



Baština Akademije nauka i umjetnosti Bosne i Hercegovine

Zbornik radova: Zaštita od jonizirajućeg zračenja kod medicinske ekspozicije

Lincender Cvijetić, Lidija

2018

Akademija nauka i umjetnosti Bosne i Hercegovine

<https://bastina.anubih.ba/items/8735789d-5d6a-45ad-8dff-9b4a1927c1db>

Preuzeto s Baštine Akademije nauka i umjetnosti Bosne i Hercegovine

<https://bastina.anubih.ba/>



ZAŠTITA OD JONIZIRAJUĆEG ZRAČENJA
KOD MEDICINSKE EKSPOZICIJE



AKADEMIJA NAUKA I UMJETNOSTI BOSNE I HERCEGOVINE
АКАДЕМИЈА НАУКА И УМЈЕТНОСТИ БОСНЕ И ХЕРЦЕГОВИНЕ
ACADEMY OF SCIENCES AND ARTS OF BOSNIA AND HERZEGOVINA

**SPECIAL EDITIONS
VOLUME CLXXIV**

**Department of Medical Sciences
Volume 51**

**Scientific Symposium
IONIZING RADIATION PROTECTION
DURING MEDICAL EXPOSURE**

Sarajevo, November 12, 2016

Proceedings

Editor
Lidija Lincender-Cvijetić

SARAJEVO 2018



AKADEMIJA NAUKA I UMJETNOSTI BOSNE I HERCEGOVINE
АКАДЕМИЈА НАУКА И УМЈЕТНОСТИ БОСНЕ И ХЕРЦЕГОВИНЕ
ACADEMY OF SCIENCES AND ARTS OF BOSNIA AND HERZEGOVINA

POSEBNA IZDANJA
KNJIGA CLXXIV

Odjeljenje medicinskih nauka
Knjiga 51

Naučni simpozij
ZAŠTITA OD JONIZIRAJUĆEG ZRAČENJA
KOD MEDICINSKE EKSPozICIJE

Sarajevo, 12. novembar/studeni 2016. godine

Zbornik radova

Urednica
Lidija Lincender-Cvijetić

SARAJEVO, 2018.

ZAŠTITA OD JONIZIRAJUĆEG ZRAČENJA KOD MEDICINSKE EKSPOZICIJE

Izdavač

Akademija nauka i umjetnosti Bosne i Hercegovine

Za izdavača

Akademik Miloš Trifković

Urednica

Akademkinja Lidija Lincender-Cvijetić

Recenzenti

Vojislav Antić, Adnan Beganović, Amela Begić, Olivera Ciraj-Bjelac, Faruk Dalagija, Dario Faj, Nermina Kantardžić, Miljenko Lugonja, Josip Mašković, Miro Miljko, Slavica Mirić, Ante Punda, Davorin Samek, Dragana Šobić-Šaranović

Lektori

Adisa Imamović, Spomenka Kristić, Dragana Moro, Emina Smajić Martić, Nudžejma Softić, Dijana Stričić, Zenaida Karavdić

Prevodioci

Adnan Arnautlija, Svjetlana Baroševčić, Deniz Bulja, Dino Kantardžić, Rade Marković, Katarina Miljković

DTP

Narcis Pozedrac

Štampa

Dobra knjiga d.o.o. Sarajevo

CEEOL

Sarajevo, 2018.

SADRŽAJ

Lidija Lincender-Cvijetić

OPRAVDANOST MEDICINSKE EKSPozICIJE I KRITERIJA ZA UPUĆIVANJE NA RADIOLOŠKE PRETRAGE <i>JUSTIFICATION OF MEDICAL EXPOSURE AND CRITERIA FOR REFERRAL TO DIAGNOSTIC IMAGING</i>	7
--	---

Adnan Beganović

OPTIMIZACIJA ZAŠTITE OD ZRAČENJA U RADIODIJAGNOSTICI <i>OPTIMIZATION OF RADIATION PROTECTION IN RADIODIAGNOSTICS</i>	13
---	----

Elma Kučukalić-Selimović, Amra Skopljak-Beganović

OPTIMIZACIJA U NUKLEARNOJ MEDICINI <i>OPTIMIZATION IN NUCLEAR MEDICINE</i>	21
---	----

Nermina Kantardžić

ZAŠTITA OD ZRAČENJA U RADIOTERAPIJI <i>RADIATION PROTECTION IN RADIOTHERAPY</i>	28
--	----

*Danijela Trokić, Goran Marošević, Dražan Jaroš, Aleksandar Kostovski, Dejan Ćazić,
Oliver Arsovski, Božica Vujošević, Slavica Marić, Pavle Banović, Goran Kolarević,
Milomir Milaković*

ZAŠTITA OD ZRAČENJA PACIJENATA U TOKU RADIOTERAPIJSKOG TRETMANA PRIMJENOM MODERNIH TEHNIKA ZRAČENJA <i>PATIENT PROTECTION FROM RADIATION DURING RADIOTHERAPY TREATMENT BY USING MODERN RADIOTHERAPY TECHNIQUES</i>	39
--	----

Miro Miljko, Dorijan Radančević, Vedran Markotić

IZLAGANJE POPULACIJE IONIZIRAJUĆEM ZRAČENJU U MEDICINSKE SVRHE: PROCJENA RIZIKA, PRAĆENJE, UPRAVLJANJE I IZVJEŠTAVANJE O DOZAMA ZRAČENJA <i>THE EXPOSURE OF POPULATION TO IONIZING RADIATION FOR MEDICAL PURPOSES: RISK ASSESSMENT, MONITORING, CONTROL AND REPORT OF RADIATION DOSES</i>	63
--	----

Davorin Samek, Mehidin Sirbubalo, Advan Drljević, Emir Dizdarević

OBUKA OSOBA PROFESIONALNO IZLOŽENIH IONIZIRAJUĆEM ZRAČENJU KOJE SU UKLJUČENE U PRIPREMU I PROVOĐENJE MEDICINSKE EKSPozICIJE <i>RADIATION PROTECTION TRAINING OF EXPOSED WORKERS INVOLVED IN PREPARING AND DELIVERING MEDICAL EXPOSURE</i>	70
--	----

<i>Sandra Vegar-Zubović, Spomenka Kristić, Muris Bečirčić</i> UPOTREBA CT-A U DJEČIJOJ DOBI U SVAKODNEVNOM RADU <i>THE USE OF CT IN CHILDREN IN DAILY WORK</i>	79
<i>Haris Huseinagić, Mirza Morankić, Nihad Mešanović, Munevera Bećarević</i> ZAŠTITA OD JONIZIRAJUĆEG ZRAČENJA KOD MEDICINSKE EKSPOZICIJE (“VIZUALIZACIJA” RADIJACIJE) <i>PROTECTION FOR MEDICAL EXPOSURE TO IONIZING RADIATION</i>	84
<i>Suad Kunosić, Enver Zerem, Suada Kunosić, Esmeralda Kicić</i> RISK ASSESSMENT FROM IONIZING RADIATION IN MAMMOGRAPHY <i>PROCJENA RIZIKA OD JONIZIRAJUĆEG ZRAČENJA KOD MAMOGRAFIJE</i> ..	94
<i>Amra Skopljak-Beganović</i> PACIJENTNA DOZIMETRIJA KOD NUKLEARNO-MEDICINSKIH I RADIODIJAGNOSTIČKIH PRETRAGA SRCA <i>PATIENT DOSIOMETRY IN NUCLEAR-MEDICAL AND RADIODIAGNOSTIC HEART EXAMINATIONS</i>	102
<i>Jovica Bošnjak</i> MEĐUNARODNA SARADNJA BOSNE I HERCEGOVINE U OBLASTI ZAŠTITE OD ZRAČENJA <i>INTERNATIONAL COOPERATION OF BOSNIA AND HERZEGOVINA IN THE FIELD OF RADIATION PROTECTION</i>	109
<i>Armin Lagumdžija</i> INSPEKCIJSKI NADZOR U MEDICINSKOJ PRIMJENI IZVORA JONIZIRAJUĆEG ZRAČENJA U BOSNI I HERCEGOVINI <i>INSPECTION SUPERVISION IN MEDICAL APPLICATION OF IONIZING RADIATION SOURCES IN BOSNIA AND HERZEGOVINA</i>	118
ZAKLJUČCI	127

OPRAVDANOST MEDICINSKE EKSPOZICIJE I KRITERIJA ZA UPUĆIVANJE NA RADIOLOŠKE PRETRAGE

Lidija Lincender-Cvijetić

Poliklinika Sunce Agram, Sarajevo; Akademija nauka i umjetnosti Bosne i Hercegovine

Autorica za korespondenciju:
Lidija Lincender-Cvijetić
lidija.lincender@gmail.com

Prevodilac za engleski jezik: Svjetlana Barošević
Lektorica za B/H/S jezik: Zenaída Karavdić

Primljen: 2016, prihvaćen: 2017, objavljen: 2018.

Apstrakt

U ovom radu ukazujemo na primjenu jonizirajućeg zračenja u medicinske svrhe, opravdanost medicinske ekspozicije, kriterija za upućivanje na radiološke pretrage, kao i primjenu zaštite od jonizirajućeg zračenja. Zaštita se temelji na stavu da je radiološki pregled opravdan i da je koristan za pacijenta. Kod digitalnih tehnika balans između kvaliteta i doze zračenja koju pacijent primi je od posebnog značaja. Danas radiološke dijagnostičke procedure predstavljaju jedan od najvećih umjetnih izvora jonizirajućeg zračenja prosječne populacije u medicini. Pravilnim odabirom radioloških dijagnostičkih procedura u dijagnostici i praćenju bolesti možemo utjecati na donošenje konačne dijagnoze i primjenu adekvatnog liječenja. Potrebno je izbjegavati dupliranje i ponavljanje radioloških procedura koje koriste jonizirajuće zračenje. Poseban značaj u radiološkoj dijagnostici, kako odraslih tako i djece, zahtijeva poznavanje mogućnosti radioloških procedura, njihovu adekvatnu primjenu, kao i educiranog inženjera radiologije. U primjeni potrebnih radioloških procedura (imaging tehnika i ekspozicije) na prvom mjestu je sigurnost pacijenta primjenom adekvatne zaštite i imobilizacije. Mjera zaštite od jonizirajućeg zračenja mora se pridržavati profesionalno osoblje koje to zračenje koristi u oblasti radiološke dijagnostike, nuklearne medicine i radioterapije. Pridržavajući se primjene ALARA načela donesenih od strane Evropske agencije za zaštitu od jonizirajućeg zračenja, kao i primjene propisa Državne agencije za radijacijsku i nuklearnu sigurnost BiH, moguće je značajno smanjiti doze zračenja bez gubitka dijagnostičke informacije. Primjena specifičnih nivoa doze zračenja za svaku određenu pretragu kao "Prihvaćeni nivoi", uz provođenje stalne kontrole kvaliteta dijagnostičko-terapijskih postupaka, pomoći će u provođenju zaštite od zračenja u radiologiji, kod opravdane primjene radiološko-dijagnostičkih i terapijskih procedura.

Ključne riječi: jonizirajuće zračenje, radiologija, zaštita od zračenja.

Uvod

Radiološki pregledi, a osobito suvremena radiološka dijagnostika koja koristi jonizirajuće zračenje (digitalna radiografija, CT, DSA) zbog mogućih štetnih djelovanja (zračenja, kao i primjene kontrastnih sredstava), ograničene dostupnosti i relativno visoke cijene usluge, usmjereni su uglavnom na dokazivanje bolesti.

Dobra klinička vještina treba da omogući slanje pacijenta na radiološke pretrage s pozitivnom anamnezom, pozitivnim laboratorijskim nalazima, kao i izraženim simptomima bolesti. Kad imamo pacijenta s nespecifičnim, perzistirajućim simptomima bolesti, bez drugih patoloških nalaza, primjena radiološkog pregleda ima malu dijagnostičku vrijednost, jer se mnoge bolesti radiološki manifestiraju tek u kasnim fazama.

Radiološki pregledi su opravdani samo kad mogu utjecati na daljnje liječenje bolesnika, odnosno kad će dovesti do konačne dijagnoze ili promjene terapijskog postupka kod liječenja. Za opravdanost odabira radiološkog pregleda treba postaviti sljedeće pitanje: očekujemo li da će radiološki pregled promijeniti liječenje ili pridonijeti daljnjem terapijskom postupku. U dijagnostičkom postupku potreban je odgovarajući radiološko-dijagnostički pregled, da se što brže dođe do dijagnoze i nastavi sa što ranijim terapijskim postupkom [1].

Zadatak kliničke radiologije je da potvrdi ili isključi postojanje patološkog procesa, odnosno da upozori liječnika opće prakse ili kliničara na prisustvo patološkog procesa i potrebu za eventualnim daljnjim terapijskim postupkom.

Opravdanost primjene jonizirajućeg zračenja kad njegova primjena daje korist koja je veća od procijenjene zdravstvene štetnosti, prouzrokovane zračenjem

Vrlo rano nakon otkrića x-zraka 1895. godine od strane Wilhelma Conrada Roentgena i prvog rendgenograma 1895. g., spoznalo se i štetno djelovanje x ili rendgenskih zraka. Tako je već 1921. godine ustanovljena prva komisija za zaštitu od zračenja i doneseni prvi propisi o ispravnom načinu rada s x-zracima i primjeni zaštitnih uređaja pri medicinskoj primjeni radijacije [2].

Primjena zračenja u medicini

Danas se jonizirajuće zračenje u medicini koristi u radiološkoj dijagnostici, nuklearnoj medicini i radioterapiji. Radiološka dijagnostika predstavlja jedan od najvećih izvora primjene jonizirajućeg zračenja prosječne populacije. Mjera zaštite od jonizirajućeg zračenja mora se pridržavati profesionalno osoblje koje to zračenje koristi u dijagnostici. Poseban značaj u radiološkoj dijagnostici, kako odraslih, tako posebno pedijatrijskih pacijenata, zahtijeva educiranog radiološkog inženjera. Sigurnost pacijenta u radiološkim procedurama je na prvom mjestu. Radiološke procedure (imaging tehnike i ekspozicija), radiološka zaštita i sredstva za imobilizaciju pacijenta

moraju se koristiti prema kliničkim uslovima i specifičnom dijagnostičkom zadatku. Radeći s navedenim uslovima smanjuje se doza zračenja i postiže veći kvalitet rendgenograma, što kliničaru pruža adekvatnu dijagnostiku i mogućnost donošenja definitivne dijagnoze i provođenja odgovarajuće terapije [3].

U BiH je donesen Pravilnik o zaštiti od jonizirajućeg zračenja kod medicinske ekspozicije od strane Državne regulatorne agencije za radijacijsku i nuklearnu sigurnost. U poglavlju I Pravilnika o zaštiti od jonizirajućeg zračenja kod medicinske ekspozicije iznesene su uvodne odredbe koje propisuju osnovne principe zaštite osoba od izloženosti jonizirajućem zračenju kod medicinske ekspozicije, odgovornosti i obaveze vlasnika licence, uključujući programe osiguranja kvaliteta, kao i pravila, mjere i organizacija zaštite od zračenja u radiološkoj dijagnostici, nuklearnoj medicini i radioterapiji.

U poglavlju II govori se o opravdanosti primjene jonizirajućeg zračenja kod medicinske ekspozicije. Medicinska ekspozicija uključuje:

- ekspoziciju pacijenta kao dio dijagnostičkog postupka ili tretmana,
- ekspoziciju osobe kao dio redovitih zdravstvenih pregleda radnika,
- ekspoziciju osobe kao dio programa zdravstvene zaštite – screening,
- ekspoziciju zdravih osoba ili pacijenata koji dobrovoljno učestvuju u medicinskim i biomedicinskim dijagnostičko-terapijskim istraživačkim programima,
- ekspoziciju osoba koje svjesno i dobrovoljno pružaju pomoć i njegu osobama koje su podvrgnute medicinskoj ekspoziciji, kad to nije u okviru njihovog zanimanja.

Ciljevi pravilnika su u skladu s direktivama EUROATOM 97/43 u regulativu BiH.

Zaštita od zračenja u radiološkoj dijagnostici preko uspostave kriterija kontrole kvaliteta (kvalitet rendgenograma, doza zračenja) za pacijenta, osoblje i opću populaciju treba da bude na najviše mogućem nivou.

U poglavlju II su izneseni osnovni principi kod medicinske ekspozicije i opravdanost medicinske ekspozicije kad imamo dovoljnu korist u dijagnostici i terapiji, koju proizvodi jonizirajuće zračenje, uključujući direktnu korist za zdravlje osobe, kao i za društvo, nasuprot lične štete koju izlaganje zračenju može uzrokovati, uzimajući u obzir efikasnost, korist kao i rizike raspoloživih alternativnih tehnika koje imaju isti cilj, ali ne uključuju ili uključuju u manjoj mjeri izlaganje jonizirajućem zračenju. Nadležni liječnik treba da bude angažiran u procesu postavljanja opravdanosti za ekspoziciju, kao i da je odbije ako ne može dokazati da je opravdana.

Opravdanost medicinske ekspozicije kod uvođenja novih procedura zahtijeva utvrđivanje njihove dijagnostičke opravdanosti, kao i reviziju postojećih dijagnostičkih procedura, jer kriteriji za opravdanost pojedinih tipova dijagnostičkih procedura čine dio programa osiguranja kvaliteta odgovarajućih radioloških odjela.

Agencija, u skladu s međunarodnim standardima, donosi uputstvo koje se odnosi na kliničke kriterije za upućivanje pacijenta na medicinske ekspozicije u oblasti radiološke dijagnostike. Kod izvođenja procedura u radiološkoj dijagnostici vlasnik

licence, kroz provođenje “Programa osiguranja kvaliteta” osigurava da odjeli za radiološku dijagnostiku imaju pisane protokole za standardne procedure, koji će sadržavati mogućnosti optimizacije pacijentovih doza zračenja uz očuvanje dijagnostičke informacije i koji se trebaju ažurirati i revidirati kod izmjena standardnih pregleda ili uvođenja novih tehnika snimanja. Medicinsko osoblje koje obavlja radiološke procedure mora biti kvalificirano za pravilan odabir i korištenje opreme i imati adekvatnu obuku iz oblasti zaštite od zračenja [4].

Navedenim pravilnikom su propisani i osnovni principi zaštite osoba od izloženosti jonizirajućem zračenju kod medicinske ekspozicije, odgovornosti i licence, uključujući i programe osiguranja kvaliteta, kao i pravila, mjere i organizacija zaštite od jonizirajućeg zračenja u radioterapiji i nuklearnoj medicini [2,3,5].

Kod radioloških procedura potrebno je raditi na optimizaciji izloženosti pacijenta jonizirajućem zračenju. Najveći udjel u kolektivnoj dozi ozračivanja stanovništva zapravo čine ozračenja kao posljedica rendgenskih postupaka. Faktori koji vode smanjenju izlaganja zračenju uključuju i uklanjanje zračenja koje ne doprinosi stvaranju korisne slike [6].

U toku rada mora se voditi računa da se primjenjuju međunarodni propisi i preporuke za smanjenje doze ozračenja pacijenta, osobito u dijagnostičkoj radiologiji [7–9].

