

## Stereotaktična tehnika v radioterapiji

**Božidar Casar, Primož Strojani**

### Uvod

Izraz *radiokirurgija* je leta 1951 uvedel švedski nevrokirurg Lars Leksell in z njim opisal metodo zelo natančnega obsevanja majhnih področij v možganih. S skromnim 200 kV rentgenskim aparatom je z več smeri obseval izbrano področje, kar pa se je zaradi nizke energije žarkov izkazalo za neustrezno. Žarki niso prodrli dovolj globoko v bolnikovo tkivo, zato se je takšno zdravljenje v nekaj letih opustilo (1).

Leta 1968 je zanimanje za novo tehniko znova oživilo: isti zdravnik je prvič klinično uporabil prototip obsevalnega aparata s 179 radioaktivnimi izvori kobaltovega izotopa  $^{60}\text{Co}$ . Žarki iz kobaltovih izvirov so bili ustrežnejši, ker so prodornejši, saj omenjeni izotop seva fotone s povprečno energijo 1,25 MeV. Izviri so bili razporejeni po krogelnem segmentu, žarki pa so bili kolimirani (usmerjeni) tako, da so imeli skupno presečišče – žarišče v isti točki. Za ta aparat se je uveljavilo ime »Gamma kniže« (nož gama). Visoka cena, ekološki problemi, povezani z radioaktivnim materialom, in omejena uporaba »gama noža« samo za nekatere možganske lezije z zelo majhnim volumnom so narekovali intenzivno iskanje novih rešitev. Tako je bila leta 1974 za potrebe radiokirurgije predlagana uporaba linearnih pospeševalnikov, prvi klinični rezultati pa so bili objavljeni sredi osemdesetih let. Danes z imenom stereotaktična radiokirurgija (SRK) opredeljujemo obsevalno tehniko, temelječo na stereotaktičnih principih opredelitve tarče in izvedbe obsevanja, ki obsega eno samo frakcijo in uporabo večjega števila nekoplanarnih žarkov (žarkov, ki ne ležijo v isti ravnini). Najpomembnejša prednost SRK pred klasičnim obsevanjem je njena natančnost: ta znaša pri stereotaktičnem obsevanju nekaj desetink milimetra, medtem ko se v drugem primeru giblje znotraj 5 mm. Z uvedbo linearnih pospeševalnikov v vsakdanje klinično delo in z njihovo nadgradnjo za potrebe stereotaktičnega obsevanja je postala SRK dostopna najširšemu krogu terapevtov (1–3). Z izkušnjami je postalo jasno, da uporabnost stereotaktične tehnike v radioterapiji presega okvire, znotraj katerih je bila razvita. To drži predvsem za klinične indikacije, pa tudi za tehnične vidike izvedbe obsevanja. Z razvojem novih načinov fiksacije glave in drugih delov telesa ter sodobnih računalniških programov za načrtovanje in zagotavljanje kakovosti izvajanja obsevanja so bili izpolnjeni pogoji, ki so dovoljevali varno frakcionacijo stereotaktično vodene obsevanja (t. i. *stereotaktična radioterapija, SRT*) intrakranialnih in ekstrakranialnih lezij. S tem je stereotaktično obsevanje z radiobiološkega gledišča postalo primerljivo s konvencionalnim frakcioniranim obsevanjem. Z združitvijo

tehnične premoči stereotaktičnega obsevanja nad konvencionalnim in izenačitvijo njune radiobiološke učinkovitosti SRK danes predstavlja najboljšo možno izbiro za širok krog kliničnih indikacij (3).

