zaščita pred sevanjem pri TRT

Obsevalne aparature so nameščene v posebnih prostorih, do katerih imajo dostop le pristojne osebe. Okolica teh prostorov mora biti varna za vse spremljevalce bolnikov. Pomembno je vedeti, da **bolnik, ki je bil obsevan s TRT, za okolico ni nevaren**. Žarki, s katerimi je bil obsevan, so se ali absorbirali ali pa so prešli skozi organizem. Zato tak bolnik tudi takoj po končanem obsevanju »ne seva«. Lahko se vrne v svojo bolniško sobo ali pa gre na avtobus in domov. Medicinske sestre takega bolnika lahko negujejo ali hranijo neposredno po obsevanju oziroma ves čas trajanja zdravljenja.

## 7. Vloga medicinske sestre pri bolnikih, zdravljenih s TRT

Podporna terapija in nega onkološkega (s tem pa tudi obsevanega) bolnika sta danes že prerasli v posebno področje medicinske nege. O tem obstajajo posvetovanja na mednarodni ravni in ni pomembnejšega medicinskega učbenika, ki ne bi vseboval tudi poglavja o negi onkoloških bolnikov. Načela za nego kože in sluznic, vzdrževanje različnih kirurško narejenih odprtih (stom) ter načela prehranjevanja so samo nekatera od pomembnih področij zdravstvene nege onkološkega bolnika. Poznati jih morajo ne le medicinske sestre v bolnišnici, temveč predvsem medicinske sestre, ki izvajajo zdravstveno nego na domu. Tej problematiki bodo zato posvečena posebna poglavja v tem zborniku.

## II. BRAHIRADIOTERAPIJA (BRT)

Osnovna prednost BRT je v tem, da vir sevanja vstavimo v neposredno bližino tumorja ali celo v tumor sam. **Biološko** tako dosežemo koncentracijo sevalne poškodbe v tumorju, zaradi zmanjševanja doze v smeri proti okolici pa so

---

---

poškodbe zdravega tkiva bistveno manjše. Pomembna **fizikalno tehnična značilnost** BRT je, da kot vir IS vedno uporabljamo le radioizotope v obliki zrn ali žic. Najpogostejša sta iridij-192 in cezij-173. Radioizotopi so shranjeni v varovalnih trezorjih, ki so del mobilne naprave za tako imenovano **poznejše polnjenje**. BRT **izvajamo** tako, da v tumor najprej vstavimo posebna vodila, nato napravo pripeljemo do bolnika in jo povežemo s temi vodili. S pomočjo natančnega mehanizma nato radioizotop iz trezorjev privedemo v vodila, ki smo jih pred tem namestili. Radiofizik s pomočjo računalnika natančno določi trajanje obsevanja, ki pri nizko aktivnih sevalcih traja več dni, pri visoko aktivnih pa le nekaj minut. Naprava omogoča, da **v času hranjenja in nege**, sevalec začasno odstranimo iz bolnika in s tem zaščitimo zdravstveno osebo pred sevalnimi učinki. **Biološka učinkovitost** BRT je v tem, da najozje področje tumorja obsevamo z višjimi dozami kot pa je to mogoče pri TRT. Velikokrat lahko kombiniramo obsevanje z BRT in s TRT. Tako lahko obsevamo predvsem ginekološke tumorje (intrakavitarna BRT), tumorje požiralnika in sapnice (intraluminalna BRT) in tumorje v ustni votlini (intersticijska BRT). Za tako terapijo so bolniki sprejeti na posebno opremljene oddelke, saj je **bolnik z vstavljenimi viri IS za okolico nevaren**. Torej v času obsevanja nego takih bolnikov lahko izvajajo le **posebno usposobljene medicinske sestre**. Po končanem obsevanju se tako zgodnje kot pozne posledice obravnavajo po istih načelih kot pri TRT.