Suvremeni rendgenski uređaji omogućavaju bolju upotrebu izlaznog zračenja. Kod snimanja radiološki inženjer treba voditi računa o parametrima koji su odgovorni za efektivnu dozu, važan pravilan odabir filma – folije, adekvatnoj opremi za razvijanje filmova, ako se ne koristi digitalna oprema, kolimaciji rendgenskog snopa da se minimizira veličina ozračenog područja – volumena, primjeni adekvatnih filtara (2,5 ml Al) u rendgenskoj cijevi. Treba voditi računa i o biološkom djelovanju jonizirajućeg zračenja na pacijenta.

Liječnik opće prakse ili specijalista mora na uputnici postaviti jasne kliničke podatke na osnovu kojih je indicirao radiološki pregled. S obzirom na brojnost radioloških pretraga: konvencionalnih i digitalnih (CT, DSA, NM, PET/CT, MRI i US), treba naglasiti da je nepotrebno i neopravdano koristiti više sličnih dijagnostičkih postupaka.

Danas suvremeni radiološki dijagnostički i terapijski odjeli moraju voditi računa o osiguranju kvaliteta shodno svom specifičnom djelovanju [6].

Diskusija i zaključak

Pridržavajući se opravdanosti primjene jonizirajućeg zračenja u medicini moramo se pridržavati određenih propisa. U svakodnevnoj upotrebi radioaktivnih izvora u medicini ima mjesta i potrebe za postizanjem smanjenja doze ozračenja pacijenata. Primjenom ALARA načela, poštujući propise Pravilnika o zaštiti od jonizirajućeg zračenja kod medicinskih usluga, koristeći adekvatne radiološke dijagnostičke metode, bez nepotrebnog ponavljanja i dupliranja pretraga moguće je značajno smanjenje

doze, bez gubljenja dijagnostičke informacije. Određivanje visine doze, kao orijentacijske doze, za najveći broj pretraga je moguće, tj. moguće je odrediti specifične nivoe doza za svaku određenu pretragu, što bi služilo kao prihvaćeni nivoi. Koristeći low dose tehnike kod MSCT aparata možemo uticati na smanjenje doze zračenja.

Uloga radiologa je da pravilno koristi dostupne radiološke procedure prema kliničkim indikacijama i da vodi računa da predloženom radiološkom procedurom dobije maksimum potrebnih dijagnostičkih informacija, tj. da se vodi računa o opravdanosti primjene jonizirajućeg zračenja u dijagnostičkom postupku.

Potrebna je kontinuirana edukacija, kako liječnika, specijalista i samih radiologa, tako i radioloških inženjera jer suvremena tehnološka dostignuća donose brojne promjene koje utiču i na algoritme radioloških dijagnostičkih postupaka.

Uza sve to, neophodna je stalna kontrola kvalitete dijagnostičkih i terapijskih postupaka.

Reference

- [1] Padovan Štern R, Šunjara V. Radiološke pretrage: podsjetnik za naručivanje. Medix (specijalizirani medicinski dvomjesečnik. www.Medix.com.HR) srpanj/kolovoz 2011;XVII(94/95):113–6.
- [2] Lovrinčević A, Lincender L, Vegar-Zubović S, Klančević M. Opća i specijalna radiologija. Sarajevo. 2009.
- [3] Klavas D, Pašagić Dž, Kotar N. Radiation protection in pediatric Radiography – Introducing some immobilization and protection equipment. *Pediatrics* 2016;12(1):81–6.
- [4] Državna regulatorna agencija za radijacijsku i nuklearnu sigurnost (2011). Pravilnik o zaštiti od zračenja kod medicinske ekspozicije. “Službeni glasnik BiH” broj 13.
- [5] EUROATOM 97/43
- [6] Grgić S, Novaković M. Optimizacija izloženosti pacijenata radioaktivnom zračenju. V Simpozij HDZZ, Stubičke Toplice, 2003;217–20.
- [7] WHO: Manual on Radiation Protection in Hospitals and General Practice. 1974.
- [8] International Atomic Energy Agency (IAEA): Interregional Post-Graduate Education Training Course on Radiation Protection. Argonne National Laboratory. Argonne USA. 1995.
- [9] International Atomic Energy Agency (IAEA): Regional Training Course on Radiation Protection in Medical Practice. Lodz. Poljska. 1997.
- [10] International Atomic Energy Agency (IAEA): Radiation Doses in Diagnostic. Radiology and Methods for Doses Reduction. 1995.

JUSTIFICATION OF MEDICAL EXPOSURE AND CRITERIA FOR REFERRAL TO DIAGNOSTIC IMAGING

Abstract

Aim of the article: To draw attention to justification of medical exposure in the application of ionizing radiation, as well as to the necessity of ionized radiation protection through the application of existing regulations. This study refers to the application of ionizing radiation for medical purposes, justification of medical exposure, criteria for referral to diagnostic imaging, and ionizing radiation protection. The protection is based on the opinion that diagnostic imaging is justified and useful for patients. Balance between digital techniques and radiation dose the patient receives is very important in digital techniques. Nowadays, diagnostic imaging procedures present one of the largest artificial sources of ionizing radiation of the population in medicine. Proper selection of diagnostic imaging procedures and monitoring of the disease can influence setting the final diagnosis and application of adequate treatment. It is necessary to avoid duplication and repetition of diagnostic imaging procedures using ionizing radiation. Special importance in diagnostic imaging procedures applied to both adults and children requires knowledge of imaging procedure possibilities, their adequate application and education of radiology engineers. The most important is the safety of the patient in the application of necessary radiology procedures (imaging techniques and exposures) which is achieved by adequate protection and immobilization. Professional staff must adhere to ionizing radiation protection measures in the field of imaging diagnostics, nuclear medicine and radiotherapy. Compliance with ALARA (As Low as Reasonably Achievable) principles issued by European Agency for Protection against Ionizing Radiation and application of regulations of the State Regulatory Agency for Radiation and Nuclear Safety can significantly reduce the radiation dose without losing diagnostic information. Application of the specific levels of radiation dose for each particular imaging as an “accepted level” along with regular quality control of diagnostic and therapeutic procedures can assist in the protection against radiation in radiology, in justified application of diagnostic imaging and therapeutic procedures. *Conclusion:* By the adequate application of diagnostic imaging procedures based on strict clinical indications, by modifying the existing regulations and protection means, as well as by continuously educating radiologists, general practitioners, specialists and medical radiology engineers, we can contribute to decreasing the risk when it comes to changes in ionizing radiation in medicine.

Key words: ionizing radiation, radiology, radiation protection.

OPTIMIZACIJA ZAŠTITE OD ZRAČENJA U RADIODIJAGNOSTICI

Adnan Beganović

Služba za zaštitu od zračenja i medicinsku fiziku Kliničkog centra Univerziteta u Sarajevu

Autor za korespondenciju:

Adnan Beganović

adnanbeg@gmail.com

Prevodilac za engleski jezik: Adnan Arnautlija

Lektorica za B/H/S jezik: Zenaída Karavdić

Primljen: 2016, prihvaćen: 2017, objavljen: 2018.

Apstrakt

Međunarodna komisija za radiološku zaštitu (ICRP) objavila je veliki broj izvještaja koji su se bavili različitim temama iz oblasti zaštite od zračenja pacijenata, profesionalno izloženih lica i stanovništva. "Preporuke ICRP-a iz 2007. godine" bave se općim principima zaštite od zračenja, a to su: opravdanost, optimizacija i limitiranje individualne doze i rizika. Ovi principi postali su dio domaće regulative, među kojima je i Pravilnik o zaštiti od jonizirajućeg zračenja kod medicinske ekspozicije, gdje se principu optimizacije posvećuje posebna pažnja. U radu su opisane metode optimizacije kod četiri najvažnije tehnike u radiodijagnostici: radiografija, mamografija, fluoroskopija i kompjuterizirana tomografija. Date su i dozimetrijske veličine koje se koriste kao indikacija doze za pacijenta. Proces optimizacije treba planirati, provoditi i nadzirati radna grupa s dovoljno ovlasti da izmijeni način rada na odjeljenju za radiodijagnostiku. Preduslov za pokretanje optimizacije jeste određivanje doza kod najčešćih procedura u dijagnostičkoj radiologiji. Dobijeni rezultati trebaju biti objavljeni i transparentni, kako bi se mogli koristiti kod edukacije i obuke osoblja.

Key words: radiologija, radiodijagnostika, optimizacija, zaštita od zračenja.

Uvod

Radiologija je, u širem značenju riječi, grana medicinskih nauka koja se najčešće dijeli na tri osnovne oblasti – radiodijagnostiku, nuklearnu medicinu i radioterapiju. Ova podjela nije striktna pa se radiodijagnostičari mogu baviti i terapijskim procedurama (interventna radiologija), a specijalisti nuklearne medicine u svom radu često koriste radiodijagnostičke uređaje (SPECT-CT, PET-CT i dr). Navedene oblasti radiologije objedinjuje jedna zajednička poveznica – u svom radu koriste jonizirajuće zračenje.

Štetni efekti zračenja uočeni su ubrzo nakon njihovog otkrića. Nikola Tesla (1856–1943) već u junu 1896. preporučuje da se “eksperimentatori ne bi trebali previše približavati rendgenskoj cijevi” [1]. Wolfram Fuchs će krajem te godine objaviti prvi članak kojim preporučuje metode smanjenja izloženosti zračenju [2]. Značajan pomak u radiološkoj zaštiti bilo je osnivanje Međunarodne komisije za radiološku zaštitu (ICRP) 1928. godine [3].

ICRP je u narednim godinama objavio veliki broj izvještaja koji su se bavili različitim temama iz oblasti zaštite od zračenja pacijenata, profesionalno izloženih lica i stanovništva. Njihove preporuke su osnova za sigurnosne standarde koje objavljuje Međunarodna agencija za atomsku energiju (IAEA), koje su dužne pratiti zemlje članice, među kojima je i Bosna i Hercegovina. Državna regulatorna agencija za radijacijsku i nuklearnu sigurnost (DARNS), osnovana nakon usvajanja Zakona o radijacijskoj i nuklearnoj sigurnosti u BiH, standarde prilagođava i objavljuje u vidu pravilnika, odluka i vodiča koji važe na državnom nivou.

Izvještaj ICRP-a br. 103 nazvan “Preporuke ICRP-a iz 2007. godine” bavi se općim principima zaštite od zračenja, a to su: opravdanost, optimizacija i limitiranje individualne doze i rizika [4]. Ovi principi postali su dio domaće regulative, među kojima je i Pravilnik o zaštiti od jonizirajućeg zračenja kod medicinske ekspozicije [5]. Poštivanje principa opravdanosti je jako značajno, posebno kod medicinske ekspozicije. Upotreba zračenja u medicinske svrhe mora biti opravdana, kako na nivou same medicinske prakse i nivou kliničkih procedura, tako i na individualnom nivou – za svakog pojedinog pacijenta, što je odgovornost nadležnog doktora [4,5].

U navedenom Pravilniku se principu optimizacije posvećuje posebna pažnja. U odjeljku B se kaže: “Za doze koje potječu od medicinskih ekspozicija za radiološke svrhe..., izuzev radioterapijskih procedura, mora se osigurati da budu toliko niske koliko je to razumno moguće uz uslov da se dobiju adekvatne dijagnostičke informacije, uzimajući pritom u obzir ekonomske i društvene faktore.” [5].

Treći princip zaštite od zračenja (limitiranje individualne doze i rizika) ne primjenjuje se u medicinskoj ekspoziciji, već se kod pojedinih pacijenata analizira omjer koristi i štete jonizirajućeg zračenja. Umjesto strogih limita, Pravilnik definiše pojam dijagnostičkog referentnog nivoa (DRL) kao nivo doza u medicinskim radiodijagnostičkim postupcima i nalaže vlasniku licence (direktoru ustanove koja posjeduje medicinske izvore zračenja) da, kada se ovi nivoi “konstantno prekoračuju, obave adekvatne provjere, te da se poduzmu neophodne korektivne akcije” [5]. Slobodno rečeno, optimizacija je smanjenje (nekad i povećanje) doza zračenja za pacijente uz očuvanje kvalitete dijagnostičke slike.

Medicinsko izlaganje izvorima jonizirajućeg zračenja u razvijenim zemljama daje najveći doprinos u ukupnoj efektivnoj dozi po glavi stanovnika od svih izvora zračenja, prirodnih ili vještačkih. Iako su individualni rizici mali, revnosnom primjenom principa zaštite od zračenja u medicini se spašavaju ljudski životi iz cijele populacije.

Ovaj rad se fokusira na metode optimizacije kod različitih radiodijagnostičkih tehnika snimanja te daje primjer kako se optimizacija vrši u kompjuteriziranoj tomografiji (CT).

Metode optimizacije

Radiografija

Opća definicija radiografije bila bi proizvodnja planarne slike heterogenog objekta korištenjem jonizirajućeg zračenja. U medicinskoj ekspoziciji “heterogeni objekat” je dio ljudskog tijela, a “jonizirajuće zračenje” je zračenje proizvedeno u rendgenskoj cijevi. Ekspozicija traje kratko – najčešće nekoliko milisekundi, a rijetko iznad jedne sekunde. Zračenje koje prođe kroz tijelo detektuje se korištenjem filma ili digitalnog detektora. Dobijena slika je dvodimenzionalna.

Na izgled radiografskog snimka utječe određeni broj tehničkih parametara. Najvažniji su anodni napon (kV), naboj (mAs), vrijeme ekspozicije, veličina fokusa, filtracija, veličina polja, odabir zacrnjenja na automatskoj kontroli ekspozicije, upotreba rešetke itd. Korišteni tehnički parametri snimanja određuju i dozu zračenja kojoj se izlaže pacijent. Indikator doze za pacijenta je proizvod kerme i površine polja P_{KA} . Ova veličina se može direktno mjeriti u toku ekspozicije i njom su iskazani DRL-ovi iz Pravilnika o zaštiti od jonizirajućeg zračenja kod medicinske ekspozicije [5,6].

Metode optimizacije mogu se sažeti u nekoliko osnovnih preporuka:

- polje zračenja treba biti najmanje moguće, a radiosenzitivne dijelove tijela pacijenta (gonade, dojke i sl.) treba pokriti zaštitnim pregačama;
- anodni napon (kV) i naboj (mAs) biraju se za svakog pacijenta pojedinačno. Anodni naboj (mAs) treba svesti na minimum za svaku ekspoziciju. Ako je potrebno koristiti veće kondicije, onda treba dati prioritet povećanju anodnog napona, a ne anodnog naboja;
- trajanje ekspozicije mora biti što je kraće moguće kako bi se izbjegli artefakti koji nastaju usljed pomjeranja pacijenta ili njegovih organa.
- Koristiti rešetku za smanjenje raspršenog zračenja samo kada je to neophodno.

Mamografija

Mamografija je radiografsko snimanje dojke. Novi uređaji imaju i mogućnost digitalnog tomografskog snimanja. Tehnički parametri koji utječu na kvalitet mamograma i dozu zračenja koju pacijentica primi su: anodni napon (kV), naboj (mAs), trajanje ekspozicije, debljina kompresovane dojke, sila kompresije, materijal mete anode i filtera, brzina folije i filma itd. Mamografija je zlatni standard kod ranog otkrivanja raka dojke, pa se koristi u programima asimptotskog pregleda (skrining).

Dozimetrijska veličina koja se koristi u mamografiji je srednja glandularna doza, \bar{D}_g . To je srednja apsorbovana doza koju primi mliječna žlijezda.

Optimizacija u mamografiji zauzima posebno mjesto, jer se insistira na kvaliteti slike. Osnovne preporuke su sljedeće:

- kondicije koje se koriste u mamografiji ne mogu se značajno mijenjati. Za dojk u srednje veličine preporučuje se vrijednost anodnog napona od 28 kV, dok naboj određuje automatska kontrola ekspozicije (AEC);
- korištenje AEC-a je obavezno;
- optička gustoća filma trebala bi biti u rasponu 1,2–1,9. Kod digitalnih detektora se AEC-om osigurava adekvatna doza na receptor slike;
- filmovi se razvijaju u automatskim procesorima posebno kalibriranim za rad u mamografiji. Razvijeni film treba očitavati na homogenim negatoskopima čija je luminansa iznad 3000 cd/m²;
- digitalni snimci se očitavaju na specijalnim monitorima, minimalne razlučivosti od 5 MPx. Ambijentalno osvjetljenje mora biti nisko kako bi se poboljšala detekcija niskokontrastnih detalja.

Dijaskopija

Dijaskopija, fluoroskopija ili prosvjetljavanje, predstavlja korištenje kontinuiranog ili impulsnog snopa zračenja za dobijanje snimke na ekranu, uživo.

Izgled fluoroskopskog snimka zavisi od sličnih parametara kao i kod radiografije. Umjesto naboja mijenja se jačina struje (mA), a uređaji često imaju i odabir načina rada rendgenske cijevi – kontinuiran, impulsni, niskodozni i sl. Također, fluoroskopski uređaji mogu raditi na različitim uvećanjima slike. Svi ovi parametri imaju utjecaj na pacijentnu dozu i dozu koju primaju operateri.

Dozimetrijska veličina koja je u upotrebi kod interpretacije doze koju primaju pacijenti je proizvod kerme i površine P_{KA} [6].

Optimizacija kod dijaskopije se postiže na sljedeći način:

- prosvjetljavanje se smije vršiti samo kada je nužno, kada je neophodno saznati neku dijagnostičku informaciju, a ne kontinuirano.
- koristiti impulsno snop zračenja, kada god je to moguće, sa što manjim brojem slika u jedinici vremena;
- koristiti što veće vrijednosti anodnog napona (kV), a manju anodnu struju (mA);
- blendom treba ograničiti veličinu polja samo na dio tijela koji je značajan u dijagnostici;
- veličina odabranog vidnog polja (FOV) treba biti što je moguće manja. Iako se na ovaj način brzina doze povećava, polje zračenja je manje, pa se doza za pacijenta ne mijenja značajno. S druge strane, manje vidno polje daje uvećanu sliku veće razlučivosti, kontrast i uniformnost slike su povećani, a smanjeno blještanje;
- u toku procedure najbolje je detektor zračenja približiti pacijentu, a rendgensku cijev odaljiti što je više moguće. Na taj način smanjuje se doza na kožu, a povećava kvalitet slike.

Nešto kompleksniji fluoroskopski uređaji se koriste kod interventnih procedura u radiologiji, kardiologiji, kardiohirurgiji, gastroenterologiji, vaskularnoj hirurgiji i drugim granama medicine. Doze koje pacijenti primaju tokom ovih procedura su visoke, a postoji mogućnost da se kod pacijenata jave deterministički efekti zračenja (kožni eritem i dr). Blenda kojom se smanjuje površina polja zračenja postoji i na ovim uređajima, ali se često mogu naći i posebni filteri koji smanjuju isijavanje koje nastaje kada zračenje prolazi kroz praznine ili nehomogene dijelove tijela (između nogu, kroz pluća). Korištenje ovih filtera smanjuje dozu za pacijenta, a povećava kvalitet slike.

Kompjuterizirana tomografija

Kompjuterizirana tomografija (CT) doživjela je veliku ekspanziju u posljednjih nekoliko godina. Od vremena kada je za dobijanje jednog sloja bilo potrebno nekoliko minuta, danas govorimo o višeslojnim CT-skenerima koji mogu napraviti snimak cijelog tijela u samo nekoliko sekundi.

