Napredne vještine u modernoj radioterapiji:

Izvještaj s ESTRO edukacijskog programa

Ivan Balentović[1], **Miran Gašparović**[1]

[1] KBC Rijeka, Klinika za tumore



European Society for Radiotherapy and Oncology (ESTRO) od svog utemeljenja 1980. godine djeluje kao središnji autoritet za onkološku radioterapiju u Europi. Njegova uloga nadilazi puku organizaciju kongresa; ESTRO definira standarde kvalitete, koordinira multicentrična istraživanja i postavlja temelje za harmonizaciju edukacije radioloških tehnologa (RTT), medicinskih fizičara i radijacijskih onkologa. Kroz inicijative poput *Global Impact of Radiotherapy*, društvo aktivno radi na dostupnosti modernih tehnologija svim pacijentima, bez obzira na zemljopisnu lokaciju.

U listopadu 2025. godine imali smo priliku sudjelovati na tečaju Advanced Skills in Modern Radiotherapy, koji je organiziran pod okriljem ESTRO-a. Tečaj je bio usmjeren na produbljivanje znanja i razvoj naprednih kompetencija u području suvremenih radioterapijskih tehnika, trajao je 5 dana te je program obuhvatio aktualne teme poput: naprednih tehnika planiranja (IMRT, VMAT), adaptivne radioterapije, stereotaksijske radioterapije (SBRT/SRS), integracije slikovnih metoda u planiranju i verifikaciji terapije, optimizacije doze i zaštite rizičnih organa i procjene ishoda liječenja.

Poseban naglasak stavljen je na kliničko donošenje odluka, analizu kompleksnih slučajeva te multidisciplinarni pristup liječenju onkoloških bolesnika. Interaktivni format rada, uključujući diskusije i prikaze kliničkih scenarija, omogućio je aktivno sudjelovanje polaznika (Onkologa, Radioloških tehnologa te Medicinskih fizičara) i razmjenu iskustava među stručnjacima iz različitih europskih centara.

Preciznost u pripremi i definicija volumena (ICRU Standardi)

U suvremenoj radioterapiji, faza planiranja kritičnija je od same isporuke zračenja. Svaki milimetar odstupanja u ovoj fazi multiplicira se kroz frakcionirani proces liječenja.

Geometrijska nesigurnost: Naglašena je razlika između sustavnih pogrešaka (nastalih tijekom simulacije) i slučajnih pogrešaka (dnevne varijacije položaja). Adekvatna imobilizacija (individualni fiksatori, termoplastične maske, *vacuum-bags*) smanjuje ove varijacije na minimum.

Standardizacija prema ICRU 50/62/83:

GTV (Gross Tumor Volume): Primarna tumorska masa identificirana palpacijom ili vizualizacijom (CT, MR, PET).

CTV (Clinical Target Volume): Uključuje subkliničku mikroskopsku proširenost tumora. Definiranje CTV-a zahtijeva duboko poznavanje biologije tumora i puteva limfne drenaže.

PTV (Planning Target Volume): Geometrijski konstrukt koji osigurava da propisana doza doista bude isporučena u CTV, uzimajući u obzir pomičnost organa i nesigurnosti u postavljanju pacijenta.

*Multimodalna fuzija***:** CT pruža informacije o elektronskoj gustoći tkiva nužne za izračun doze, ali MR nudi superiornu mekotkivnu kontrastnost (osobito kod tumora mozga, prostate i rektuma). PET/CT integracija omogućuje biološko konturiranje, gdje se volumen može modificirati ovisno o metaboličkoj aktivnosti (standardizirana vrijednost nakupljanja – SUV).

Planiranje radioterapije: Konfiguraciju snopova zračenja, oblikovanje snopa pomoću MLC-a (*multileaf collimator*), izračun raspodjele doze, optimizaciju plana, postavljanje ograničenja za OAR (organe od rizika), evaluaciju plana (analiza DVH-a i pokrivenosti ciljnog volumena). Cilj je postići optimalanu ravnotežu adekvatne doze tumoru i zaštite okolnih zdravih struktura.

Dinamički menadžment i slikovno vođena radioterapija (IGRT)

Napredak u tehnologiji linearnih akceleratora omogućio je razvoj tehnika poput VMAT (*Volumetric Modulated Arc Therapy*), gdje se zračenje isporučuje u punom krugu (360°) uz kontinuiranu promjenu brzine rotacije, oblika snopa (MLC) i brzine doze (*dose rate*).

Uloga IGRT-a: Svakodnevna primjena CBCT-a (*Cone Beam CT*) omogućuje uvid u unutrašnju anatomiju neposredno prije zračenja. To je ključno za adaptaciju plana, kada je to moguće/potrebno, kod pacijenata kod kojih dolazi do brzog gubitka tjelesne mase ili promjene punjenja šupljih organa.

Kontrola respiratornih kretnji: Kod tumora u prsnom košu i gornjem abdomenu, tumor se može pomicati više od 2 cm tijekom disanja.

4D CT simulacija: Snima se cijeli respiratorni ciklus i dijeli u faze (0–100%).

DIBH (Deep Inspiration Breath Hold): Pacijent zadržava dah u dubokom inspiriju, što stabilizira položaj tumora i maksimalno udaljava srce od prednje prsne stijenke kod zračenja lijeve dojke, smanjujući kardiotoksičnost.

