

# STEREOTAKTIČNO OBSEVANJE Z VIDIKA MEDICINSKE FIZIKE

Aljaša Jenko, univ. dipl. fiz.

**V sestavku si bomo pogledali, kakšna je načrtovana doza pri stereotaktičnem obsevanju telesa in v čem se razlikuje od doze pri standardnem obsevanju. Najprej se bomo posvetili temu, kako se predpisuje doza pri stereotaktičnem obsevanju ter kako to vpliva na njeno maksimalno vrednost. Zanimal nas bo tudi obsevalni žarek, ki se uporablja za stereotaktično obsevanje, ter kako se ta razlikuje od običajnega. Nakar si bomo na primeru tarče in štirih različnih načrtov zanjo, treh stereotaktičnih in enega standardnega, pogledali, v kolikšni meri smo dosegli pokritost tarče in kakšni so maksimumi v njej.**

Stereotaktična radioterapija telesa (angl. stereotactic body radiotherapy – SBRT) je tehnika obsevanja, pri kateri lahko pri bolniku zelo natančno dovedemo visoko dozo na razmeroma majhno območje – tumor in obenem maksimalno ščitimo okoliško zdravo tkivo. Vidik medicinske fizike je pri SBRT, kot tudi na splošno v radioterapiji, bolj tehnične narave. Medicinski fiziki se pri SBRT najbolj ukvarjamo s tem, na kakšen način lahko zelo natančno dovedemo predpisano dozo v bolnika. Za to moramo pred uvedbo te tehnike na ustreznem linearnem pospeševalniku izvesti teste, ki nam pomagajo določiti natančnost ter tudi omejitve sevalnih žarkov, sistem za slikovno vodenje radioterapije (IGRT), načrtovalni sistem, postavitve bolnika in podobno. Celoten postopek je del predklinične priprave na izvajanje tehnike SBRT. Med rednim kliničnim izvajanjem medicinski fiziki in dozimetriji pripravimo obsevalne načrte, preverimo ujemanje načrtovane doze z izsevano s pomočjo fantoma ter skrbimo za izvajanje kontrole kakovosti linearnega pospeševalnika za potrebe SBRT.

V nadaljevanju si bomo bolj natančno pogledali vidik SBRT v kliničnem delu, natančneje dozno porazdelitev načrtov SBRT, in kako do nje pridemo. Za lažjo predstavo bomo primerjali načrtovanje SBRT in standardno načrtovanje ter se posvetili razlikam med njima. Pri obeh načinih načrtovanja lahko namreč uporabimo enako tehniko izsevanja obsevalnega žarka, denimo volumetrično modelirano ločno tehniko (VMAT), enak algoritem izračuna dozne porazdelitve, enake parametre za ta izračun, enako velikost računske mreže in podobno. Razlike nastanejo pri predpisu doze na tarčo, dozni omejitvah pri pokritosti in maksimalni dozi, uporabi drugačnih obsevalnih žarkov ter pri obliki dozne porazdelitve (homogenost proti nehomogenosti).

Najprej bomo poskusili razjasniti nekatere pojme, ki so povezani z načrtovanjem obsevanja SBRT.

## PREDPIS DOZE

V večini literature se pri stereotaktičnem načrtovanju predpisana doza (PD) pripisuje na določeno izodozno vrednost, običajno med 67 % in 90 %, medtem ko nam 100-odstotna izodozna vrednost vedno določa maksimalno dozo. Izbrana izodozna vrednost je odvisna od lokalizacije tumorja, od tega, kakšne so dozne omejitve na kritične organe v bližini tarče, kako strmo želimo, da doza pada od roba tarče navzven, oziroma kako velika je razlika med dozo znotraj tarče in dozo v okoliškem tkivu ter največ kolikšen maksimum doze želimo imeti v tarči.