Doze koje se dobijaju kod CT pretraga nisu zanemarive i često mogu iznositi i nekoliko desetina milisiverta. Ukupan broj pacijenata koji obavljaju CT preglede iz godine u godinu se povećava [7].

Dozni indeks kompjuterizirane tomografije (CTDI ili *C*) je osnovna veličina koja se koristi u CT dozimetriji [6]. Numerički je CTDI jednak dozi koju bi primila tačka u jednom sloju kada bi dozni profil imao oblik pravougaonika širine jednake otvoru blende CT-aparata.

Doza se treba optimizirati za svakog pacijenta pojedinačno i imati u vidu sljedeće parametre [8]:

- anodni naboj je direktno proporcionalan šumu slike;
- anodni napon utječe na kontrast. Njegovo povećanje se opravdava samo u slučaju pretilih pacijenata, dok se kod djece preporučuje korištenje nižih vrijednosti napona;
- otvor blende i debljina sloja: širi sloj daje sliku manjeg šuma, ali je rezolucija po z-osi manja. Širi otvor blende povećava geometrijsku efikasnost snopa, ali je i uzrok prekoračenja granica snimanja.
- faktor proreda (*pitch*): veći faktor proreda smanjuje dozu i ubrzava proceduru, ali smanjuje rezoluciju po z-osi i doprinosi javljanju artefakata;
- dužina skena treba biti što je moguće kraća;
- broj serija treba biti što je moguće manji;
- broj rotacija kod dinamičkih studija treba biti što je moguće manji;
- korištenje zaštitne opreme od bizmuta se ne preporučuje;
- korištenje selektivne ugaone kontrole naboja će smanjiti dozu, ali može dovesti do javljanja artefakata;
- rekonstrukcijski filteri trebaju se birati u skladu s dijagnostičkim pregledom koji se obavlja. Filteri za oštrinu imaju bolju prostornu rezoluciju, ali i veći šum, dok se kod filtera za glatkoću gubi prostorna rezolucija na račun boljeg kontrasta;

- nivo zacrnjenja i otvor prozora treba koristiti u skladu s pretragom koja se obavlja.

Diskusija

Opisane metode optimizacije mogu se primijeniti kod najvećeg broja tehnika u dijagnostičkoj i interventnoj radiologiji. Posebne tehnike, kao što su klasična tomografija ili mamografska tomosinteza, zatim metode u stomatološkoj radiologiji ili korištenje kompjuterizirane tomografije konusnim snopom (CBCT) nisu opisane. Neka od općih pravila mogu se primijeniti i kod ovih tehnika, ali je za detaljan proces optimizacije neophodno konsultirati dostupnu literaturu koju objavljuju relevantne međunarodne organizacije ili dolaze iz renomiranih naučnih ustanova.

Proces optimizacije treba planirati, provoditi i nadzirati radna grupa s dovoljno ovlasti da izmijeni način rada na odjeljenju za radiodijagnostiku. Idealno bi bilo da na njenom čelu bude šef odjeljenja. Pored radiologa, članovi grupe trebaju biti i medicinski fizičar i inženjer medicinske radiologije [9].

Preduslov za pokretanje optimizacije jeste određivanje doza kod najčešćih procedura u dijagnostičkoj radiologiji [10]. U sljedećem koraku ide se na izmjene protokola snimanja, koji će najvjerojatnije, ako se odluči za smanjivanje doze, dovesti do pogoršanja kvalitete slike. Izmjena kvalitete slike se mora izmjeriti objektivnim parametrima kako bi se ustanovilo da nije došlo do gubitka dijagnostičke informacije. Jedan od načina je korištenje kriterija dobre slike koje je objavila Evropska komisija u nekoliko svojih izvještaja [11–15].

Zaključak

Opravdanost i optimizacija su dva principa zaštite od zračenja koji u radiologiji trebaju imati posebno mjesto, ne samo zbog kontrole izloženosti jonizirajućem zračenju već i zbog drugih aspekata rada u medicini. Pacijent koji nije obavio neopravdan radiodijagnostički pregled nije samo izbjegao nepotrebno izlaganje zračenju već se izbjegao nepotreban trošak na račun rada osoblja i korištenja radiološke opreme. Optimizacija nije samo smanjenje doze na pacijenta ili populaciju općenito već se racionalnim korištenjem opreme produžava njen vijek trajanja i smanjuje doza koju primaju profesionalno izložena lica.

Proces optimizacije treba da prati jasna struktura odlučivanja, vođenja evidencije, izvještavanja, kontrole i revizije. Dobijeni rezultati trebaju biti objavljeni i transparentni, kako bi se mogli koristiti kod edukacije i obuke. Ustanova koja je izvršila optimizaciju procedura mora pripremiti protokol snimanja koji će biti dostupan svima uključenim u proces rada na odjeljenju za dijagnostičku radiologiju.

Reference

- [1] Hrabak M, Padovan RS, Kralik M, Ozretic D, Potocki K. Nikola Tesla and the Discovery of X-rays. *RadioGraphics*. 2008 Jul 1;28(4):1189–92.
- [2] Brown P. American martyrs to radiology. Wolfram Conrad Fuchs (1865-1908). 1936. *AJR Am J Roentgenol*. 1995;164(4):1013–5.
- [3] Clarke RH, Valentin J. The history of ICRP and the evolution of its policies. *Ann ICRP*. 2009;39(1):75–110.
- [4] ICRP. The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 103. *Ann ICRP*. 2007;2-4(37).
- [5] DARNS. Pravilnik o zaštiti od jonizirajućeg zračenja kod medicinske ekspozicije. *Službeni Glas BiH*. 2011;(13).
- [6] IAEA. TRS 457. Dosimetry in Diagnostic Radiology: An International Code of Practice. Vienna, Austria: IAEA; 2007.
- [7] UNSCEAR. UNSCEAR 2008 Report: Sources and effects of ionizing radiation – Volume I. New York, NY: UN; 2008.
- [8] Kalra MK, Maher MM, Toth TL, Hamberg LM, Blake MA, Shepard J-A, et al. Strategies for CT radiation dose optimization I. *Radiology*. 2004;230(3):619–28.
- [9] Schick D. MO-DE-204-03: Radiology Dose Optimisation – An Australian Perspective. *Med Phys*. 2016;43(6):3696–7.
- [10] Brink JA, Miller DL. US national diagnostic reference levels: closing the gap. *Radiology*. 2015;277(1):3–6.
- [11] European Commission. European guidelines on quality criteria for diagnostic radiographic images. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities; 1996. 71 p.
- [12] European Commission. European Guidelines on quality criteria for diagnostic radiographic images in paediatrics. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities; 1996. 1-71 p.
- [13] European Commission. Quality Criteria Computed Tomography. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities; 1998.
- [14] European Commission. European guidelines for quality assurance in breast cancer screening and diagnosis. IV. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities; 2006.
- [15] European Commission. European protocol on dosimetry in mammography. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities; 1996.

OPTIMIZATION OF RADIATION PROTECTION IN DIAGNOSTIC RADIOLOGY

Abstract

The International Commission on Radiological Protection (ICRP) has published a number of reports dealing with various topics in the field of radiation protection of patients, professionally exposed persons and the population. "ICRP Recommendations of 2007" deal with general principles of radiation protection, such as: justification, optimization and limitation of individual doses and risk. These principles have become part of domestic regulations, among which is the Ordinance on the Protection against Ionizing Radiation in Medical Exposure, where special attention is given to the principle of optimization. The methods of optimization are described for the four most important techniques in diagnostic radiology: radiography, mammography, fluoroscopy and computed tomography. Furthermore, the dosimetric quantities used as dose indicators for the patient are also given. The optimization process should be planned, implemented and monitored by a working group with sufficient authority to modify the method of operation in the radioiodiagnostics department. The precondition for initiating optimization is to determine the doses in the most common procedures in diagnostic radiology. The results obtained should be published and transparent, so they can be used in the education and training of staff.

Key words: radiology, radiiodiagnostics, optimization, radiation protection.

OPTIMIZACIJA U NUKLEARNOJ MEDICINI

Elma Kučukalić-Selimović¹, Amra Skopljak-Beganović²

¹Klinika za nuklearnu medicinu i endokrinologiju Kliničkog centra Univerziteta u Sarajevu

²Služba za zaštitu od zračenja i medicinsku fiziku Kliničkog centra Univerziteta u Sarajevu

Autorica za korespondenciju:

Elma Kučukalić-Selimović

elma.kucukalic@yahoo.com

Prevodilac za engleski jezik: Adnan Arnautlija

Lektorica za B/H/S jezik: Zenaida Karavdić

Primljen: 2017, prihvaćen: 2017, objavljen: 2018.

Apstrakt

Optimizacija upotrebe izvora jonizirajućeg zračenja jedan je od osnovnih principa koje promovira Međunarodna komisija za radiološku zaštitu (ICRP) te je kao takva postala i dio domaće i međunarodne regulative. Pravilnik o zaštiti od jonizirajućeg zračenja kod medicinske ekspozicije, koji je transpozicija Evropske direktive 2013/59/Euratom, zahtijeva od korisnika primjenu ovog principa i u nuklearnoj medicini. Metode optimizacije se koriste u nuklearnoj medicini u cilju dobijanja interpretabilnog nalaza uz minimalno izlaganje pacijenta jonizirajućem zračenju. Metode optimizacije kod nuklearnomedicinskih pregleda podrazumijevaju odabir adekvatnog radiofarmaceutika, odabir odgovarajućeg aktiviteta radioaktivnog izotopa i analizu kvalitete slike, produženje vremena akvizicije, odabir odgovarajućeg kolimatora itd. Proces optimizacije je timski poduhvat u koji je uključen specijalista nuklearne medicine, medicinski fizičar i inženjer medicinske radiologije. Optimizirani protokol bilo koje pretrage treba biti dostupan osoblju uključenom u radne zadatke na nuklearnoj medicini.

Key words: nuklearna medicina, optimizacija, zaštita od zračenja.

Uvod

Medicinska ekspozicija pacijenata jedan je od najvećih izvora izloženosti zračenju populacije. Nuklearna medicina je drugi veliki izvor medicinske ekspozicije radijaciji poslije kompjuterizirane tomografije. Signifikantnim razvojem tehnologije i hibridnih sistema, kao i razvojem radiofarmacije, došlo je do povećanja upotrebe

nuklearno-medicinskih procedura u posljednje tri dekade. Tako je u SAD ranih 1980-ih godina bilo oko 6 miliona nuklearno-medicinskih procedura u jednoj godini, dok ih je sada oko 20 miliona godišnje [1]. To povećanje se posebno odnosi na broj usluga u oblasti kardiologije, onkologije i neurologije.

Optimizacija

Benefiti od nuklearno-medicinskih procedura su poznati i izvjesno je da prevazilaze rizike. Međutim, neophodno je da indikacije budu adekvatne, a studije optimizirane da bi se dobila najbolja kvaliteta slike i s najmanjom radijacionom dozom. Možemo reći da nuklearno-medicinska dijagnostika zahtijeva da pravi test s pravom administriranom dozom bude dat pravom pacijentu u pravo vrijeme. Procedura se mora situirati u klinički problem da bi odgovorila na kliničko pitanje kod svakog pojedinog pacijenta. Osnovni principi zaštite od zračenja zasnivaju se na opravdanosti, optimizaciji i limitu doza. Ključni faktor u medicinskoj ekspoziciji je opravdanost ekspozicije koja bi osigurala benefite za ranu dijagnozu i najbolji menadžment kod pojedinog pacijenta u odnosu na štetnost radijacije.

Nuklearno-medicinske i radiološke procedure daju aproksimativno slične efektivne doze za pacijente. Optimizacija upotrebe izvora jonizirajućeg zračenja jedan je od osnovnih principa koje promovira Međunarodna komisija za radiološku zaštitu (ICRP) te je kao takva postala i dio domaće i međunarodne regulative.

Pravilnik o zaštiti od jonizirajućeg zračenja kod medicinske ekspozicije, koji je transpozicija Evropske direktive Euratom 2013/59 zahtijeva primjenu ovih principa i u nuklearnoj medicini. Metode optimizacije se koriste u nuklearnoj medicini u cilju dobivanja interpretabilnog nalaza uz minimalno izlaganje pacijenta jonizirajućem zračenju [2].

Metode optimizacije

Metode optimizacije kod nuklearno-medicinskih procedura podrazumijevaju odabir adekvatnog radiofarmaceutika, odabir odgovarajućeg aktiviteta radioaktivnog izotopa, izradu optimalnog protokola za svaku proceduru, redovnu reevaluaciju protokola, analizu kvalitete slike, produženje vremena akvizicije ako je potrebno, odabir odgovarajućeg kolimatora, kontrolu kvaliteta opreme i radiofarmaceutika itd.

Proces optimizacije je timski poduhvat u koji su uključeni:

- specijalista nuklearne medicine
- medicinski fizičar
- inženjer medicinske radiologije
- radiohemičar ili radiofarmaceut

Optimizirani protokol bilo koje pretrage treba biti dostupan kompletnom osoblju uključenom u radne zadatke prilikom izvođenja nuklearno-medicinskih procedura. Proces optimizacije zahtijeva balans između administrirane aktivnosti (i tako doze zračenja za pacijenta) i kvalitete slike.

Radijacione doze trebaju biti tako male da daju razumne, korisne informacije i kao prvi korak moraju se definisati dijagnostički nivoi administriranih aktivnosti. Ti nivoi su oni koji obezbjeđuju optimum kliničke informacije i predstavljaju praktični alat koji nam pomaže pri izradi protokola i optimizaciji doze. S pre niskim dijagnostičkim referentnim iznosom doze informacija nema dijagnostičkog kvaliteta, dok s previsokim ekstraradijacionim opterećenjem gubimo potencijalne benefite. Pri izračunavanju doze, u okviru dijagnostičkih referentnih visina doze, koristimo se tzv. ALARP principom ili poznatim ALARA principom. Na taj način s minimalno potrebnom dozom dobivamo maksimalno korisnu kliničku informaciju.

Varijacije administrirane doze

Dijagnostički referentni nivoi normalno determiniraju aktivnost koja se administrira pacijentu za određenu studiju.

Dotatna aktivnost može biti data pacijentu koji zahtijeva skraćenje procedure, kao što su pacijenti koji osjećaju jaku bol iz bilo kojeg razloga, npr. zbog metastatske bolesti kostiju.

Nekada klinička stanja indiciraju da različite doze radiofarmaceutika trebaju biti injicirane. Kod pacijenata s renalnom insuficijencijom generalno je potrebno povećati administriranu dozu u cilju vizualizacije bubrega.

Nekada oprema i zahtjevi vezani za procedure diktiraju različite administrirane aktivnosti. Najčešća situacija je upotreba tomografije, gdje obično treba biti data veća aktivnost, zatim proba versus gama kamera ili ako je gama kamera višedetektorska. Ponavljanje procedura treba minimizirati. Ako je nuklearno-medicinsku proceduru potrebno ponoviti, to će rezultirati povećanom ekspozicijom i za pacijenta i za osoblje.

Osiguranje jasnog programa kontrole kvaliteta (radiofarmacija i oprema) će doprinijeti da se procedure ne ponavljaju, a da slike imaju dijagnostički kvalitet. Loša administracija radiofarmaceutika može biti zbog davanja nekorektnog radiofarmaceutika, neadekvatne visine doze i davanja pogrešnom pacijentu. U svim slučajevima prvo treba misliti na pacijenta i mjere koje će povećati ekskreciju i reducirati dozu na organe kao što je mokraćni mjehur. Važno je informisati ordinirajućeg ljekara i prijaviti incident u skladu s nacionalnom legislativom. Moguća je i loša administracija, čest primjer je ekstravazacija. Iako lokalne doze mogu biti velike, obično nije potrebno poduzimati aktivne korake da bi radiofarmaceutik difundirao.

Trudnoća

Zbog doze za fetus mogućnost trudnoće treba biti razmatrana kod svake žene i obavezno je ukazati pacijenticama da moraju informisati osoblje ako misle da bi mogle biti trudne. Žene kojima je izostalo menstrualno krvarenje trebaju uvijek biti razmatrane kao trudnice, a posebnu pažnju treba obratiti na adolescentice i menopauzalne žene. Ako se dokaže trudnoća, slučaj treba diskutovati s relevantnim medicinskim

specijalistima i razmotriti može li procedura biti odgođena. Ukoliko se provodi, potrebna je visoka kvaliteta slika, iako se u nekim centrima daje redukovana visina doze. Ako se procedura provodi kod trudnice, neophodna je definitivna dijagnoza i jasan stav. To se naročito odnosi na ventilacionu i perfuzionu scintigrafiju pluća i slike kod trudnica, jer se mora računati s problemom antikoagulantne terapije i pravilne odluke. Drugi aspekt je savjetovanje žena da odgode trudnoću i planiraju je nakon nekog vremena poslije administracije nekih radiofarmaceutika.

Taj period se računa na bazi doze za fetus koja neće preći 1 m Gy tokom trudnoće [3].

Tabela 1. Period prestanka dojenja nakon aplikacije radiofarmaceutika [4]

Naziv radionuklida	Aktivnost (MBq)	Period prekida dojenja
^{99m} Tc pertehnetat	185	4 sata
^{99m} Tc MAA	148	12 sati
^{99m} Tc obilježeni eritrociti	740	12 sati
^{99m} Tc obilježeni leukociti	185	2 dana
¹²³ I MIBG	370	2 dana
¹²³ I NaI	15	6 mjeseci
²⁰¹ Tl	111	10 dana
¹¹¹ In	-	20 dana
⁶⁷ Ga	185	6 mjeseci
¹³¹ I OIH	11.1	10 dana
¹³¹ I NaI	370	3 mjeseca
¹³¹ I NaI	3700	6 mjeseci

Dojenje

Dojenje predstavlja poseban problem u nuklearnoj medicini, tako da adekvatni savjeti moraju biti dati svakoj dojilji. S obzirom na to da neki radiofarmaceutici prelaze u mlijeko, vrijeme u kojem treba prekinuti dojenje treba odrediti prema radiofarmaceutiku. Prekid treba biti proveden u minimalnom periodu da bi se kod majke osigurao ponovno nastavak dojenja nakon perioda prekida.

Pedijatrijska nuklearna medicina

Djeca su poseban primjer pri odluci za nuklearno-medicinske pretrage i izračunavanje administrirane aktivnosti. Tabele su bazirane na postizanju istog broja impulsa kao kod odraslih.

Redukcija administrirane aktivnosti za djecu bazira se ili na tjelesnoj težini ili na površini. U principu se kod djece koriste radioizotopi sa što kraćim vremenom poluraspada, što rezultira relativno nižom radijacionom dozom za malog pacijenta, zatim čisti gama emiteri, s izuzecima u strogo indiciranim slučajevima. Kod djece se koriste znatno manje doze aktivnosti radiofarmaceutika zbog:

Tabela 2. Koeficijenti sniženja doza aktivnosti u pedijatrijskoj nuklearnoj medicini [4]

Masa (kg)	Težinski faktor	Masa (kg)	Težinski faktor	Masa (kg)	Težinski faktor
3	0,10	22	0,50	42	0,78
4	0,14	24	0,53	44	0,80
6	0,19	26	0,56	46	0,82
8	0,23	28	0,58	48	0,85
10	0,27	30	0,62	50	0,88
12	0,32	32	0,65	52–54	0,90
14	0,36	34	0,68	56–58	0,92
16	0,40	36	0,71	60–62	0,96
18	0,44	38	0,73	64–66	0,98
20	0,46	40	0,76	68	0,99

- manje tjelesne mase
- manjeg volumena krvi u koji se radiofarmaceutik aplicira i
- manjih dimenzija organa koji se ispituje

Izračunavanje doze radiofarmaceutika za pedijatrijske pacijente bazirano na dozi za odrasle u odnosu na kg tjelesne težine ili još bolje na m² tjelesne površine, općenito je dobar vodič za većinu djece starije od godinu dana.