### III. TERAPIJA Z RADIONUKLIDI

Pri tem načinu BRT uporabljamo radiofarmake in radionuklide in jih v tekoči obliki vbrizgamo v telesne votline ali v kri bolnika. V te namene uporabljamo tako imenovane **kratkoživeče izotope**, katerih razpolovna doba sevanja je kratka, oziroma se tudi hitro izločijo iz telesa. Najpogosteje uporabljamo radiojod-131, ki se selektivno kopiči v ščitnici, nekaterih tumorjih te žleze in celo njihovih metastazah. Pri paliativnem zdravljenju kostnih metastaz uporabljamo fosfor-32 in stroncij-90, ker se kopičita v kosteh. Zlato-198 pa je primerno za terapijo metastaz v plevralni in peritonealni votlini. Tak način zdravljenja uporabljamo pri karcinomu ščitnice in pri oblnikih, pri katerih so druge možnosti izčrpane. V obdobju, ko vsebuje večje količine radioizotopa, je tak **bolnik nevaren za okolico**. Šele ko natančne meritve pokažejo, da je intenzivnost žarčenja upadla na raven sevanja naravnega ozadja, lahko takega bolnika odpustimo z zaprtega oddelka. Vsekakor nego takih bolnikov izvajajo le **posebno usposobljene medicinske sestre**, izvaja pa se na specializiranih oddelkih.

---

## POVZETEK

Terapevtska uporaba IS, ki jo izvajamo le na Onkološkem inštitutu, vsako leto v Sloveniji omogoča ozdravitev več tisoč rakavim bolnikom. Zaradi potencialne nevarnosti za okolico, osebje in bolnika je radioterapija najstrože nadzorovano terapevtsko področje v medicini nasploh. Postopno opuščanje manj zanesljivih metod in izvajanje določil zaščite pred IS omogoča bolnikom in osebju optimalno varnost. Dejstvo je namreč, da nadzorovana uporaba IS raka lahko uniči, nenadzorovano učinkovanje IS pa ga lahko izzove. Izsledki nedavno opravljene raziskave, da se v zadnjih 30 letih med uslužbenci Onkološkega inštituta stopnja pojavnosti raka ne razlikuje od slovenskega povprečja, posredno dokazujejo tudi učinkovitost zaščite pred IS v tej ustanovi. Da bi se učinki IS pri ljudeh z geni prenašali na potomce, pa ni dokazano niti na potomcih ljudi, ki so preživeli padec atomske bombe. Drug problem pa je dejstvo, da smo v zadnjih 30 letih pri nekaj 10 bolnikih, ozdravljenih raka, (tudi z obsevanjem) opazovali pojav s terapijo povzročenega drugega primarnega raka. Nekaj teh bolnikov, ki so jih pravočasno znova zdravili, je preživelo tudi drugega raka. To pomeni, da je med obsevanimi bolniki verjetnost, da se bo pojavil rak, izzvan z obsevanjem, 1/1000. Čeprav se morda komu zdi primerjava nespodobna, pa je dejstvo, da je med zdravimi kadilci ta verjetnost 1/10. Ker kajenje ne koristi, lahko rečemo vsaj to, da radioterapija bistveno bolj koristi kot škoduje.

### ***Priporočena literatura:***

1. Fras AP, ed. *Onkologija*. Ljubljana: Katedra za onkologijo in radioterapijo, Onkološki inštitut, 1994.
2. Lešničar H. *Radioterapija, kaj je to?* *Onkologija* 1997; 1: 4-12.
3. Lešničar H. *Paliativna radioterapija in njen smisel*. *Onkologija* 1999; 3: 65-7.
4. Lestan A. *Pogostnost raka med delavci na Onkološkem inštitutu v Ljubljani s posebnim poudarkom na delovnih mestih, izpostavljenih ionizirajočemu sevanju in citostatikom*. Magistrsko delo. Ljubljana: Medicinska fakulteta, 1999.