Dozni maksimum (100-odstotna krivulja), izražen v odstotkih PD, lahko za različne predpise na izodozne krivulje dobimo z izračunom (denimo če je predpisana doza pripisana na 80-odstotno izodozo, potem ima 100-odstotna izodozna vrednost:  $PD \times 100 \% / 80 \% = 125 \% PD$ ). Za tri različne primere tako dobimo:

- predpis na 67-odstotno izodozo (oziroma 66,6 %) nam da maksimalno dozo 150 % PD,
- predpis na 80-odstotno izodozo nam da maksimalno dozo 125 % PD ter
- predpis na 90-odstotno izodozo nam da maksimalno dozo 111 % PD.

Pri načrtovanju SBRT imamo tako omejitve za dozo v tarči na spodnji meji kar predpisano dozo, na zgornji meji pa maksimalno dovoljeno glede na način predpisa na izodozno krivuljo.

Pri standardnem načrtovanju se PD pripiše na 100-odstotno izodozno vrednost. V idealnem primeru bi to pomenilo, da je celotna tarča pokrita točno s to dozo. Seveda v realnosti tega ni mogoče doseči in smo zato po smernicah omejeni na dozni interval od 95 % do 107 % PD.

### **OBSEVALNI ŽAREK**

Ker je pri obsevanju SBRT v primerjavi s standardnim obsevanjem doza na frakcijo visoka, nekje 6 do 25 Gy v primerjavi z okvirno 2 do 3 Gy na frakcijo, se pri načrtovanju obsevanja s tehniko SBRT uporablja žarek brez izravnalnega filtra (flattening filter free) ali FFF. Tak žarek nam omogoča večjo dozno hitrost (dose rate – DR, izraženo v MU/min) kot običajni s filtrom: 1200–1400 DR za energijo 6 MV oziroma 2400 DR za energijo 10 MV v primerjavi z okvirno 600 DR, kar omogoči hitrejši čas izsevanja žarka. Pri standardnem terapevtskem žarku je v glavi linearnega pospeševalnika vstavljen filter konične oblike, ki poskrbi, da je centralni del normaliziranega doznega profila (od 80 % dalje) na določeni standardni globini in velikosti polja raven. Oblika filtra je narejena tako, da atenuira centralni del žarka in s tem izravna profil. Zaradi atenuacije se zmanjša dozna hitrost. Ker žarek FFF tega filtra nima, ni atenuiran, zato je njegova dozna hitrost večja.

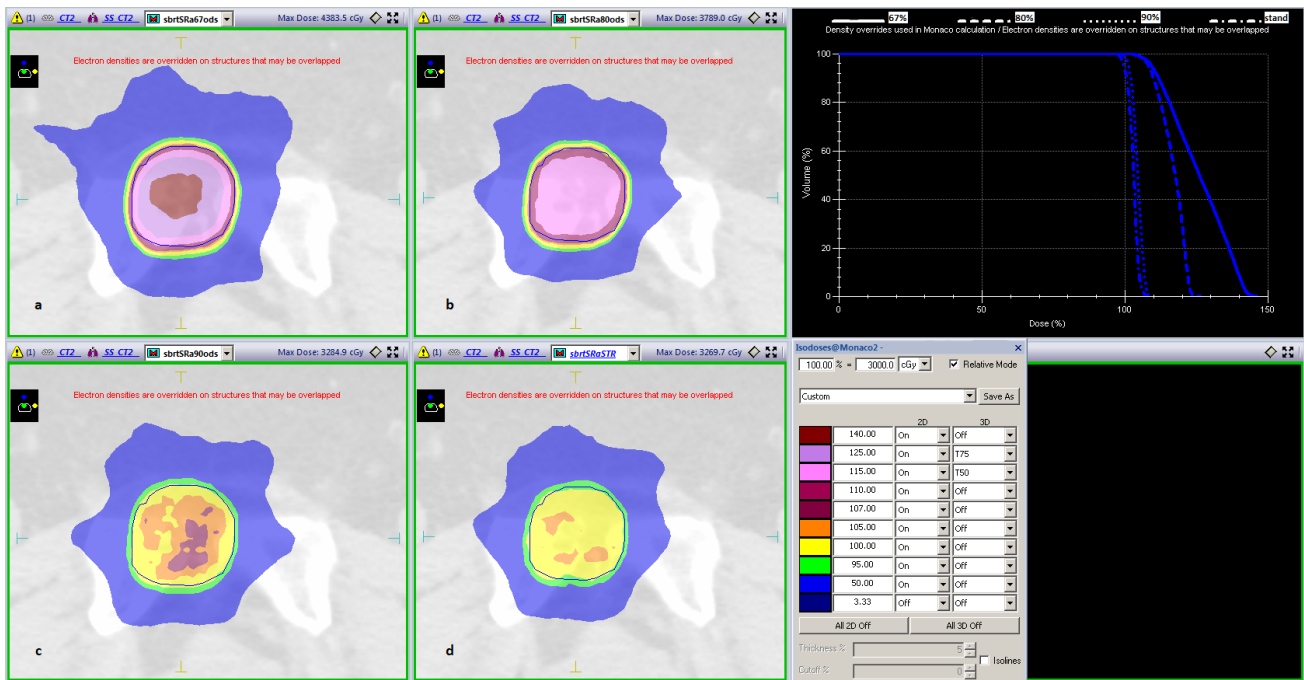
### **POKRITOST TARČE IN DOZNA PORAZDELITEV**