Doza aktivnosti odgovara vrijednosti za odraslu osobu prosječne težine od 70 kg, pa se pedijatrijske doze računaju koristeći se koeficijentom sniženja za određenu tjelesnu masu (Tabela 2). U rutinskom radu lakše je dozu preračunati prema godinama starosti pa se tako može dati za:

- djecu do 2 godine 1/4 doze
- od 2 do 8 godina 1/2 doze
- preko 8 godina 2/3 doze odraslih

Prematurusi i novorođenčad zahtijevaju posebna razmatranja i treba primijeniti koncept minimalne totalne doze [6]. Minimalna totalna doza je minimalna doza radiofarmaceutika ispod koje bi studija bila inadekvatna s obzirom na pacijentovu tjelesnu težinu i tjelesnu površinu. Minimalna doza je determinirana i tipom studije, tj. je li ona dinamička ili statička. Dinamičke studije zahtijevaju veće doze trasera nego statičke.

U primjeni radioaktivnih izotopa “in vivo” kod djece, još se više nego kod odraslih mora voditi računa o provođenju ALARA principa, koncepta minimalne doze, tj. da se za svaku proceduru upotrijebi najmanja moguća doza kojom se može dobiti pouzdana nuklearno-medicinska informacija.

Hibridni imaging – SPECT/CT i PET/CT

Veća energija fotona kod PET trasera dovodi do toga da su radijacione doze za pacijente i za osoblje veće nego s gama emiterima. Znamo da se sve više koriste PET/CT

i SPECT/CT skeneri gdje efektivna doza za pacijenta od CT komponente može biti veća nego ona od administriranog radiofarmaceutika. Stoga CT faktori ekspozicije (kV, mA, vrijeme po rotaciji i pitch) trebaju biti optimizirani da bi apsorbirana doza CT komponente bila minimizirana u dobivanju potrebnih informacija. To je posebno važno za pedijatrijske pacijente, koji imaju povećan rizik za stohastičke efekte u odnosu na opću populaciju. Za whole-body FDG PET/CT proceduru srednja efektivna doza je oko 25 mSv, oko 7 mSv PET komponente i 14-19 mSv CT komponente. Studija kolega iz Australije je pokazala srednju efektivnu dozu oko 14.5 mSv. Kada je srednja administrirana aktivnost bila 304 MBq (8,2 mCi), efektivna doza PET komponente bila je 6,3 mSv [1].

Terapijska nuklearna medicina

Terapijska nuklearna medicina zahtijeva specijalne uvjete zbog visokih doza radijacije kojim su izloženi pacijenti i gdje mogu nastati biološki efekti zračenja. Radionuklidi koji se koriste su obično beta emiteri s dužim poluživotom. Terapija radionuklidima zahtijeva hospitalizaciju pacijenta kod kojeg se provodi. Pisani protokol za svaku terapijsku radionuklidnu proceduru treba uključiti:

- indikacije za terapiju
- tip radionuklida
- raspon aktiviteta koji se koristi za taj radionuklid
- metodu administracije
- radijacioni hazard
- procedure radijacione sigurnosti
- treba li tretman provesti ambulantno ili u hospitalnim uvjetima

Zaključak

Specijalista nuklearne medicine treba razmotriti opravdanost studije i optimalan način da je provede imajući u vidu i alternativne imaging procedure koje mogu rezultirati manjom radijacijom ili bez radijacionog opterećenja. Kada se odluči za proceduru, s članovima tima – medicinskim fizičarem, radiohemičarem i inženjerom medicinske radiologije – treba primijeniti optimizirani protokol za svaku proceduru i za svakog pacijenta – personalizirani pristup. Doza treba biti u skladu s referalnim vodičima i protokolima zasnovanim na činjenicama i standardima, ali i dovoljna za dijagnostičke svrhe – ALARA princip. Potrebno je izbjegavati iradijaciju pacijenta bez svih potrebnih kliničkih informacija. Primjena hibridnog snimanja treba razmotriti tjelesnu težinu pacijenta i način na koji će anatomska informacija biti korištena. Recentni razvoj PET/MRI može voditi modalitetu hibridnog snimanja koji će omogućiti redukciju ekspozicije zračenju. Sve navedeno može doprinijeti razumijevanju i provođenju optimizirane upotrebe medicinskog imaginga iz oblasti nuklearne medicine kod naših pacijenata.

Reference

- [1] Fahey F, Stabin M. Dose optimization in nuclear medicine. *Semin Nucl Med.* 2014 May;44(3):193–201.
- [2] COUNCIL DIRECTIVE 2013/59/EURATOM of 5 December 2013. *Official Journal of the European Union.* 17.1.2014. L13/1–L13/73.
- [3] ICRP. The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. *ICRP Publication 103. Ann ICRP.* 2007;2–4(37).
- [4] DARNS. Pravilnik o zaštiti od jonizirajućeg zračenja kod medicinske ekspozicije. *Službeni glas. BiH.* 2011;(13).
- [5] Byung Il Kim. Radiological Justification for and Optimization of Nuclear Medicine Practices in Korea. *J Korean Med Sci.* 2016 Feb;31(Suppl 1):S59–S68.
- [6] Lassmann M, Treves T. Paediatric radiopharmaceutical administration: harmonization of the 2007 EANM paediatric dosage card (version 1.5.2008) and the 2010 North American consensus guidelines. *Eur J Nucl Med Mol Imaging* DOI 10.1007/s00259-014-2731-9.

OPTIMIZATION IN NUCLEAR MEDICINE

Abstract

Optimizing the use of ionizing radiation sources is one of the basic principles promoted by the International Commission on Radiological Protection (ICRP), and as such it has become a part of domestic and international regulations. The Ordinance on the Protection from Ionizing Radiation in Medical Exposure, which is a transposition of the European Directive 2013/59/Euratom, requires the users to apply this principle in nuclear medicine. Optimization methods are used in nuclear medicine in order to obtain an interpretive finding with minimal exposure of the patient to ionizing radiation. Optimization methods for nuclear medicine examinations include selecting appropriate radiopharmaceuticals, selecting the appropriate radioactive isotope activity and analyzing image quality, extending the acquisition time, selecting the appropriate collimator, etc. The optimization process is a team effort, involving a specialist in nuclear medicine, a medical physicist and a medical radiology engineer. An optimized protocol for any examination should be available to staff involved in nuclear medicine work tasks.

Key words: nuclear medicine, optimization, radiation protection.

ZAŠTITA OD ZRAČENJA U RADIOTERAPIJI*

Nermina Kantardžić

Fakultet zdravstvenih studija Univerziteta Sarajeva

Autorica za korespondenciju:
Nermina Kantardžić
n.kantardzic04@fulbrightmail.org

Prevodilac za engleski jezik: Dino Kantardžić
Lektorice za B/H/S jezik: Nudžejma Softić i Zenaida Karavdić

Primljen: 2016, prihvaćen: 2017, objavljen: 2018.

Apstrakt

Cilj: Prikazati osnovne principe zaštite od zračenja u radioterapiji. Diskutirati načine zaštite od zračenja opće populacije, profesionalaca i pacijenata na odjeljenju za radioterapiju. *Pozadina:* Radioterapija je jedan od glavnih metoda liječenja zloćudnih tumora, koji koristi visokoenergetska jonizirajuća zračenja. Ovaj oblik terapije je sofisticiran i podrazumijeva proces od nekoliko faza rada. Zbog svoje kompleksnosti i korištenja visokih energija zračenja, svaka faza radioterapije zahtijeva i posebne mjere zaštite od nepotrebnog ozračivanja. *Metode i materijal:* Istražili smo literaturu u vezi sa zaštitom od zračenja u radioterapiji te koristili iskustva u radu na Odjeljenju za radioterapiju Klinike za onkologiju Kliničkog centra Univerziteta u Sarajevu. U radu su izložene i preporuke i standardi Međunarodne agencije za atomsku energiju (IAEA). *Diskusija:* Zaštita od zračenja u radioterapiji treba da obuhvati sve aspekte rada. Zaštitom su obuhvaćeni pacijenti, profesionalci i opća populacija. *Zaključak:* Optimalna radioterapija podrazumijeva: visoke i potencijalno letalne apsorbirane doze da se postigne uništenje malignog tumora, individualizirani tretmanski pristup, sofisticiranu tehničku opremu, kompleksan proces, osiguranje kvalitete, verifikaciju tretmana i zaštitu od zračenja.

Ključne riječi: radioterapija, zaštita od zračenja, osiguranje kvalitete.

Uvod

Radioterapija predstavlja primjenu jonizirajućeg zračenja u liječenju zloćudnih tumora. Ona je jedan od glavnih oblika tretmana često u kombinaciji s hemoterapijom

* Sve su slike originalne slike s Klinike za Onkologiju UKC Sarajevo.

i hirurgijom. Pretpostavlja se da će oko 60% do 90% oboljelih od karcinoma u nekoj fazi bolesti trebati liječenje radioterapijom [1].

Radioterapija se može upotrijebiti samo ako je medicinski opravdana. Svaka i najmanja izloženost jonizirajućem zračenju je potencijalno štetna. Stoga moramo biti sigurni da je korist veća od štete. Specifičnost ove vrste liječenja je korištenje vrlo visokih energija i doza zračenja, što sa sobom nosi i veće rizike u odnosu na druge grane medicine koje koriste jonizirajuće zračenje [2].

Osnovne odlike radioterapije su:

- visoke i potencijalno letalne doze zračenja potrebne za uništenje zloćudnog tumora;
- visokosofisticirana tehnologija;
- individualizirani pristup tretmanu;
- vrlo kompleksan tretman koji uključuje nekoliko faza;
- osiguranje kvalitete;
- verifikacija tretmana sa zaštitom od zračenja esencijalni je dio svakog pojedinog tretmana.

Optimizacija radioterapije ima dva aspekta:

1. optimizacija doze na metu (primjena maksimalne doze na tkivo koje želimo tretirati radioterapijom);
2. optimizacija radijacijske sigurnosti na opću populaciju, profesionalce koji rade na odjeljenju i pacijenta.

Ovaj drugi aspekt radioterapije je područje zaštite od zračenja profesionalno izloženih lica u radioterapiji [2].

Zaštita od zračenja profesionalno izloženih lica u radioterapiji

Optimalna zaštita od zračenja u radioterapiji treba da zadovolji dva cilja:

- sprečavanje pojave determinističkih efekata, prije svega pojavu akcidentalne izloženosti jonizirajućem zračenju i
- smanjenje mogućnosti pojave stohastičkih efekata [3].

Odjeljenje za radioterapiju

Postizanje optimalne zaštite od zračenja započinje planiranjem izgradnje odjeljenja za radioterapiju. Ovakva kompleksna odjeljenja zahtijevaju vrlo pažljivo planiranje u koje trebaju biti uključeni eksperti u ovoj oblasti. Posebna pažnja se posvećuje rasporedu prostorija i primjeni odgovarajućih zaštitnih barijera kod izgradnje prostora [4].

Osnovni zahtjevi plana izgradnje su:

- pažljiv odabir lokacije, koja pruža mogućnost buduće ekspanzije;
- zbog masivnih zaštitnih zidova, idealan je prostor u prizemlju ili podrumu;
- u blizini radiologije i vertikalnog transportnog sistema;
- ispod radioterapije, a posebno bunkera s radioterapijskim uređajima, ne treba biti drugih odjeljenja;

- tim eksperata koji će dati prijedlog rasporeda prostorija treba uključivati kliničko osoblje (radijacijskog onkologa, specijalistu medicinske fizike i inženjera medicinske radiologije), stručno osoblje (arhitektu, građevinskog, mašinskog i elektroinženjera, te inženjera zaštite na radu), predstavnika bolnice i predstavnika dobavljača uređaja i prateće opreme;
- projekat mjera zaštite od zračenja mora izraditi ekspert za zaštitu od zračenja koji će dati prijedlog odabira građevinskog materijala i njegove debljine;
- voditi računa o važećoj regulativi iz ove oblasti.

Svako odjeljenje za radioterapiju ima dvije vrste prostorija – tretmanske i javne prostorije. Tretmanske sobe su prostori gdje su smještene mašine za tretman radioterapijom i nazivaju se bunkeru. Izgled bunkera ovisi o vrsti aparata i energiji koja će biti korištena. Ključni su izgradnja primarne i sekundarne barijere, ulaza u obliku slova L – labirint i posebno napravljena vrata koje će spriječiti prodor raspršenog i neutronskog zračenja. Važno je napraviti i odgovarajući sistem ventilacije s filterima za čestu izmjenu vazduha u bunkeru. Barijere moraju reducirati dozu zračenja izvan bunkera da ne prelazi nivo restrikcije (za stanovništvo 0,3 mSv/god., odnosno 2 mSv/god. za profesionalno izložena lica) [5,6].

Tretmanski prostori su kontrolirane zone za koje su potrebne specifične mjere zaštite od zračenja, a u slučaju korištenja radioaktivnih izotopa i obezbjeđenja. Tu se ubrajaju:

- prostori gdje se vrši simulacija: klasična ili korištenjem kompjuterizirane tomografije (CT);
- sve prostorije za eksterno zračenje, bunkeru za teleterapiju;
- prostorije za brahiterapijsko zračenje;
- aplikacijska sala za brahiterapiju kada se koriste stvarni izvori;
- prostorije gdje borave pacijenti s apliciranim brahiterapijskim izvorima;
- mjesta gdje su smješteni svi radioaktivni izvori i gdje se njima rukuje.

Ovi prostori trebaju biti odvojeni fizičkim barijerama i adekvatno označeni upozoravajućim znakovima.

Javne prostorije na odjeljenju su nadgledane zone. One su pod dozimetrijskim nadzorom, jer se nalaze u blizini izvora jonizirajućeg zračenja. Tu se najčešće ubrajaju:

- recepcija;
- čekaonice;
- svlačionice za pacijente;
- ambulante;
- sobe za sestre;
- sobe za medicinske fizičare;
- sobe za planiranje radioterapije;
- modelarnica;
- sobe za inženjere medicinske radiologije;
- hodnici, magacini, kartoteke, toaleti.



Slika 1. Ulaz u bunker, labirint i zaštitna vrata

Tabela 1. Debljine primarne i sekundarne barijere ovisno o energiji zračenja

Energija radijacije	Primarna barijera	Sekundarna barijera
Co60 – 1,32 MV	130 cm	65 cm
LA – 10–25 MV	240 cm	120 cm

Prostori za tretman trebaju biti označeni upozoravajućim znakovima, svjetlošnim i zvučnim signalima.

Tretmanski prostori

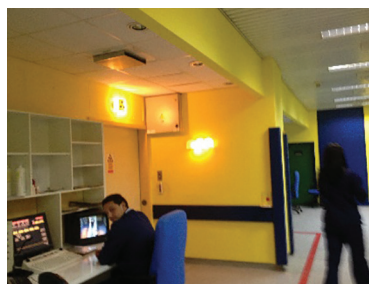
Ct simulator

Simulator



Sigurnosna zona na ulazu u bunker

Svjetlosno upozorenje



Slika 2. Znakovi upozorenja

Regulativa koju treba da zadovolje odjeljenja za radioterapiju bazira se na propisima i preporukama:

- Državna regulatorna agencija za radijacijsku i nuklearnu sigurnost (DRARNS);
- Međunarodne agencije za atomsku energiju (IAEA);
- Međunarodne komisije za radiološku zaštitu (ICRP);
- Međunarodne komisije za radijacijske jedinice i mjerenja (ICRU).

Optimalno izgrađeno odjeljenje, uz poštivanje svih zakonskih propisa i propisa struke, imat će značajnu ulogu u postizanju optimalne radijacijske sigurnosti za profesionalno izložena lica, opću populaciju i pacijente [7].

Profesionalci na odjeljenju za radioterapiju

Profesionalci koji rade na odjeljenju za radioterapiju podliježu mjerama zaštite od zračenja. Dio njihovih radnih obaveza je da se upoznaju s radijacijskim rizikom, radijacijskom sigurnošću i da odgovorno provode mjere koje će osigurati optimalnu zaštitu od zračenja na odjeljenju za radioterapiju.

U profesionalce se ubrajaju:

- radijacijski onkolozi;
- drugi kliničari koji mogu učestvovati u radu po potrebi;
- medicinski fizičari;
- inženjeri medicinske radiologije;
- medicinske sestre;
- tehničko osoblje na održavanju opreme;
- radnici na održavanju higijene.

U radioterapiji rizik od izloženosti nepotrebnoj radijaciji nije velik u redovnom radu, kao na primjer u nuklearnoj medicini, ali potencijalni rizik od izlaganja vrlo visokim dozama zračenja postoji u slučaju incidentnih situacija [12]. Danas postoji zakonski određeni limit doze koju mogu primiti u toku jedne godine radnici na odjeljenjima za radioterapiju.

Tabela 2. Limiti doza koji su uspostavljeni od Državne regulatorne agencije za radijacijsku i nuklearnu sigurnost

Tip osoba	Godišnji limiti doza (mSv)			
	cijelo tijelo	očno sočivo	koža	ekstremiteti
Profesionalci	20	20	500	500
Stanovništvo	1	15	50	

Svi zaposleni na odjeljenju za radioterapiju trebaju proći obuku iz oblasti zaštite od zračenja prije početka rada. Obavezni su nositi individualne dozimetre u toku procesa rada. U slučaju da primijete nepravilnost, dužni su da je prijave osobi odgovornoj za zaštitu od zračenja [13].

Također je važno da se osoblje upozna s pravilima postupanja u slučaju pojave incidentne situacije. Najznačajniji incident koji se može desiti je zaglavljivanje izvora na telekobalt uređaju. Uposlenici trebaju slijediti instrukcije koje su dio Programa za zaštitu od zračenja, a koje se mogu sažeti u nekoliko koraka:

1. Prvi prioritet je izvesti pacijenta iz primarnog snopa zračenja. Ako je pacijent pokretan, treba mu se obratiti interfonom i reći da samostalno izađe iz bunkera. U slučaju da je djelomično pokretan, pomoći mu da izađe, a ako je u potpunosti nepokretan, pomjeriti ga uz pomoć stola;
2. Ako je pacijent i dalje u sobi, izvor odmah uz pomoć dugačke šipke dostupne u bunkeru vratiti u glavu aparata. U suprotnom se izvor može vratiti naknadno od strane lica koje ima više iskustva;
3. Ako je ovo bilo uspješno, pokušati utvrditi visinu doze koju je pacijent primio u toku incidenta, pozvati odgovorne osobe da utvrde razlog kvara i da ga otklone;
4. Nikakav dalji tretman na mašini neće biti proveden do otklanjanja kvara i provjere rada. Incident treba odgovorno i detaljno prijaviti u pisanoj formi.