### Stereotaktični princip

Celoten postopek temelji na natančni določitvi lege tarče (obsevalnega volumna) v tridimenzionalnem koordinatnem sistemu, ki je izhodišče za izdelavo obsevalnega načrta in izvedbo obsevanja (1–2). V ta namen se uporablja:

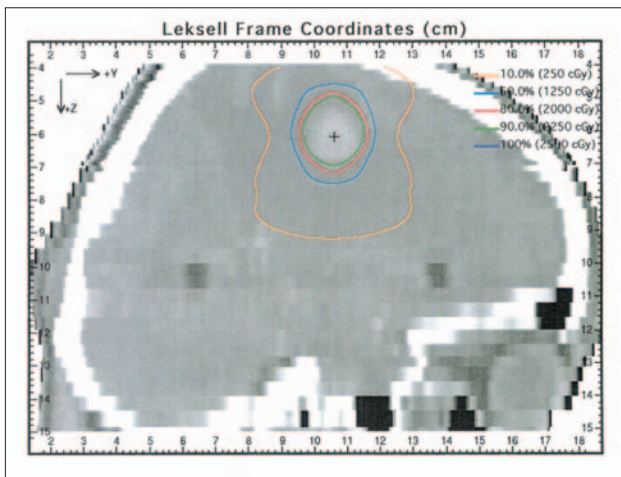
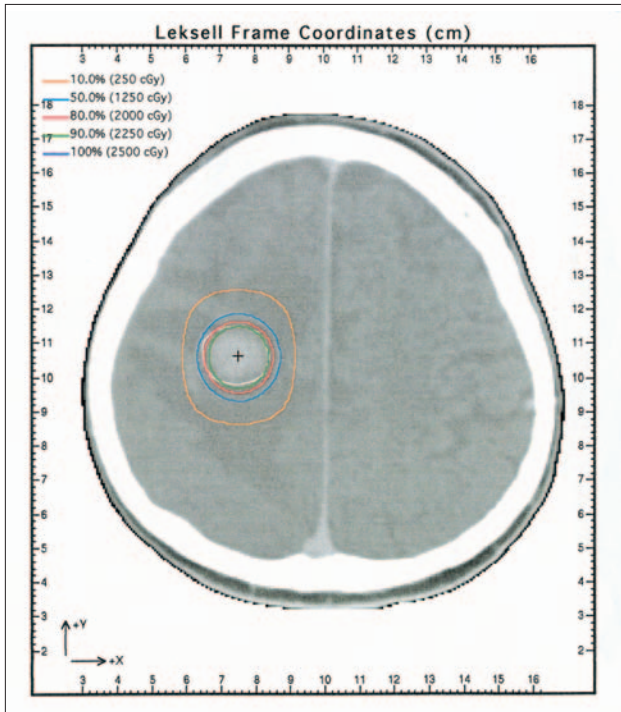
- *stereotaktični okvir (Slika 1)* – pritrjen je na bolnikovo glavo in se uporablja za imobilizacijo glave (možganov) med diagnostičnim in terapevtskim postopkom;
- *lokalizacijska kocka (Slika 1)* – pritrjena je na stereotaktični okvir in opremljena s posebnimi radioopačnimi označevalci, ki omogočajo natančno določitev lege obsevalnega volumna;



**Slika 1.** Lokalizacijska kocka in stereotaktični okvir, pritrjena na obsevalno mizo.

- *radiološka oprema* – uporablja se za prikaz tarče in drugih možganskih struktur, pa tudi za prikaz označevalcev stereotaktičnega okvirja in lokalizacijske kocke. Vključuje napravo za računalniško tomografijo (CT), magnetno resonanco (MRI) in digitalno subtrakcijsko angiografijo (DSA);
- *računalniški program za lokalizacijo tarče* – po digitalizaciji radioloških posnetkov omogoča določitev koordinat katere koli volumnske enote znotraj koordinatnega sistema stereotaktične kocke;

- računalniški program za načrtovanje obsevanja (Slika 2) – uporablja se za izračun in tridimenzionalni prikaz razporeditve absorbirane doze ionizirajočega sevanja v bolniku, superponirane na CT ali MR posnetek bolnikove anatomije.



**Slika 2a, b.** Izodozna razporeditev, superponirana na transverzalnem (A) in sagitalnem (B) CT- posnetku skozi izocenter. Jasno je viden hiter padec absorbirane doze do 10 % v neposredni bližini tarčnega volumna.