Pokritost tarče z dozo je pri standardnem načrtovanju s tehniko VMAT po smernicah sprejemljiva, če velja, da je najmanj 98 % volumna planiranega tarčnega volumna (PTV) na dozi višjega ali enakega 95 % PD. Pri omejitvah za dozo blizu maksimuma pa velja, da sta lahko največ 2 % volumna PTV na dozi večja ali enaka 107 % PD. S temi omejitvami poskrbimo za relativno homogenost znotraj tarčnega volumna. Pri stereotaksiji pa potrebe po homogenosti ni. Tako je pokritost tarče pri večini lokalizacij tumorjev sprejemljiva, če velja, da je najmanj 95 % volumna PTV na dozi višjega ali enakega 100 % PD. V primeru SBRT vretenc pa je pokritost sprejemljiva že z 90 % volumna PTV. Razlog je bližina kritičnega organa – hrbtenjače. Maksimalna doza pa je omejena le točkovno, in ne volumensko ter ima vrednost 111–150 % PD, odvisno od predpisa na izodozno krivuljo.

Načrtovanje dozne porazdelitve pri tehniki SBRT tipično zastavimo tako, da imamo na robu PTV dozo 100 % PD, v notranjosti pa čim višjo možno – do maksimalne dovoljene.

Za tarčo, ki je v pljučnem tkivu, to pomeni, da imamo skoraj celoten PTV pokrit s 100 % PD, maksimum seže do 150 % PD, klinični tarčni volumen (CTV) pa je pokrit s 125 % PD ali več. Podobno je tudi pri tarči v jetrih. Če je denimo pri tarči zraven kak kritičen organ, na primer srce, potem se pokritost zmanjša zaradi doseganja dozne omejitve za srce. V obeh primerih lokalizacij je tumor običajno bolj kroglaste oblike, zato je doza zunaj tarče manjša od predpisane in pada približno v enakih intervalih od roba tarče navzven v vse smeri enako. Drugače je pri tarči v vretencu, zlasti če je tarča konkavne oblike. V takem primeru je težko doseči oboje: želeno pokritost in dozno omejitve za hrbtenjačo. Doza je zato bolj nehomogena v tarči in zunaj nje. Območje doze, večje od 100 % PD, se lahko zaradi ščitenja hrbtenjače in vseh drugih omejitev razleze tudi zunaj tarče. V takem primeru je potreben posvet z radioterapevtom o tem, kaj je najbolj smiselno narediti in čemu dati prednost: pokritosti tarče, doznim omejitvam za kritične organe ali omejitvam visoke doze zunaj tarče.