Zaštita od zračenja pacijenata u radioterapiji

Radioterapijski proces

Radioterapija je vrlo kompleksan vid liječenja. Ona ima veliki potencijal uništenja tumorskih ćelija, ali, nažalost, nije selektivna samo za tumore, već djeluje i na zdrava tkiva i ćelije organizma. Stoga nosi izvjesni rizik za pojavu nusfekata. Optimizacija radioterapije podrazumijeva postizanje situacije u kojoj će zloćudno tkivo biti ozračeno adekvatnom visokom dozom, a zdrava tkiva biti maksimalno pošteđena od jonizirajućeg zračenja. Ovakav pristup osigurava i odgovarajuću zaštitu od zračenja pacijenta [8].

Da bi se postigao ovaj cilj, pacijent prolazi kroz nekoliko faza liječenja:

1. postavljanje dijagnoze zloćudnog tumora;
2. donošenje odluke o radioterapiji;
3. dodatni dijagnostički testovi radi određivanja lokacije i proširenosti tumora;
4. simulacija mete – tkiva koje želimo zračiti;
5. planiranje tretmana;
6. provođenje tretmana;
7. provjera tretmana – verifikacija plana i polja zračenja;
8. praćenje pacijenta.

Faze 4, 5, 6 i 7 podliježu primjeni mjera radijacijske sigurnosti za pacijenta. Radioterapija je jedna od grana medicine koja uveliko zavisi od opreme kojom raspolaže. Ove četiri faze radioterapijskog procesa direktno su vezane za primjenu odgovarajuće aparature, informacijskih sistema i softvera.

Simulacija pacijenta za radioterapijski tretman podrazumijeva određivanje područja koje želimo tretirati. Proces se obavlja na klasičnom ili CT simulatoru. U toku simulacije pacijent se postavlja u odgovarajuću poziciju, po potrebi imobilizira

odgovarajući dio tijela i ova pozicija pacijenta bit će reproducirana na tretmanskim mašinama u toku samog tretmana. Zbog toga je veoma važno da se postigne potpuna komfornost i udobnost pacijenta da bi se obezbijedila njegova saradnja [7].

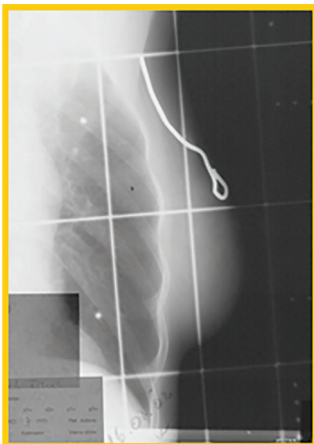


Slika 3. Akcesorije na radioterapiji

Na osnovu slika koje se dobiju procesom simulacije (bilo da se radi o radiografskim slikama ili CT skenovima) pristupa se planiranju tretmana i proračunu doza.

Snimak simulacije s RTG simulatora

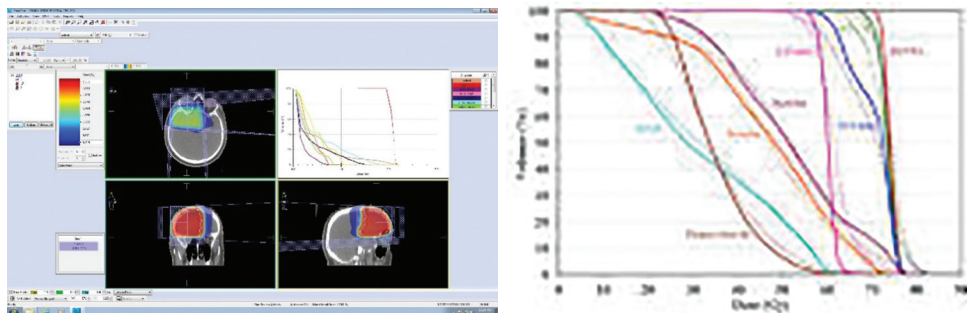
Ct simulacija topogram



Slika 4. Simulacijski snimci

Planiranje radioterapije izvodi se uz pomoć softverskih sistema za planiranje u koje se unose podaci o pacijentu i podaci o tretmanskom uređaju. Podaci o pacijentu su lokacija, volumen i oblik tumora (mete), eventualne sekundarne mete (metastaze), lokacija organa pod rizikom u blizini mete i radiobiologija ovih struktura. Podaci o uređaju su vrsta, energija i geometrija snopa zračenja, broj polja, eventualni modifikatori zračenja, zaštitni blokovi za rizične strukture i akcesorije [9].

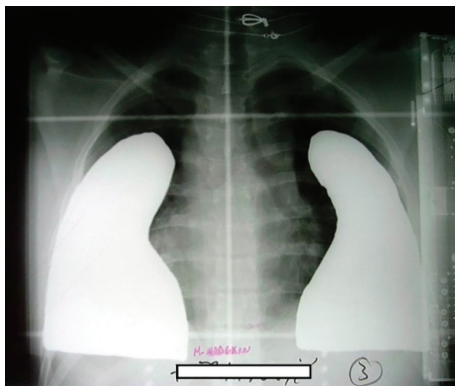
Optimalan plan radioterapije treba da zadovolji osnovni cilj radioterapije i da bude reproducibilan u toku tretmana [10].



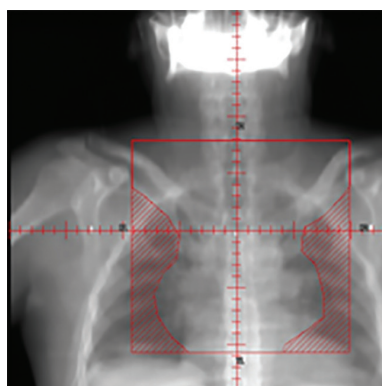
Slika 5. Plan radioterapije

Sljedeća faza u obezbjeđenju optimalne radioterapije je verifikacija plana, odnosno tretmana. Moderna radioterapija za verifikaciju koristi sken kompjuterizirane tomografije konusnim snopom (CBCT) koji je ugrađen linearnom akceleratoru, odnosno elektronskim portalnim detektorom. Ranije su se koristiti verifikacijski filmovi. Dobijeni snimci se porede s radioterapijskim planom. Verifikacija planova se obavlja neposredno prije početka tretmana i u toku samog tretmana jedanput sedmično. Na ovaj način omogućujemo kontrolu samog radioterapijskog liječenja i eventualne prilagodbe da bi cilj zračenja pacijenta bio postignut [11].

Verifikacija na simulatoru



Verifikacija na EPID sistemu



Slika 6. Verifikacija plana tretmana

Sam tretman se obavlja svakodnevno u toku nekoliko sedmica ovisno o dozi zračenja. Pacijent se zrači eksternom radioterapijom ili brahiterapijom. U toku ovog procesa treba osigurati da se u potpunosti zadovolje uslovi plana zračenja te da svi uređaji u procesu rade ispravno.

Izvještaj o provođenju radioterapijskog tretmana treba voditi odgovorno, a prema preporukama internacionalnih organizacija.

Redovnim praćenjem pacijenta u toku i nakon tretmana analiziramo odgovor tumora na tretman, uočavamo rane i kasne nusefekte tretmana i djelujemo u njihovom stavljanju pod kontrolu.

Incidenti

Incidenti u radioterapiji mogu nastati zbog:

- Ljudske greške:
 - o radioterapijski tretman je isporučen pogrešnom pacijentu;
 - o radioterapijski tretman je isporučen na pogrešno mjesto;
 - o radioterapijski tretman je isporučen sa značajno drugačijom dozom ili doznom frakcijom od one koja je propisana.
- Kvar opreme:
 - o nezadovoljavajući dizajn opreme;
 - o nepravilna kalibracija;
 - o neadekvatno održavanje opreme;
 - o nepravilno planiranje i kalkulacija doze zbog neadekvatnog softvera;
 - o greške u simulaciji;
 - o nepravilno postavljanje pacijenta i isporuka tretmana.

Osnovna strategija za prevenciju incidenta u radioterapiji sastoji se iz:

- dobrog programa osiguranja kvalitete;
- neovisne česte provjere opreme i procedura radioterapije;
- redovne edukacije i treninga osoblja;
- dobre komunikacije;
- redovnog i odgovornog vođenja dokumentacije.

U slučaju da incident ipak nastane, na odjeljenju za radioterapiju trebaju biti dostupna pravila ponašanja u pisanoj formi [14].

Osiguranje kvalitete

Dobar program osiguranja kvalitete na odjeljenju za radioterapiju je esencijalan za optimizaciju radijacijske sigurnosti pacijenta, osoblja i opće populacije. Sveobuhvatan uvid efektivnosti mjera sigurnosti i zaštite od zračenja ne bi bio moguć bez provođenja kontrole kvalitete kao dijela programa osiguranja kvalitete. Kontrola kvalitete predstavlja mehanizme i procedure pomoću kojih osiguravamo postizanje odgovarajuće kvalitete usluge.

Testovi kontrole kvalitete se provode periodično za sve aspekte rada odjeljenja za radioterapiju. Testovi kontrole sigurnosti aparature za simulaciju i tretman pacijenata rade se svaki dan prije početka rada. Testovi pojedinih performansi aparature i softvera rade se kvartalno, polugodišnje ili godišnje. Povremeno se kontrolira i rad profesionalaca. Posebno značajne su neovisne kontrole od strane nacionalnih ili internacionalnih eksperata za sigurnost u ovoj oblasti [15,16].

Zaključak

Zaštita od zračenja u radioterapiji je kompleksan proces koji se optimizira:

- pravilnom izgradnjom odjeljenja za radioterapiju;
- optimalnom primjenom radioterapijskih procedura;
- kontinuiranom edukacijom osoblja;
- primjenom mjera programa osiguranja kvalitete.

To je dinamičan proces stalnog unapređenja koji prati uvođenje novih tehnologija i tehnika u radioterapiji.

Reference

- [1] Mušanović M, Obralić N. *Onkologija*. Bošnjački Institut Sarajevo. 2001.
- [2] International Basic Safety Standards for Protection against Ionizing Radiation and for the Safety of Radiation Sources. Vienna. 1996. (IAEA, FAO, ILO, OECD/NEA, PAHO and WHO).
- [3] International Atomic Energy Agency Setting up Radiotherapy Program. Clinical, Medical Physics, Radiation Protection and Safety Aspects. February 2008. IAEA. Vienna.
- [4] Department of Health England. Guidance Cancer treatment facilities: planning and design (HBN 02-01). Part of DH Health Building Notes: Guidance on planning and designing cancer treatment facilities, including chemotherapy and radiotherapy units. March 2013.
- [5] Slommon BJ, Cottier B, Bentzen S. Guidelines for Infrastructure and staffing of radiotherapy. ESTRO QURTS. Work package 1. Radioth.Oncol. 2005:349–54.
- [6] Gurjar OP, Kaushik S, Mishra SP, Punia R. A study on room design and radiation safety around room for Co-60 after loading HDR brachytherapy unit converted from room for Ir-192 after loading HDR brachytherapy unit. *Int J Health Allied Sci* 2015;4:83–8.
- [7] International Commission on Radiological Protection. (ICRP). Radiological protection in Medicine. ICRP Publication 105, *Ann ICRP* 2007;37(6).
- [8] Barrett A, Dobs J, Morris S, Roques T. *Practical Radiotherapy Planning* 4th Ed. Oxford University Press, 2009:1–35.
- [9] Acosta R, Brick W, Harma A, Holder A, Lara D, McQuilen G. et al. Radiotherapy optimal design: An academic radiotherapy treatment design system. In: J.W. Chinneck, B. Kristjansson and M. J. Saltzman (eds.) *Operations Research/Computer Science Interprocess: Operations Research and Cyber Infrastructure* 2009;47:401–25.
- [10] International Atomic Energy Agency IAEA. Specification and acceptance testing of radiotherapy Treatment Planning Systems (TECDOC-1540), EAEA 2007.

- [11] Sutlief SG1. Protection and measurement in radiation therapy. *Health Phys.* 2015 Feb;108(2):224–41.
- [12] Smart R. Protection of Staff and the Public During Radiation Oncology Procedures. Health South Eastern Sydney Local Health Network. SalsLHNPO/56 February 2011.
- [13] Šehić A, Jačević M, Mujkić J, Kahrman N. Vodič za zaštitu od jonizujućeg zračenja za radnike zaposlene u zoni zračenja. Ministarstvo zdravstva Kantona Sarajevo, Institut za naučnoistraživački rad i razvoj UKC Sarajevo. 2011:28–37.
- [14] Državna Regulatorna agencija za radijacionu i nuklearnu sigurnost. Pravilnik o zaštiti osoba od opasnosti prouzrokovane jonizujućim zračenjem koje potiče od medicinske ekspozicije: 35–45.
- [15] Ishikura S1. Quality assurance of radiotherapy in cancer treatment: toward improvement of patient safety and quality of care. *Jpn J Clin Oncol.* 2008 Nov;38(11):723–9.
- [16] International Atomic Energy Agency. Comprehensive Audits of Radiotherapy Practices: a tool for Quality improvement. Quality Assurance Team for Radiation Oncology (QUATRO): Pub. 1297 IAEA, 2007.

RADIATION PROTECTION IN RADIOTHERAPY

Abstract

Aim: To present the basic principles in radiation protection in radiotherapy. Protection for public, professionals and patients are discussed in the paper. *Background:* Radiotherapy is the one of main methods of treatment modalities of malignant tumors, which uses high energy ionization. It is sophisticated process consisting of several phases of work. Because of its complexities and usage of high energy radiation, need specific protection against unnecessary radiation for every phase. *Methods and materials:* We researched literature of radiation protection in radiotherapy, used experiences of work in department of radiotherapy of Clinic of Oncology Clinical Center of Sarajevo University. In this work we presented proposals and standards of International Agency of Atomic Energy (IAEA). *Discussion:* Radiation protection in radiotherapy *should* encompass all aspects of work. *Conclusion:* Optimal radiotherapy includes: high and potentially lethal absorbed dose is required to cure cancer, individualized treatment approach, sophisticated technology environment, complex treatment set-up, quality assurance, and treatment verification and radiation protection.

Key words: radiotherapy, radiation protection, quality assurance.

ZAŠTITA OD ZRAČENJA PACIJENATA U TOKU RADIOTERAPIJSKOG TRETMANA PRIMJENOM MODERNIH TEHNIKA ZRAČENJA

Danijela Trokić, Goran Marošević, Dražan Jaroš, Aleksandar Kostovski,
Dejan Čazić, Oliver Arsovski, Božica Vujošević, Slavica Marić, Pavle
Banović, Goran Kolarević, Milomir Milaković*

Affidea Centar za radioterapiju IMC Banja Luka

Autorica za korespondenciju:
Danijela Trokić
danijela.trokic@affidea.com

Lektorica za engleski jezik: Dijana Stričić
Lektorica za B/H/S jezik: Zenaída Karavdić

Primljen: 2016, prihvaćen: 2017, objavljen: 2018.

Apstrakt

Cilj: prikazati metodologiju rada primjenom modernih tehnika zračenja. *Pozadina:* Tehnološki razvoj rezultirao je implementacijom novih tehnika zračenja i omogućio preciznu isporuku visokih doza zračenja na ciljani volumen uz maksimalnu poštedu okolnih zdravih tkiva. *Metodologija:* priprema pacijenta na 4DCT-simulatoru uz adekvatnu imobilizaciju, fuzija simulacione CT slike s dijagnostičkim CT/MRI/PET, delineacija volumena zračenja i zdravih organa. Planiranje zračenja provodi se prema VMAT/RapidArc: Eclipse TPS protokolu s ciljem eskalacije doze u targetu i maksimalnom poštedom zdravih tkiva strmim padom doze. To se postiže izocentričnom isporukom doze iz više sekvencijalnih malih snopova zračenja nejednakog intenziteta (IMRT) ili Arc-tehnikom iz izvora koji kruži oko pacijenta za 360°, dok je volumen zračenja moduliran dinamičkim pomjeranjem listova kolimatora (VMAT SRS/SRT, SBRT). Preciznost isporuke doze provjerom pozicije targeta osigurava se slikovnim vođenjem radioterapije (IGRT) tokom isporuke doze (OBI CBCT). *Diskusija:* primjena modernih tehnika zračenja zahtijeva visokosofisticiranu opremu i educirano osoblje, što omogućava isporuku visokih doza zračenja na tumorsko tkivo. Poštediti zdravih tkiva je značajna u odnosu na ranije tehnike, ali istovremeno se malim dozama ozrači veći volumen zdravog tkiva. *Zaključak:* Isporuka visokih doza zračenja na tumorsko tkivo je u direktnoj korelaciji s boljom tumorskom kontrolom, uz doze na zdrava tkiva ispod granice doze koja ne dovodi do značajnijeg poremećaja funkcije (<5% komplikacija). Provođenje QA procedura u cilju kontrole visokih terapijskih doza na target i niskih doza na zdrava tkiva u cilju prevencije ranih i kasnih nusfekata.

Ključne riječi: zaštita, zračenje, SRT/SBRT, IMRT.

* Studija prikazana u članku provedena je u Affidea IMC Centru za radioterapiju Banja Luka

Uvod

Medicinska ekspozicija ionizirajućem zračenju podrazumijeva ekspoziciju u dijagnostičke i/ili terapijske svrhe. Primjena ionizirajućeg zračenja u medicinske svrhe postoji od njegovog otkrivanja 1895. godine. Samo nekoliko mjeseci kasnije prijavljene su prve opservacije štetnog djelovanja zračenja. Potreba za jasnim smjernicama o zaštiti osoba profesionalno izloženih zračenju naglašena je na Prvom internacionalnom kongresu radiologije 1925. godine. Međutim, prve smjernice za zaštitu pacijenata izloženih zračenju u medicinske svrhe izdane od *International Committee of Radiation Protection (ICRP)* objavljene su tek 1970. godine. Današnji principi zaštite od ionizirajućeg zračenja ustanovljeni su 1977. godine u dokumentu *Publication 26* i to su: opravdanost ekspoziciji, optimizacija i limit doze [1].

Radijacijska onkologija kao interdisciplinarna znanost objedinjuje saznanja od molekularnih principa nastanka i širenja malignih neoplazmi, utjecaja malignih neoplazmi na organizam domaćina, do interakcije lokalne (kirurgija, radioterapija) i sistemske terapije (citotoksična terapija, hormonalna terapija, imunoterapija, ciljane "target" terapija), odnosno predstavlja spoj medicinske fizike, biologije, molekularne biologije, radiobiologije, imunologije i svih kliničkih disciplina.

Tehnološki razvoj rezultirao je izradom visokosofisticirane medicinske opreme i omogućio je implementaciju novih tehnika zračenja koje podrazumijevaju preciznu isporuku visokih doza zračenja na ciljni volumen uz maksimalnu poštedu okolnih zdravih tkiva poštujući ALARA princip (*As Low As Reasonably Achievable*). Ovakav učinak postiže se kombinacijom polja pod različitim kutovima i modulacijom intenziteta zračenja, a rezultat je eskalacija doze na ciljni volumen uz strmi pad doze ka zdravim tkivima.