Sam postopek se prične s pritrditvijo stereotaktičnega okvirja na bolnikovo glavo, čemur sledi radiološka obdelava (tj. slikanje) in digitalizacija posnetkov. Na posameznih posnetkih zdravnik radioterapevt v sodelovanju z nevroradiologom označi tarčo (npr. tumor ali žilno malformacijo) ter anatomske strukture v njeni okolici, katerih poškodba bi lahko povzročila bolnikovo

smrt oziroma bi bistveno prizadela kakovost njegovega življenja (t.i. kritične strukture, npr. optični sistem). Radiofizik nato z računalniškim programom za načrtovanje obsevanja poišče najugodnejšo kombinacijo žarkovnih snopov. Cilj načrtovanja obsevanja je doseči takšno razporeditev absorbirane doze, ki v kar največji meri posnema obliko tarče ter zagotavlja strm padec doze na njenem robu. Pri tem naj bi bila doza, s katero bodo obsevane kritične strukture v okolici tarče, nižja od tiste, ki povzroča poškodbo teh struktur. To dosežemo z uporabo večjega števila žarkovnih snopov, usmerjenih iz različnih smeri v eno samo točko, v središču tarče. Položaj žarkovnega izvora in tarče med obsevanjem je pogojen z vrsto obsevalne naprave in načinom obsevanja (1-2).

### Obsevalne naprave

*Nož gama* je bil prva obsevalna naprava, ki se je uporabljala za izvajanje stereotaktičnega obsevanja v vsakdanji klinični praksi.

#### *Linearni pospeševalnik (Slika 3)*

Podobno kot pri nožu gama se bolnik obseva z več strani, vendar ne statično: glavo pospeševalnika, iz katerega izhajajo žarki, vrtimo okrog bolnika in tako dosežemo, da je prizadeto področje obsevano iz več smeri. Ker so energije žarkov, ki jih dobimo iz linearnih pospeševalnikov, višje kot pri kobaltovih izviri v nožu gama (4 MV do več 10 MV), je globinska porazdelitev absorbirane doze v tkivu ugodnejša. Zaradi gibljivih delov, ki se pri tem pristopu uporabljajo, pa je nekoliko manjša prostorska natančnost. Linearni pospeševalnik mora biti za to vrsto zdravljenja posebej prirejen: treba mu je dodati t. i. terciarne kolimatorje, ki natančno oblikujejo in usmerjajo žarke v skupno žarišče (1, 2, 4).



**Slika 3.** Glava linearnega pospeševalnika, na katero je pritrjen dodatni terciarni kolimatorski sistem, ki zagotavlja natančno usmerjanje žarkovnih snopov.

### Klinične indikacije

Prva in še vedno najpogostejša indikacija za stereotaktično obsevanje so lezije v možganih. Njihova lega v zaprtem

prostoru lobanje s skrajno omejeno možnostjo gibanja ob ustrezni fiksaciji glave zagotavlja dovolj visoko stopnjo rigidnosti, ki je temeljni pogoj za uspešno izvedbo stereotaktičnega obsevanja. Trenutno je veliko naporov usmerjenih v iskanje rešitev, kako ustrezno imobilizirati tudi druge organe oziroma telesne dele. Bodisi zaradi odsotnosti lahko dosegljivih rigidnih kostnih struktur bodisi zaradi gibanja samih organov je imobilizacija v teh primerih mnogo kompleksnejša in težje izvedljiva kot pri glavi oziroma možganih (3).

Stereotaktično obsevanje se uporablja za zdravljenje številnih malignih in benignih možganskih lezij ter nekaterih funkcionalnih okvar. V primeru SRK tehnične omejitve aparatov (premer oziroma oblika žarkovnega snopa) in uporaba enega samega visokega doznega odmerka ožijo indikacije za njeno uporabo. Nasprotno pa je spekter indikacij SRT zaradi radiobiološke enakovrednosti s konvencionalno radioterapijo (frakcionacija) širši kot pri SRK (Tabela 1, Ref. 3).