Iz slike 1 (na naslednji strani) lahko razberemo, kako se spremeni doza na PTV za štiri različne primere: a) načrt SBRT z doznim predpisom na 67-odstotno krivuljo, b) načrt SBRT z doznim predpisom na 80-odstotno krivuljo, c) načrt SBRT z doznim predpisom na 90-odstotno krivuljo ter d) standardni načrt za VMAT-tehniko. Pokritost tarče je v vseh primerih dosežena, tudi standardni načrt doseže pokritost za tehniko SBRT (95 % volumna PTV na 100 % PD ali več). Razlika se pojavi pri zastopanosti višjih doz, kar se najbolje vidi iz doznovolumenskega DVH-diagrama, ki prikazuje, kolikšen del volumna tarče ali organa je na določeni dozi. Srednja vrednost doze za PTV se tako pri različnih načrtih pomika proti višjim vrednostim: za standardni načrt je enaka 30,8 Gy, za načrte SBRT pa 31,3 Gy (a), 35,0 Gy (b) in 37,7 Gy (c). Volumenska omejitve doze blizu maksimuma je za standardni načrt dosežena (2 % pod 107 % PD), prav tako noben načrt SBRT ne preseže svoje omejitve za maksimalno dozo (111 % za primer a), 125 % za b) ter 150 % za c) primer).



**Slika 1:** Zgornje slike prikazujejo dozne porazdelitve za štiri različne primere obsevalnih načrtov za isti tarčni volumen: a, b in c so načrti SBRT, d pa je standardni načrt. V vseh primerih so uporabljene iste konture, predpisana doza (30 Gy v petih frakcijah), omejitve za kritične organe, tehnika obsevanja VMAT ter postavitev obsevalnega loka, parametri algoritma izračuna doze. Razlika je v predpisu PD na izodozno krivuljo za načrte SBRT: 67 % (a), 80 % (b), 90 % (c), medtem ko je pri standardnem načrtu uporabljen predpis PD na 100-odstotno krivuljo. Pri načrtih SBRT je uporabljen žarek brez izravnalnega filtra (žarek FFF) energije 6 MV, pri standardnem načrtu pa je uporabljen običajen žarek 6 MV (z izravnalnim filtrom). Skrajno desno spodaj je prikazana skala izodoznih krivulj, na kateri ima 100-odstotna izodoza vrednost 30 Gy, nad njo pa doznovolumenski histogram (DVH) za PTV za vse štiri načrte.

Prikazani primer je eden preprostejših – kroglasta tarča, ki nima blizu kritičnih organov ter večje število frakcij (večje za tehniko SBRT). Rezultati primerjave bi bili drugačni, če bi imeli denimo konkavno tarčo v bližini hrbtenjače in le eno frakcijo. V takem primeru se standardni načrt ne bi mogel niti približati pokritosti in restrikcijam, doseženim z načrti SBRT.

Kot je bilo prikazano na primeru, načrtovanje obsevanja s tehniko SBRT poteka nekoliko drugače kot standardno. Poleg razlike v načrtovanju pri SBRT-tehniko obsevanja obstajajo tudi razlike pri drugih vidikih tega procesa, na primer: pripravi bolnika, vrisovanju struktur, slikovnem vodenju obsevanja, dodatni kontroli linearnega pospeševalnika in podobno. Vse te razlike so pomembne za izvedbo uspešnega obsevanja SBRT.

## LITERATURA

1. ICRU 83, Journal of the ICRU Vol 10 No 1 (2010), Report 83, Oxford University Press.
2. Phase II/III Study of Image-Guided Radiosurgery/SBRT for Localized Spine Metastasis---RTOG CCOP Study; RTOG | Clinical Trials | Study Number 0631.
3. Benedict e tal.: Stereotactic body radiation therapy: The report of AAPM Task Group 101, Med. Phys. 37 (8), August 2010.