Metode

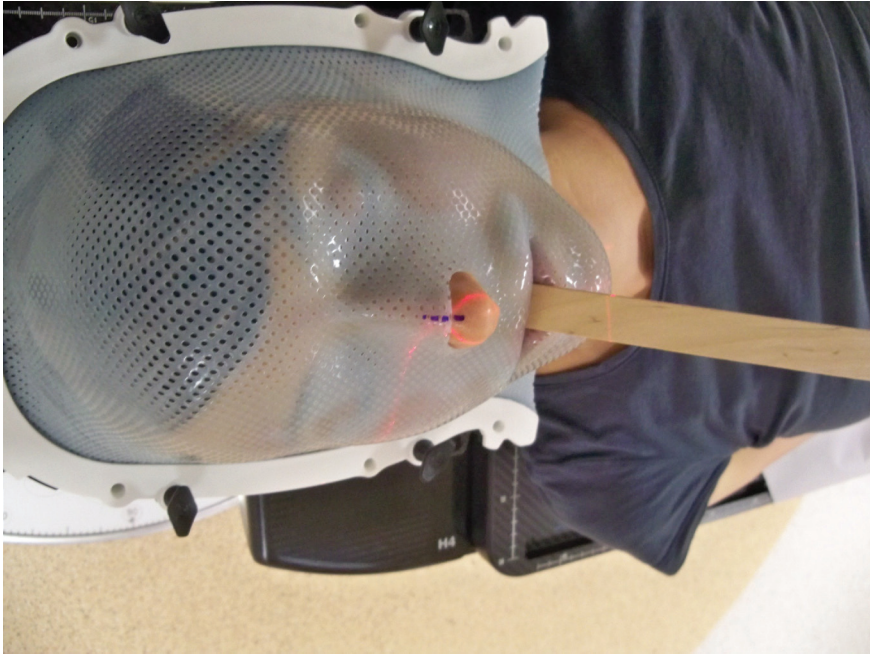
Isporuka visokih doza zračenja na regiju od interesa, tzv. ciljni volumen, uz istovremenu poštedu zdravog tkiva koje okružuje tumorsko tkivo, odnosno volumen koji se zrači, moguća je primjenom tehnike volumno-moduliranog zračenja (Volumetric Modulated Arc Therapy – VMAT), intenzitetom moduliranog zračenja (Intensity Modulated Radiotherapy – IMRT) i sterotaksijske kranijalne (Stereotactic Radiotherapy – SRT) i ekstrakranijalne radioterapije (Stereotactic Body Radiotherapy – SBRT) te radiokirurgije (Stereotactic Radiosurgery – SRS). Metodologija izvođenja ovih tehnika uključuje pripremu pacijenta, delinaciju ciljnog volumena na koji se propisuje doza zračenja, delinaciju okolnih zdravih tkiva koja treba poštediti tokom zračenja te izradu i provođenje tretmanskog plana. Plan mora zadovoljavati propisanu dozu na ciljni volumen i poštedu zdravih tkiva. Delinucija se vrši prema standardnim preporukama i atlasima *Radiation Therapy Oncology Group* za svaku pojedinačnu regiju [2], dok se za regiju glave i vrata koristi atlas V. Grégoire [3]. Poštediti zdrava tkiva i organe od ionizirajućeg zračenja tokom radioterapijskog tretmana znači da tokom tretmana apsorbirana doza zračenja u zdravim tkivima bude

ispod preporučenog limita. Najčešće korištene preporuke za limite doza su internacionalno prihvaćeni *QUantitative Analyses of Normal Tissue Effects in the Clinic* – QUANTEC kriteriji [4]. Po završenoj delineaciji ciljnog volumena i zdravih tkiva i organa, slijedi planiranje radioterapije, potom analiza i odobravanje plana zračenja od strane stručnog kolegija i konačno verifikacija isporuke doze na tretmanskoj mašini. Kad su provedeni svi koraci u pripremi i planiranju zračenja, slijedi isporuka propisane doze na određeni volumen, koja može biti u jednoj ili više frakcija zračenja. Isporuka svake frakcije propisane doze provodi se na linearnom akceleratoru (LA) *Varian DHX* fotonima energije 6 i 16 MV te elektronima energije 4, 6, 9, 12, 16 i 20 MeV. LA je opremljen sistemom za slikovno vođenje *on-board imager* s opcijom *Cone beam computed tomography*, tzv. OBI-CBCT. Primjena tehnike zračenja koja koristi slikovno vođenje zove se Image Guided Radiotherapy – IGRT.

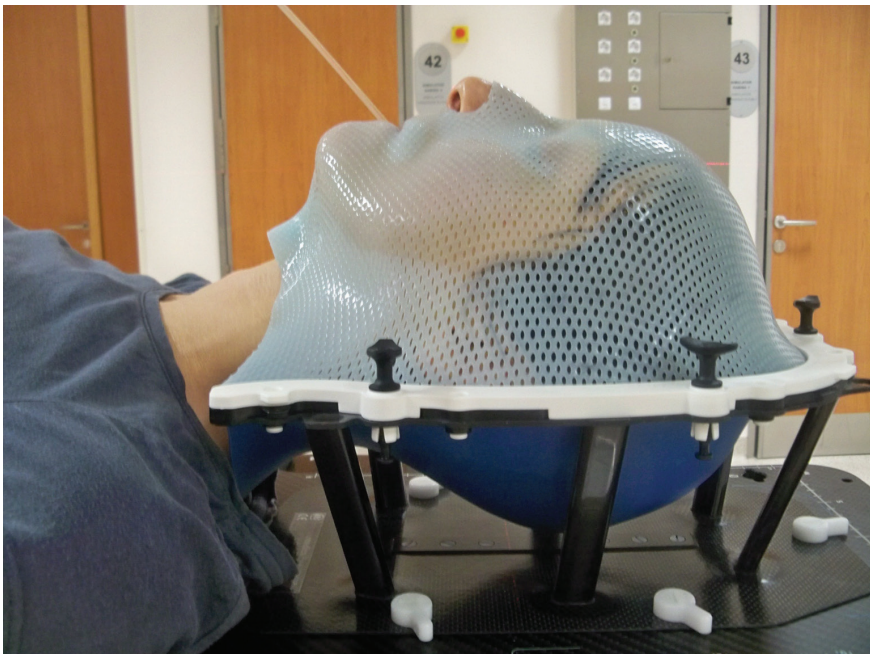
Priprema pacijenta za planiranje radioterapije

Priprema pacijenta, osim uzimanja anamnestičkih podataka i analize odgovarajućih nalaza, podrazumijeva snimanje pacijenta na simulacijskom 16 slojnom CT aparatu (*GE Light speed RT*). Budući da se radioterapija u najvećem broju slučajeva provodi u više frakcija, od ključne važnosti je pacijenta pri svakoj isporuci terapijske doze pozicionirati u isti položaj kao prilikom planiranja terapije. U tu svrhu koristi se pozicioniranje pacijenta prema pokretnom laserskom sistemu *LAP Dorado CT-3* unutar simulacione sobe u tzv. izocentar, čime se povezuje geometrija pacijenta s geometrijom tretmanske mašine. Osim pozicioniranja u izocentar, od iznimne važnosti je imobilizaciona oprema. Primjena različite imobilizacione opreme ovisi o regiji od interesa, a cilj imobilizacije je reproducibilnost terapijskog položaja za preciznu isporuku zračenja. Od imobilizacione opreme koriste se:

- za regiju glave i vrata: podlošci za vrat različitih oblika i dimenzija markirani brojevima, *Orfit efficast hybrid IMRT reinforced* termoplastične maske ili *Macromedix double-shell* maske za SRT/STS (Slika 1, Slika 2);
- za regiju toraksa i zračenje respiratorno pomičnih tumora, kao i pomjeranja zbog otkucanja srca, simulacija se provodi četverodimenzionalnom CT (4DCT) simulacijom. Simulacija 4DCT podrazumijeva praćenje tumora u 3 dimenzije u prostoru, a uključuje i vrijeme u kojemu se prati amplituda disanja pomoću *Varian RPM* sistema. Na taj način određuje se položaj ciljnog volumena tokom svih faza disanja i otkucanja srca. U regiji toraksa također se za iradijaciju dojke primjenjuje tehnika dubokog inspirijuma (DIBH) radi poštediti srca i koronarnih žila;
- za regiju abdomena koristi se luk s abdominalnom kompresom koja minimizira pomjeranje jetre;
- za pelvičnu regiju koriste se *Orfit* podloške s imobilizacijom nogu;
- za regiju ekstremiteta koriste se maske ili *vacuum-bag* podloge.

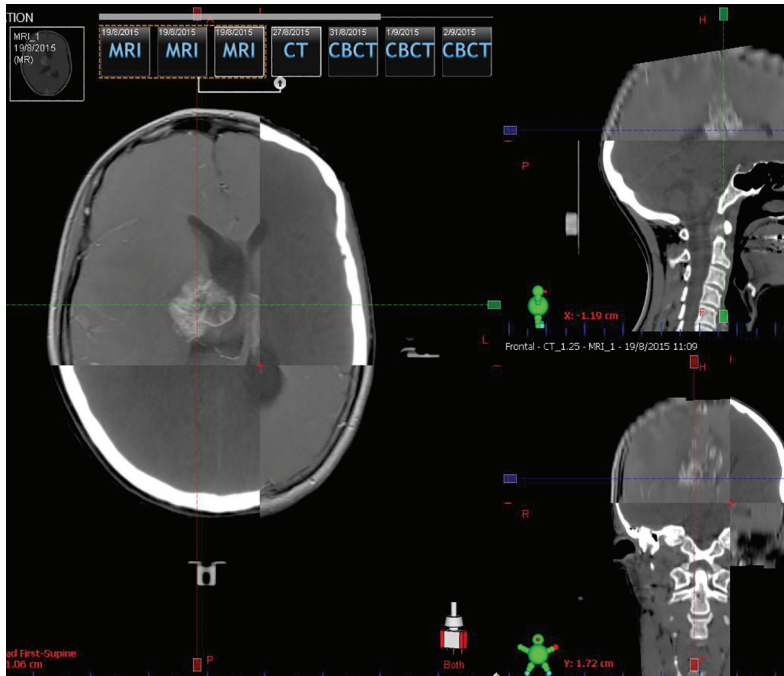


Slika 1. Imobilizacija double-shell maskom za stereotaksijsku iradijaciju mozga uz dodatak bite spatule, tzv. zagriz, radi onemogućavanja rotacija, tj. veće preciznosti, slikano sprijeda



Slika 2. Imobilizacija double shell maskom uz zagriz, slikano iz profila

Nakon snimanja pacijenta na simulacionom CT-u, slikovni prikazi prethodno urađenih dijagnostičkih pretraga CT/MRI/PET se fuzioniraju sa simulacionim CT slikama zahvaljujući *softwareu Varian Image registration* (Slika 3), a to omogućava veću preciznost u delineaciji ciljnog volumena i zdravih organa. Preciznost je osnovni preduslov za isporuku visokih doza na ciljni volumen i poštedu zdravih tkiva. Opisane simulacione procedure provodi radioterapijski tehnolog (RTT) u prisustvu nadležnog radijacijskog onkologa (Slika 4).



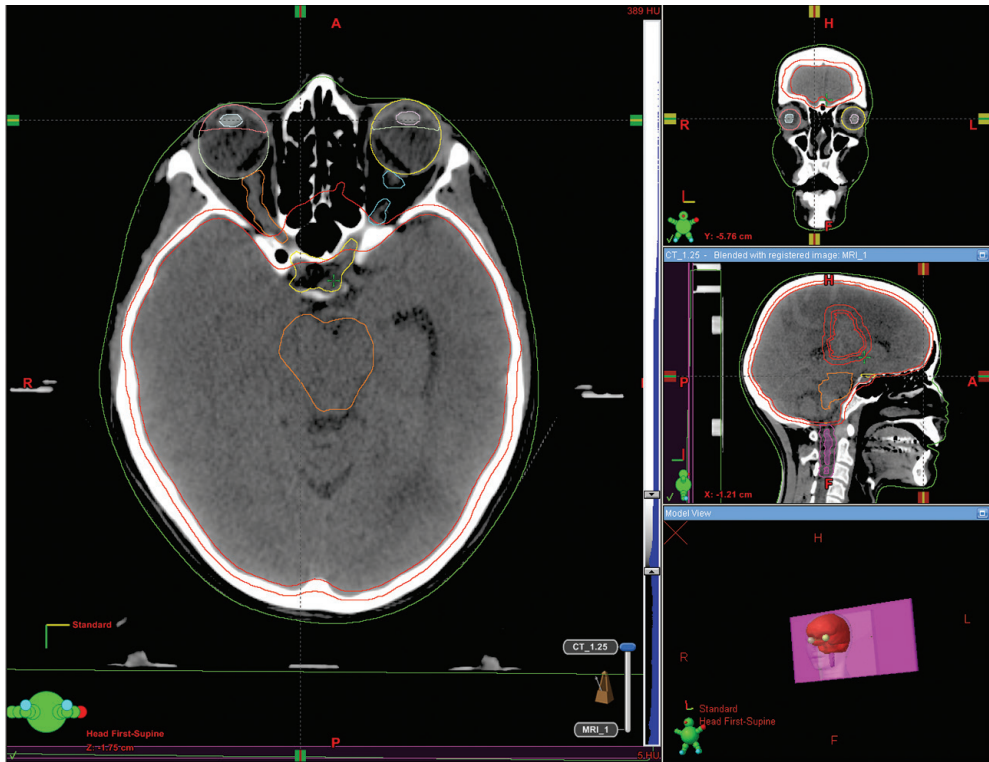
Slika 3. Preklopljeni snimci simulacionog CT-a s dijagnostičkim MRI mozga



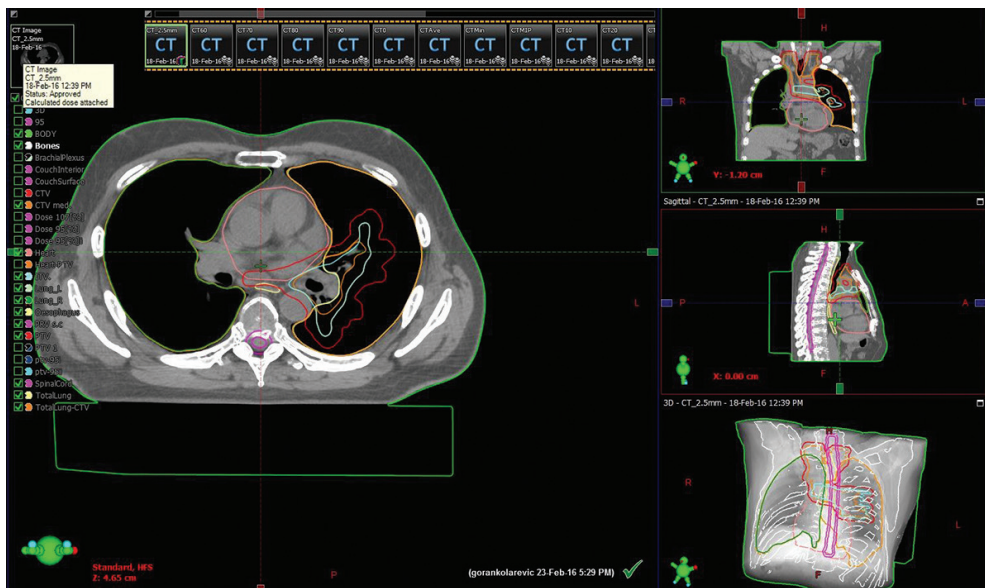
Slika 4. CT-simulacija i registracija MRI mozga koju obavlja RTT

Obilježavanje ciljnog volumena i organa od rizika

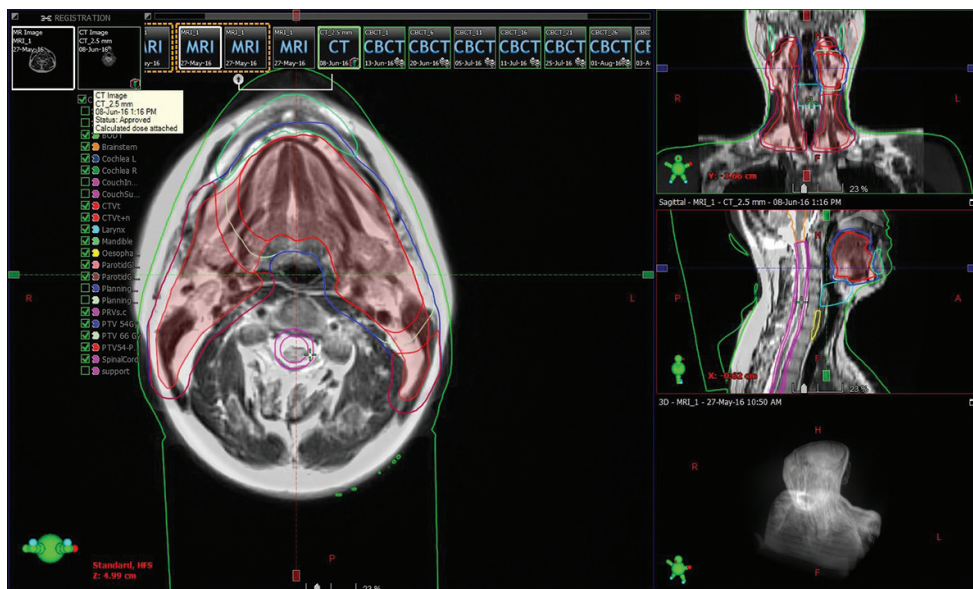
Obilježavanje, konturiranje ili delineacija podrazumijeva označavanje kontura volumena koji želimo tretirati, ali i zdravih organa koje treba poštediti tokom zračenja, odnosno to je proces volumnog 3D definiranja volumena koji se zrače i volumena zdravih tkiva koje treba isključiti iz geometrije snopa zračenja. Delineaciju volumena vrši radijacijski onkolog. Za delineaciju se koriste specijalni alati radne stanice *Eclipse Soma Vision* na kojoj se izvodi ova procedura, koristeći *software Aria V.13.6*. (Slika 5-7).