**Tabela 1.** Indikacije za stereotaktično obsevanje

Indikacije
arteriovenske malformacije
zasevki v možganih ( $\leq 3$ )
akustični schwanom <sup>a</sup>
meningeomi <sup>a</sup>
gliomi, nizkomaligni <sup>a</sup>
gliomi, visokomaligni <sup>a</sup>
adenomi hipofize <sup>a</sup>
karcinom nosnega žrela <sup>a</sup>
meduloblastom (recidivni)

<sup>a</sup> Kot primarna lezija in kot recidiv

### Stereotaktično obsevanje na Onkološkem inštitutu v Ljubljani

Program SRK malignih možganskih tumorjev s posebej v ta namen prirejenim linearnim pospeševalnikom je na Onkološkem inštitutu v Ljubljani stekel leta 1999 (5). Obsevana je bila ena sama bolnica, saj je bila nadaljnja uresničitev programa zaradi pomanjkanja opreme, kadra in logističnih težav prekinjena. Ponoven zagon programa stereotaktičnega obsevanja je povezan s številnimi neznankami. Izmed petih megavoltnih aparatov, ki se nahajajo na Onkološkem inštitutu, je za stereotaktično obsevanje (pogojno) primerna le ena. Pri tem ostaja nerešeno vprašanje, kako zagotoviti ustrezen kader in predvsem prost termin na tej napravi, saj je na njej vsak dan

od 7.30 do 19.00 obsevanih tudi do 50 bolnikov (po principih konvencionalne radioterapije). Za izvedbo stereotaktičnega obsevanja, ki je časovno in logistično zelo zahtevno, preprosto ni časa, prerazporeditev bolnikov na druge naprave pa zaradi prezasedenosti ni izvedljiva. Drugo vprašanje se nanaša na tehnično primernost. Obstaja namreč precejšnja verjetnost, da naprave, ki je bila leta 1999 stara 3 leta, po sedmih letih delovanja (ob polni obremenjenosti) ni več mogoče usposobiti za tako natančno obsevanje, kot ga zahteva stereotaktična tehnika.

### Zaključek

Uvedba stereotaktičnega principa v radioterapijo v začetku petdesetih let prejšnjega stoletja je omogočila do tedaj nesluteno natančnost načrtovanja in izvajanja obsevanja. Ta se zrcali tudi v spisku indikacij, ki se glede na podrobnosti v izvedbi ene in druge različice stereotaktičnega obsevanja (SRK oziroma SRT) nekoliko razlikuje. Izjemna zapletenost postopka načrtovanja in izvedbe stereotaktičnega obsevanja se kaže tudi v številu in strukturi sodelujočih strokovnjakov (radioterapevt, radiofizik, nevrokirurg, nevrolog, radiološki inženir): multidisciplinarnost je pri SRK in SRT neizogibna. Kljub uspešnemu začetku je prihodnost SRK v Sloveniji zaradi objektivnih težav, s katerimi se srečujemo na oddelkih za radioterapijo in radiofiziko Onkološkega inštituta v Ljubljani, ta trenutek negotova. To še toliko bolj drži za SRT.

### Literatura

- Podgorsak EB, Podgorsak MB. Stereotactic irradiation. In: van Dyk J, ed. The modern technology of radiation oncology. Madison, Wisconsin: Medical Physics Publishing, 1999: 589–639.
- Bova FJ, Meeks SL, Friedman WA. Linac radiosurgery requirements, procedures, and testing. In: Khan FM, Potish RA, eds. Treatment planning in radiation oncology. Baltimore: Williams & Wilkins, 1998: 215–41.
- Wasserman TH, Rich KM, Drzymala RE, Simpson JR. Stereotactic irradiation. In: Perez CA, Brady LW, eds. Principles and practice of radiation oncology. 3rd ed. Philadelphia: Lippincott-Raven Publishers, 1997: 387–404.
- Casar B. Tertiary collimator system for stereotactic radiosurgery with linear accelerator. Radiol Oncol 1998; 32: 125–8.
- Casar B. Stereotaktična radiokirurgija z linearnim pospeševalnikom tudi v Sloveniji. Okno 1999; 13: 33–4.