Čestična terapija: Prednosti protonskog zračenja

Protonska terapija predstavlja iskorak u odnosu na konvencionalne fotone zbog specifičnog načina interakcije s materijom.

Fizika zračenja: Dok fotoni gube energiju duž cijelog puta kroz tijelo, protoni najveći dio energije oslobađaju na točno određenoj dubini – u vrhu Braggove krivulje. Iza te točke doza zračenja praktički pada na nulu.

Kliničke indikacije: * Pedijatrija: Drastično smanjenje integralne doze (ukupna energija apsorbirana u cijelom tijelu), čime se minimizira rizik od sekundarnih karcinoma i razvojnih poremećaja.

Re-iradiacija: Mogućnost ponovnog zračenja područja koja su već primila maksimalnu tolerantnu dozu fotona.

Baza lubanje (hordomi, hondrosarkomi): Mogućnost isporuke ekstremno visokih doza u neposrednoj blizini moždanog debla i optičkih živaca.

Adaptivna radioterapija u realnom vremenu (MR-linac)

Najnoviji trend u struci je *MR-linac*, sustav koji integrira MR uređaj (najčešće 0.35T ili 1.5T) s linearnim akceleratorom.

Cine-MR: Omogućuje kontinuirano snimanje ("film") dok je zračenje uključeno. Ako se tumor pomakne izvan zadanih granica (npr. zbog peristaltike ili kašlja), sustav automatski prekida snop zračenja (*gating*).

On-line adaptacija: Umjesto jednog plana koji se koristi kroz cijeli ciklus od 30 frakcija, MR-linac omogućuje izradu novog plana zračenja svakoga dana, dok pacijent leži na stolu, prilagođavajući se trenutačnom obliku i položaju tumora i zdravih organa.

PRoMs (Patient-Reported Outcomes): Naglašena je važnost integracije digitalnih alata za prijavu nuspojava. Pravovremena detekcija (npr. preko mobilnih aplikacija) omogućuje onkolozima i RTT-ima da interveniraju prije nego što toksičnost postane klinički limitirajuća.

Specifični protokoli za ginekologiju i karcinom dojke

Ginekološki tumori: Fokus je na *inter-frakcijskim varijacijama*. Analizirani su protokoli pripreme pacijentica (prazan rektum, specifičan volumen u mjehuru) kako bi se osigurala fiksna pozicija uterusa i smanjila doza na tanko crijevo. Kod brahiterapije, preporuča se prelazak s CT na MR planiranje radi bolje vizualizacije parametarija.

Karcinom dojke: Razmatrana je primjena *hipofrakcioniranih režima* (npr. 15 ili 5 frakcija umjesto 25), koji su se pokazali jednako učinkovitima uz bolju logističku podnošljivost za pacijentice i zdravstveni sustav. IGRT verifikacija položaja ležišta tumora (*boost*) pomoću kirurških klipova postala je standard za postizanje lokalne kontrole.

Zaključno razmatranje: Suvremena radioterapija više nije samo primjena ionizirajućeg zračenja, već visokotehnološki proces koji spaja napredno računalno planiranje, precizno oslikavanje i biološku prilagodbu. Suvremeni onkološki pristup obuhvaća, osim tehnološkog procesa, praćenje i pravovremeno zbrinjavanje nuspojava, psihološku podršku pacijentu, jasnu i empatičnu komunikaciju. Pacijente treba potaknuti da pravovremeno prijave bol, umor, kožne reakcije, poteškoće s gutanjem, mokrenjem ili disanjem, emocionalne tegobe jer rano prepoznavanje simptoma omogućuje bržu intervenciju, bolju kvalitetu života i manji rizik od prekida terapije.

Kontinuirana edukacija ključna je za sigurnu implementaciju ovih tehnologija u svakodnevni rad.

Voditelj tečaja:

Philipp Scherer, *Radiation Therapist, UK f Radiotherapy and Radio Oncology at PMU at SALK, (AT)*

Predavači:

José Luis Lopez Guerra, *Radiation Oncologist, University Hospital Virgen del Rocio, Sevilla (ES)* , Helen Grimes, *IGRT and Technical Development Lead Physicist, UCLH, London* (UK), Lisa Wiersema, *Radiation Therapist, Netherlands Cancer Institute, Amsterdam (NL),* Peter Remeijer, *Medical Physicist, Netherlands Cancer Institute, Amsterdam (NL) ,* Sophie Bockel, *Radiation Oncologist at Gustave Roussy,* Paris (FR), Lykke K. Johansen, *Radiation Therapist, Rigshospitalet, Copenhagen (DK)*

Abstract

Modern radiotherapy is no longer just the application of ionizing radiation, but a high-tech process that combines advanced computer planning, precise imaging and biological adaptation. A modern oncological approach includes, in addition to the technological process, monitoring and timely management of side effects, psychological support for the patient, and clear and empathetic communication. Patients should be encouraged to promptly report pain, fatigue, skin reactions, difficulties with swallowing, urination or breathing, and emotional distress, as early recognition of symptoms allows for faster intervention, better quality of life and a lower risk of therapy interruption.

Continuous education is essential for the safe implementation of these technologies in everyday work. ■