Slika 5. Delineacija metastatskog tumora mozga i zdravih tkiva endokranijuma



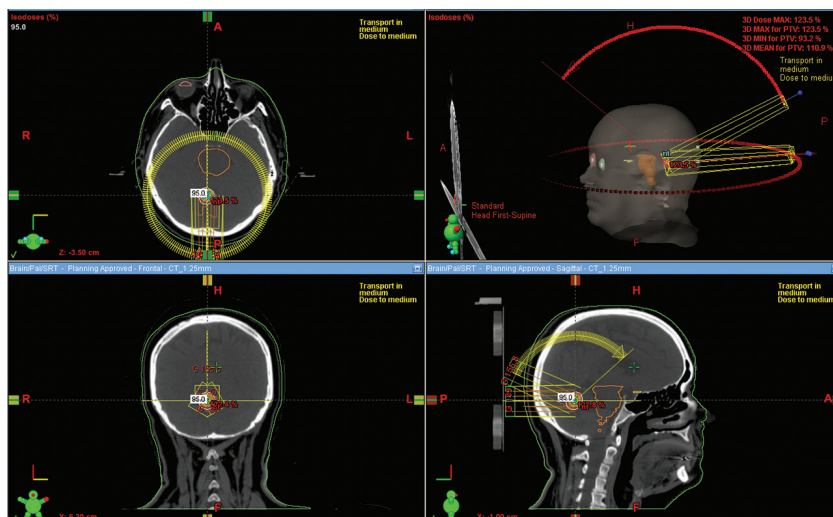
Slika 6. Delineacija tumora pluća lijevo i pripadajućih limfatika uz zdrava tkiva



Slika 7. Delineacija tumora nazofarinksa i pripadajućih limfatika prema dijagnostičkom MRI glave i vrata, kao i zdravih tkiva

Planiranje radioterapije

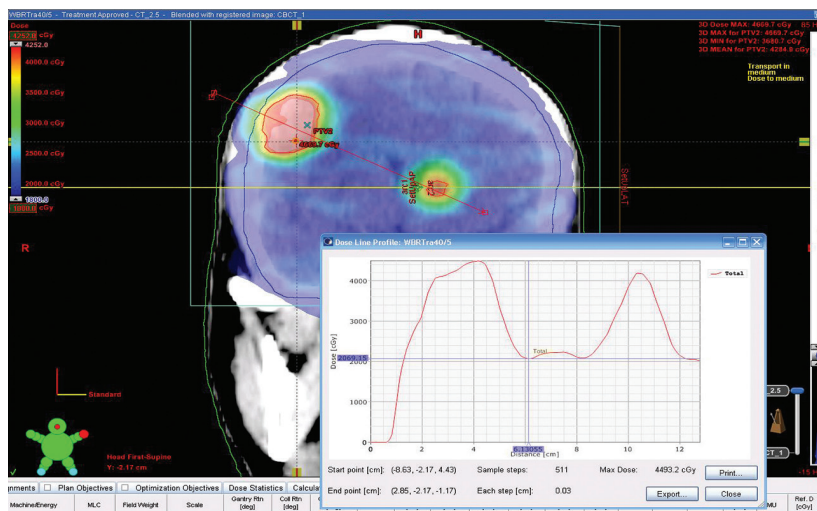
Planiranje zračenja *VMAT/RapidArc* tehnikom je u nadležnosti medicinskog fizičara. Provodi se prema *Varian Eclipse* sistemu za planiranje koji raspolaže brojnim softverskim opcijama za provođenje preciznog zračenja, odnosno isporuku maksimalne terapijske doze zračenja na ciljni volumen uz strm pad doze prema zdravim tkivima. Zahvaljujući tzv. strmom doznom gradijentu postiže se maksimalna poštuda okolnog zdravog tkiva. Samo zračenje vrši se izocentričnom isporukom doze iz više sekvencijalnih malih snopova zračenja različito moduliranog intenziteta (IMRT) ili Arc-tehnikom (Slika 8) kod koje glava linearnog akceleratora kruži oko pacijenta za 360°, dok je volumen zračenja u isto vrijeme moduliran dinamičkim pomjeranjem listića kolimatora (VMAT).



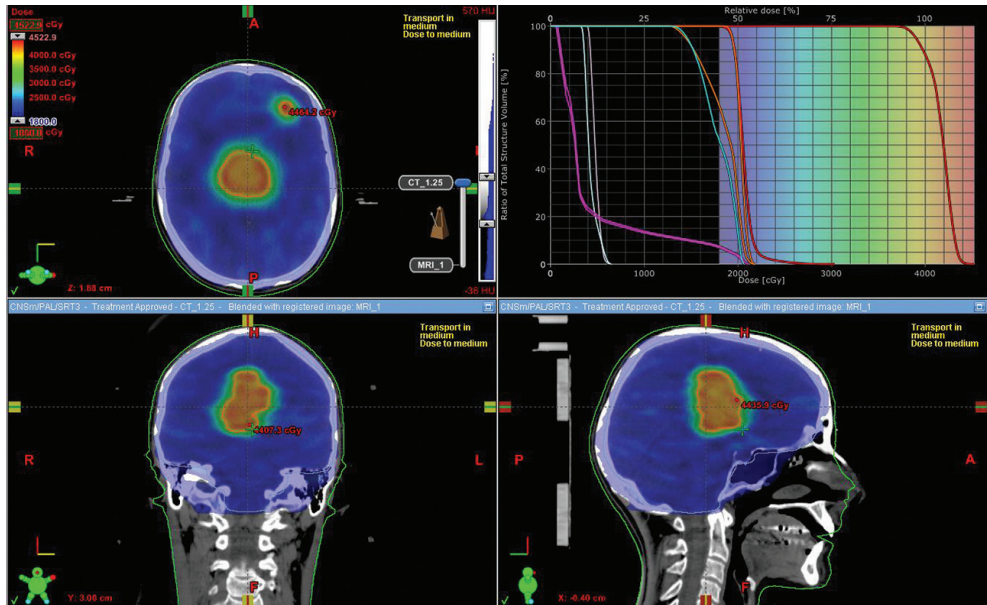
Slika 8. Planiranje radioterapije

U današnje vrijeme SRS/SRT i SBRT se provode IMRT/VMAT tehnologijom. Ovakav raspored snopova zračenja i listića kolimatora omogućava eskalaciju doze u targetu uz maksimalnu poštedu okolnog zdravog tkiva. Po završetku planiranja, plan zračenja analiziraju nadležni radijacijski onkolog i medicinski fizičar (Slika 9–19).

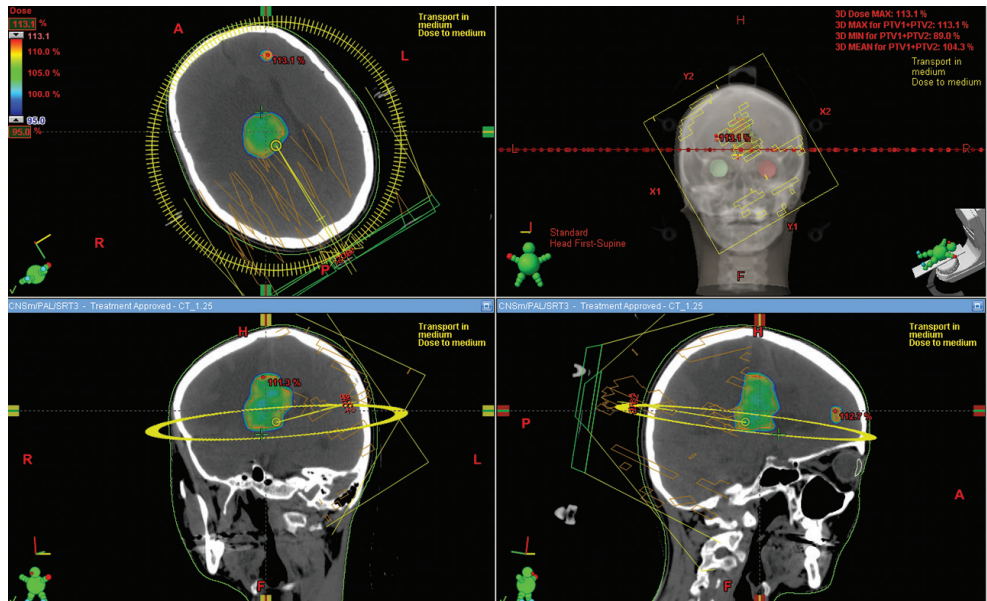
Ukoliko su zadovoljeni kriteriji isporuke doze i poštede zdravih tkiva, plan se prezentira stručnom kolegiju na odobravanje volumena i tehnike zračenja. Prije početka tretmana, plan se dozimetrijski verifikuje uz pomoć portalne dozimetrije ili *MapCheck* multidetektorskim uređajem u ovisnosti od tehnike koja se provodi.



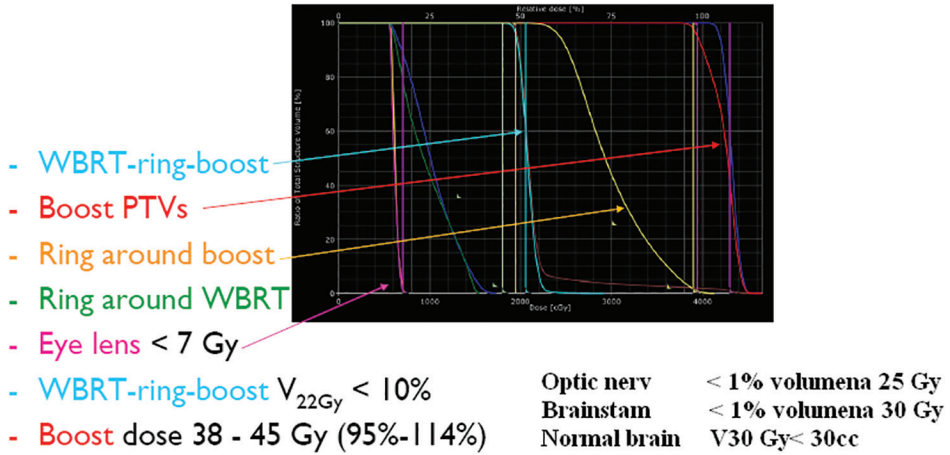
Slika 9. Strmi pad doze kod iradijacije cijelog mozga sa simultanim integriranim boostom (SIB) na dvije metastaze, slikovni i grafički prikaz



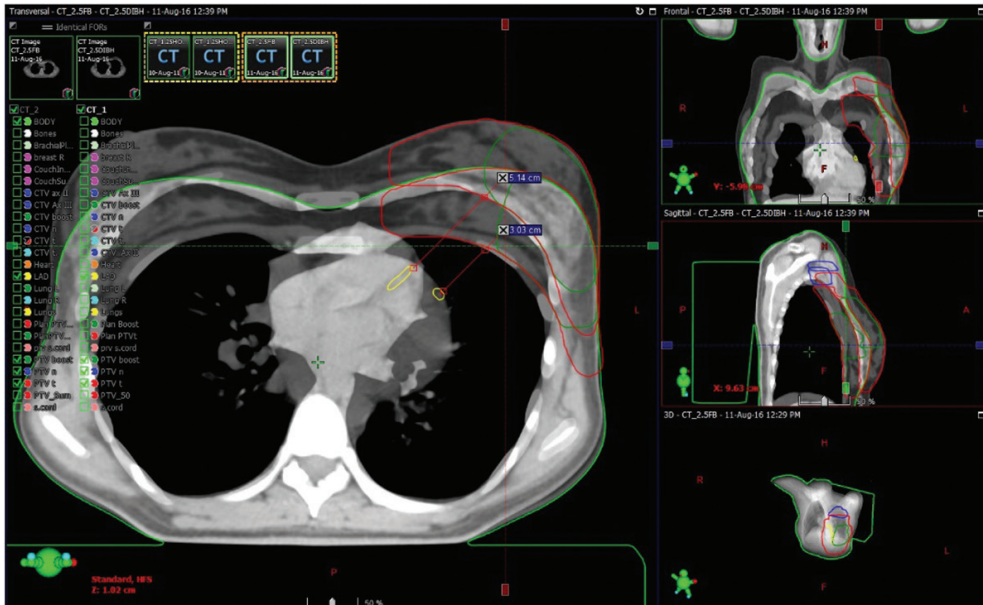
Slika 10. Dozna distribucija stereotaksijske iradijacije cijelog mozga uz simultani integrirani boost (SIB) na metastaze



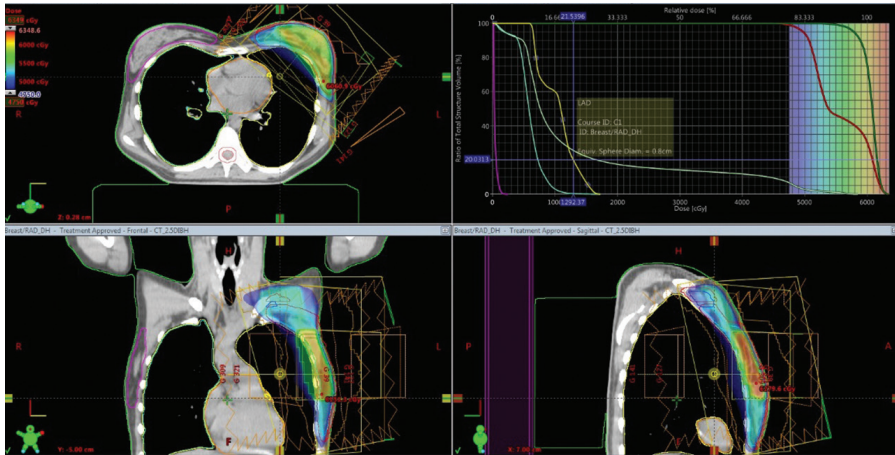
Slika 11. Ispорука doze Arc tehnikom



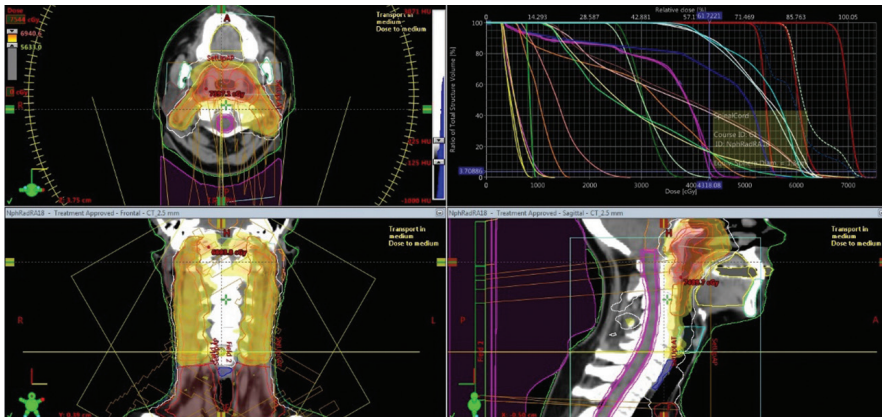
Slika 12. Analiza plana zračenja



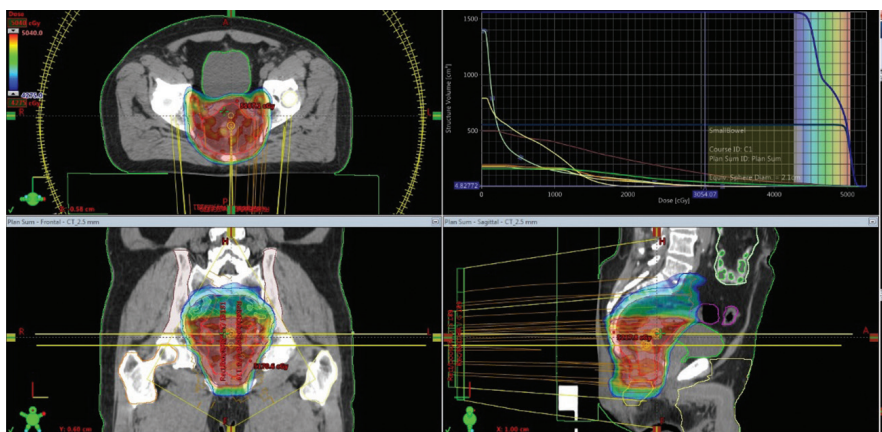
Slika 13. Prikaz obilježenih struktura kod iradijacije dojke tehnikom zadržavanja dubokog udaha (DIBH) s ciljem poštude srca (lijeve silazne koronarne arterije, LAD)



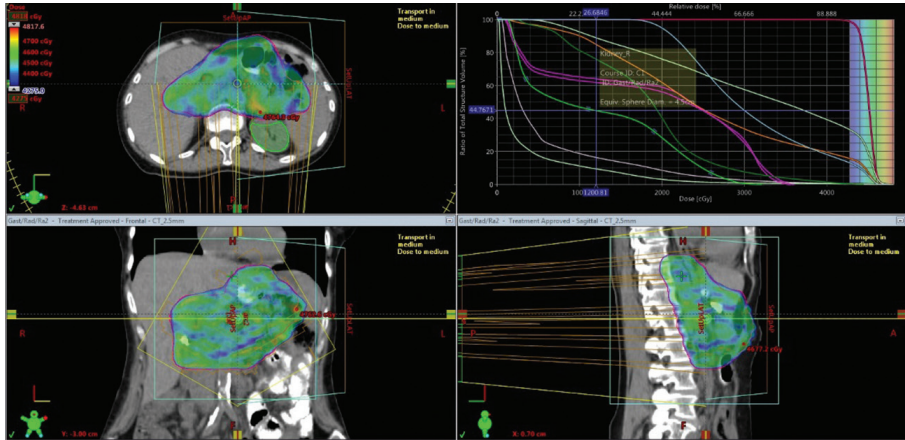
Slika 14. Analiza plana kod DIBH



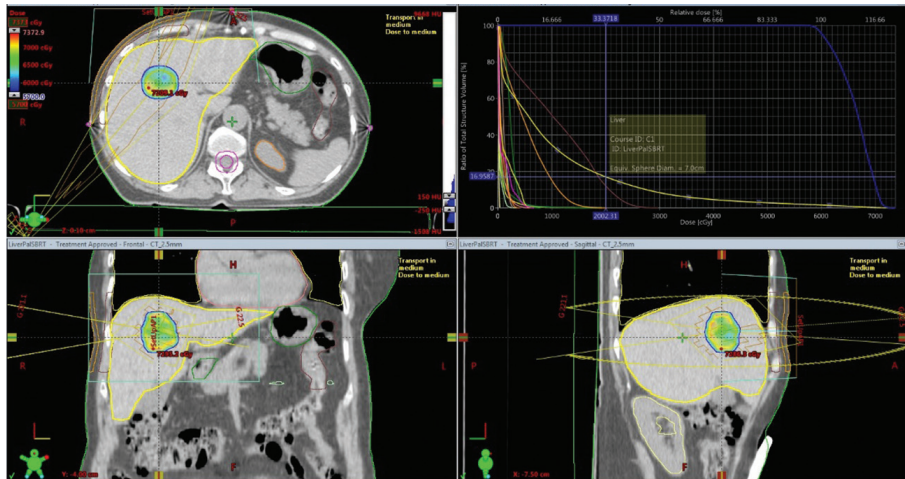
Slika 15. Analiza plana iradijacije tumora nazofarinksa



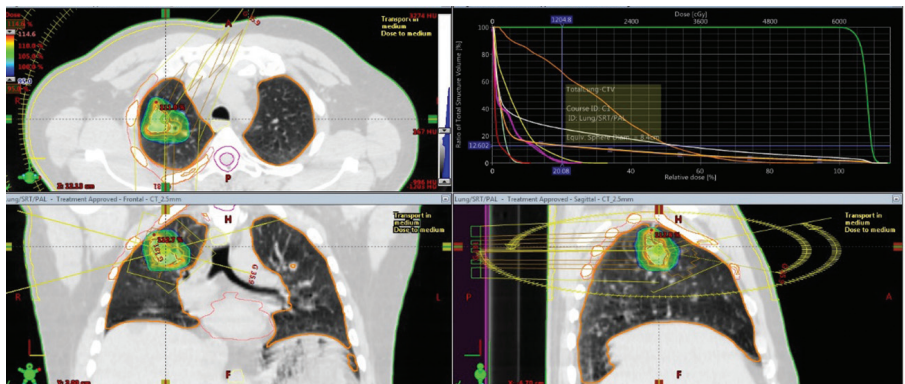
Slika 16. Analiza plana iradijacije rektuma



Slika 17. *Analiza plana iradijacije želuca*



Slika 18. *Analiza plana stereotaksijske iradijacije jetre*



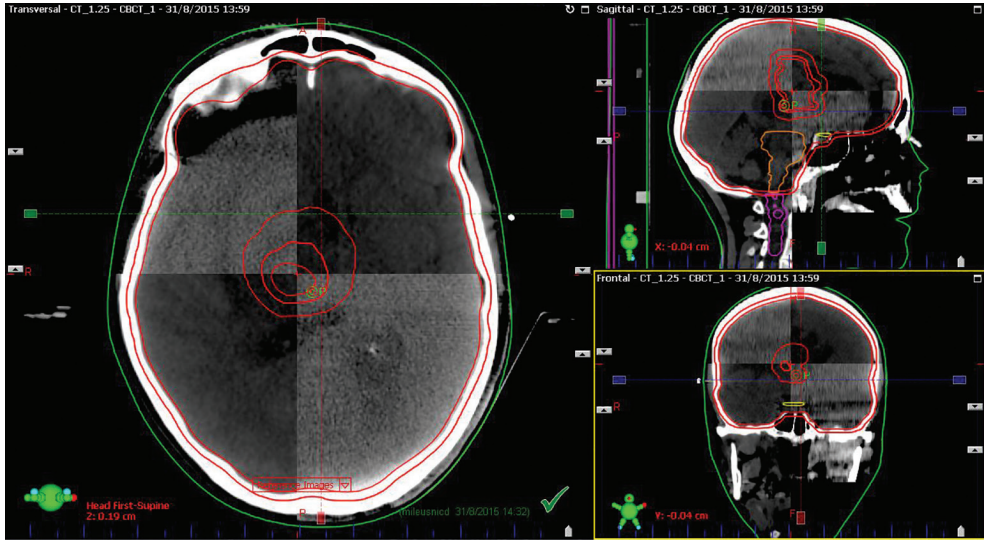
Slika 19. *Analiza plana stereotaksijske iradijacije pluća*

Provođenje radioterapije

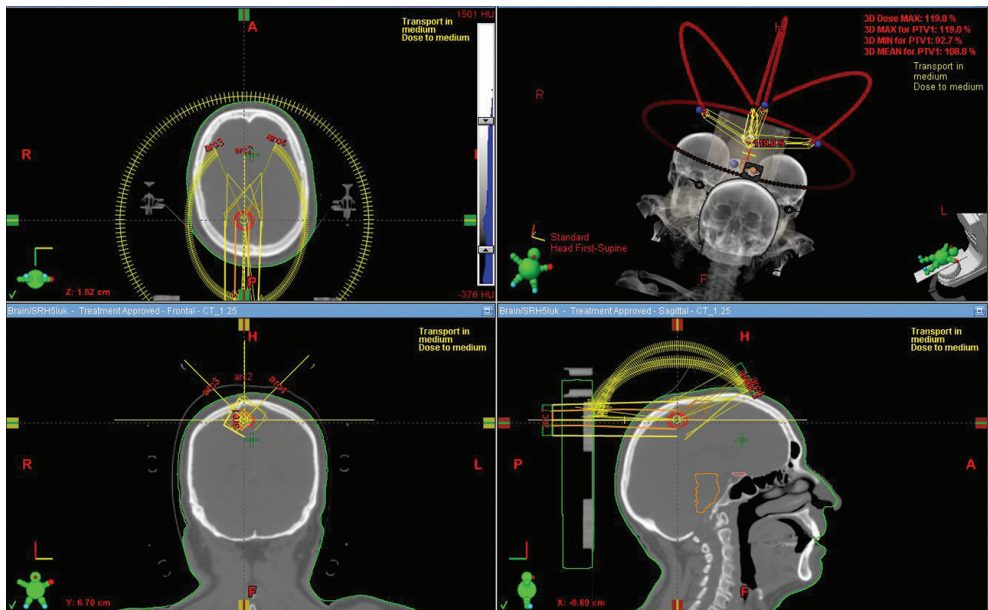
Tretman pacijenta podrazumijeva pozicioniranje pacijenta na linearnom akceleratoru u isti položaj kao i na CT simulatoru. To je moguće zahvaljujući fiksnim LAP laserima u tri ravni unutar tretmanske sobe koji odgovaraju laserima u simulacionoj sobi, čime se povezuje geometrija pacijenta s geometrijom radioterapijskog okruženja. Imobilizaciona sredstva su individualizirana i koriste se prilikom svakog pozicioniranja na tretmanskoj mašini, što smanjuje mogućnost greške pri pozicioniranju pacijenta, tzv. *set-up* grešku. Preciznost isporuke doze osigurava se slikovnim vođenjem radioterapije (IGRT). Nakon što je pacijent pozicioniran pomoću lasera i imobilizacionih sredstava (Slika 20), snima se CBCT na tretmanskoj mašini i slika uspoređuje s onom dobijenom na CT simulatoru uz pomoć *On Line Advanced Imaging software*, na osnovu kojeg je izrađen plan (Slika 21). Ukoliko postoji *set-up* greška koju sistem izračunava, vrši se korekcija položaja pacijenta pomjeranjem stola na tretmanskoj mašini i potom isporučuje radioterapijska doza. Sama tehnika isporuke doze uključuje veliki broj polja zračenja koji iz različitih kutova i različitih koplanarnih i/li nekoplanarnih ravni fokusiraju dozu na ciljni volumen (Slika 22). Akutni toksicitet prati se dnevno, tokom provođenja tretmana, i bilježi u odgovarajućem dokumentu.



Slika 20. Pozicioniranje pacijenta s imobilizacionom opremom u izocentar na osnovu lasera u tretmanskoj sobi



Slika 21. Preklapanje simulacionog CT-a i CBCT-a u trenutku provođenja tretmana



Slika 22. Stereotaksijska radiokirurgija uz isporuku doze iz više nekoplanarnih polja

Diskusija

Primjenom modernih tehnika zračenja postiže se manji akutni i kasni toksicitet na zdrava tkiva. Na taj način osigurana je bolja zaštita i prezervacija funkcije zdravih tkiva i organa, a bez kompromitiranja ukupnog ishoda liječenja. Moderne tehnike

također omogućavaju tretiranje regija koje je ranije bilo teško ili nemoguće tretirati bez značajnijeg toksiciteta, npr. iradijaciju dijelova mozga uz poštedu zdravog parenhima ili moždanog stabla, iradijaciju limfatika vrata uz poštedu kičmene moždine i žlijezda slinovnica ili iradijaciju pleure kod mezotelioma uz poštedu pluća itd. Također, omogućena je reiradijacija određenih regija zbog relapsa bolesti. Tome u prilog govore brojni objavljeni radovi.

Za regiju glave i vrata Marta et al. objavili su rezultate metaanalize i pokazali su da primjena IMRT tehnike osigurava eskalaciju doze na tumor uz bolju poštedu zdravog tkiva u odnosu na 2D konvencionalnu i 3D-konformalnu (3DCRT) tehniku zračenja. U analizu su uključene samo prospektivne randomizirane studije faze III koje su komparirale učinak IMRT vs. 2D ili 3DCRT s ostalim modalitetima liječenja (operacija, kemoterapija) ili bez njih. Ukupno pet studija je zadovoljilo kriterije, dok su 3 studije klasificirane kao studije s nejasnim i 2 s visokim rizikom od namjerne greške. Ovom metaanalizom je obrađen ukupno 871 pacijent i to s 2DRT ili 3DCRT (437) vs. IMRT (434). Većina pacijenata imala je nazofaringealni karcinom (82%) stadija III/IV (62,1%). Signifikantno bolji rezultat u pogledu kserostomije gradusa 2–4 prema RTOG skali bio je na strani IMRT (HR = 0,76; 95% CI: 0,66, 0,87; $p < 0,0001$), sa sličnom lokoregionalnom kontrolom i ukupnim preživljenjem. Toksicitet na žlijezde slinovnice, prvenstveno parotidnu žlijezdu, bio je značajno manji, što je utjecalo na poboljšanje kvaliteta života pacijenata bez kompromitiranja lokoregionalne kontrole bolesti, odnosno ukupnog preživljenja [5]. Ove rezultate potvrđuju i istraživanja drugih autora [6–10]. Najnoviji radovi pomakli su fokus sa kserostomije na prezervaciju akta gutanja kod karcinoma regije glave i vrata. Naime, perzistirajuća disfagija nakon kemo-radioterapije (CRT) ima devastirajući efekat na kvalitet života ovih pacijenata. Nerandomizirana *single arm* studija [11] pokazala je da delineacijom struktura za gutanje, kao npr. *m. constrictora pharyngisa* i supraglotičnog larinksa, i njihova dozimetrijska pošteda tzv. dinamičkim IMRT može dati bolji ishod u liječenju.

U regiji toraksa ciljni volumen može predstavljati bilo koji organ te se za različite primarne lokalizacije tumora koriste i različite tehnike zračenja. Za primarne tumore pluća koriste se IMRT ili SBRT tehnika, za primarne tumore jednjaka IMRT, za primarne tumore pleure IMRT ili VMAT tehnika, dok se za primarne tumore dojke koristi IMRT i DIBH. Istraživanjem Yang et al. u tretmanu cervikalno smještenog primarnog karcinoma jednjaka komparirane su 3DCRT, IMRT i VMAT tehnike. Obrađeno je ukupno 78 pacijenata tretiranih definitivnom radioterapijom s konkomitantnom kemoterapijom ili bez nje u periodu od 2007. do 2014. godine. 26 pacijenata tretirano je 3DCRT, 30 je tretirano IMRT i 22 pacijenta VMAT tehnikom. Praćeni su ukupno preživljenje, vrijeme do progresije bolesti i toksicitet vezan za provedeni tretman. Pokazano je da nije bilo signifikantne razlike u ukupnom preživljenju (OS) i vremenu proteklom do progresije bolesti (TTP) $p = 0,9$ za oba parametra. Nije bilo signifikantne razlike u hematološkom toksicitetu za sve tri grupe, ali je zabilježena niža srednja apsorbirana doza na pluća (*lung mean dose*), manji volumen

pluća ozračen je s 20 Gy (V20), maksimalna doza na brahijalni plexus i kičmenu moždinu u grupama tretiranim IMRT i VMAT tehnikom, a radijacijski pneumonitis gr. 1 bio je također signifikantno manji u IMRT i VMAT grupama u odnosu na 3DCRT $p=0,011$ [12].

Iradijacija pluća oduvijek predstavlja izazov za radijacijske onkologe, budući da velika većina pacijenata (> 85%) u trenutku dijagnoze ima lokalno / lokoregionalno uznapredovali karcinom (klinički stadij IIIA ili IIIB). Potrebno je visokom dozom ozračiti veliki volumen (primarni tumor s patološkim limfaticima) uz istovremenu poštedu zdravog plućnog parenhima, srca, kičmene moždine, brahijalnog plexusa, jednjaka. Pacijenti s karcinomom pluća su dominantno pušači ili bivši pušači koji imaju prateću opstruktivnu bolest pluća i dodatno je naglašeno očuvanje zdravog parenhima pluća. U retrospektivnom istraživanju provedenom u M. D. Anderson obrađeno je ukupno 496 pacijenata s lokoregionalno uznapredovanim nemikrocelularnim karcinomom pluća (NSCLC) tretiranih 4DCT/IMRT tehnikom (91 pacijent) i CT/3DCRT (318 pacijenata) konkomitantno s kemoterapijom. Praćeni su lokoregionalni relaps bolesti, vrijeme do pojave metastaza i ukupno preživljenje, uzevši u obzir kao kovarijaciju ukupni volumen tumora (*gross tumor volume*, GTV), histologiju tumora i nodalni status. Sekundarni cilj bio je praćenje toksiciteta gr. ≥ 3 za pojavu radijacijskog pneumonitisa uz kovarijacije prema GTV, pušačkom statusu i dozimetrijskim faktorima. Rezultati su pokazali da je HR za 4DCT/IMRT bio < 1 za sve primarne ciljeve, signifikantna razlika je bila u OS, kao i u toksicitetu koji je bio signifikantno manji u 4DCT/IMRT grupi nego u CT/3DCRT grupi. Vrijeme do pojave udaljenih metastaza bilo je gotovo identično u obje grupe [13]. Konfirmativna studija Wang et al. komparirala je efikasnost IMRT i 3DCRT u pogledu ukupnog preživljenja, lokoregionalne kontrole bolesti i pridruženog toksiciteta. Obradena su 652 pacijenta, i to 206 pacijenata tretiranih 3DCRT i 446 pacijenata tretiranih IMRT, a rezultati su pokazali da IMRT pluća u odnosu na 3DCRT omogućava signifikantno bolju lokoregionalnu kontrolu bolesti i reducira toksicitet na pluća, dok nije bilo signifikantne razlike u ukupnom preživljenju i toksicitetu na ezofagus za stadij III NSCLC [14]. I druga istraživanja potvrđuju prednost IMRT u odnosu na 3DCRT, kako u smislu isporuke veće doze na ciljni volumen tako i poštede zdravih tkiva [15–17]. Iradijacija pleure zbog malignog mezotelioma ranije je značila istovremenu isporuku visokih doza i na zdravi parenhim pluća. Istraživanja govore u prilog dužeg perioda bez bolesti (DFS) nakon iradijacije IMRT/RA tehnikama, zahvaljujući isporuci veće ukupne doze i signifikantne poštede pluća, bilo da su tretirani adjuvantno ili kao definitivni tretman u odnosu na pacijente koji nisu radioterapijski tretirani [18–20]. Za razliku od lokoregionalno uznapredovanih tumora pluća, rani stadiji karcinoma pluća standardno se liječe operativno, međutim, za pacijente koji su medicinski inoperabilni zbog komorbiditeta, standard u liječenju je stereotaksijska iradijacija (SBRT) [21–27]. Stereotaksijsku iradijaciju karakterizira isporuka visoke doze zračenja u malom broju frakcija i strmi pad doze prema zdravim tkivima. Visoke ukupne doze zračenja podrazumijevaju biološki efektivnu dozu BED

veću od 100 Gy. Mali broj frakcija znači isporuku doze u 3–8, u nekim centrima u 10 frakcija, što podrazumijeva isporuku visoke doze po frakciji. Strmi pad doze prema okolnom zdravom tkivu znači da doza pada za 50% na distanci 2–5 mm, dok tkiva na distanci 5–7 mm ne dobijaju zračenje (\leq 5% propisane doze). SBRT se osim kod ranih stadija karcinoma pluća provodi i kod oligometastatskih promjena u plućima tumora bilo koje primarne lokalizacije. Utvrđeno je da oligometastatska bolest ima bolju prognozu i duže ukupno preživljenje u odnosu na diseminiranu tzv. polimetastatsku bolest i stoga je lokalna kontrola malobrojnih metastatskih depozita preporučena [28–33].

Iradijacija dojke standardno se provodi 3DCRT, međutim, moguće je poštediti srce, odnosno lijevu prednju descendntnu koronarnu arteriju (LAD) tehnikom DIBH [34]. Poređeno je zračenje tehnikom slobodnog disanja (FB) vs. DIBH za pacijentice kod kojih je zračenje provedeno nakon poštodne operacije (BCS), te nakon radikalne mastektomije (M) upotrebom *Real-time positioning management system* (RPM), ukupnom dozom zračenja u svim grupama od TD 50Gy u 25 frakcija. Praćeni su parametri V5 na srce, srednja doza na srce, srednja doza na LAD i maksimalna doza na LAD. Tehnika DIBH pokazala se superiornom u poređenju s FB i to V5 na srce smanjen za 4,5% (2,3 vs. 6,8%; $p < 0,0001$) u M grupi i za 2,4% (1,3 vs. 3,7%; $p = 0,0028$) u BCS grupi. Srednja doza na srce smanjena je za 107,0 cGy (127,4 vs. 234,4 cGy; $p = 0,0002$) u M grupi i za 58,9 cGy (82,2 vs. 141,1 cGy; $p = 0,0012$) u BCS grupi. Srednja doza na LAD smanjena je za 1201,6 cGy (670 vs. 1872,5 cGy; $p = 0,0006$) u M grupi i za 799,0 cGy (425,3 vs. 1224,3 cGy; $p = 0,0003$) u BCS grupi. Maksimalna doza na LAD smanjena je za 1244,3 cGy (2776,0 vs. 4020,3 cGy; $p = 0,0014$) u M grupi i za 1856,3 cGy (1898,7 vs. 3754,9 cGy; $p = 0,0005$) u BCS group. U BCS grupi, srčani V5 $< 5\%$ postignut je u 10/15 (67%) FB pacijentica i u 15/15 (100%) DIBH pacijentica ($p = 0,002$), a srednja doza na srce < 2 Gy postignuta je u 12/15 (80%) FB pacijentica i 15/15 (100%) DIBH pacijentica ($p < 0,001$). U M grupi V5 $< 5\%$ postignuto je u 6/17 (35%) FB pacijentica i 16/17 (94%) DIBH pacijentica ($p = 0,05$), te srednja doza na srce < 2 Gy postignuta u 7/17 FB (41%) i 16/17 DIBH pacijentica (94%) ($p = 0,03$). Iako je benefit zabilježen i kod pacijentica tretiranih poštodnom i radikalnom operacijom dojke, veća poštoda zabilježena je kod mastektomiranih pacijentica [35]. Značaj poštode srca posebno dolazi do izražaja kada se uzme u obzir kardiotsičnost citotoksične i target terapije.

U regiji abdomena i male zdjelice provedena istraživanja koja su poredila 3DCRT i moderne tehnike zračenja za karcinom rektuma [36–39], karcinom prostate [40–43] i karcinom želuca [44,45] konzistentna su s rezultatima u ostalim regijama u smislu manjeg akutnog toksiciteta uz duži DFS i duže OS, zahvaljujući eskalaciji doze na tumor i poštediti zdravih tkiva i organa.

SBRT se koristi i za iradijaciju jetre kod oligometastatskih tumora bilo koje primarne lokalizacije [46–48]. SBRT jetre nije inferiorniji u odnosu na kirurški tretman, niti u odnosu na radioablativne metode [49], neinvazivan je i ima mali postotak neželjenih komplikacija (do 2%).

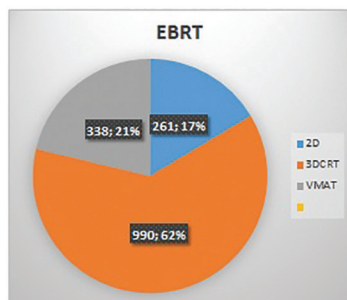
Stereotaksijska radiokirurgija (SRS) i stereotaksijska radioterapija (SRT) su oblici stereotaksijske iradijacije s najdužom kliničkom praksom. Rezultati govore u prilog boljoj lokalnoj kontroli i boljem kvalitetu života, bez značajnijeg toksiciteta na zdrava tkiva [50].

Istraživanje Fillipi et al. pokazalo je da radioterapija limfoma VMAT tehnikom u odnosu na 3DCRT na regiju toraksa s regijom vrata ili bez nje uz ozračivanje većeg volumena zdravog tkiva malim dozama (V5) ima komparabilan rizik od sekundarnih karcinoma dojke i štitnjače, ali povećanu vjerojatnost sekundarnog karcinoma pluća uz značajno smanjen rizik bolesti srca [51].

U Centru za radioterapiju IMC Banja Luka u toku 2015. godine bilo je ukupno 1701 tretman. Od ukupnog broja tretmana, 338 je provedeno IMRT ili RapidArc tehnikom (21%), od toga više od 95% pacijenata s karcinomom regije glave i vrata, dok su svi (100%) radikalni tretmani tumora regije glave i vrata provedeni navedenim tehnikama, do 10% karcinoma pluća, više od 95% karcinoma želuca, više od 95% karcinoma rektuma, dok je stereotaksijski ukupno tretirano više od 40 metastatskih tumora mozga i oko 10 metastatskih tumora pluća i jetre. Od ostalih tehnika zračenja, 3D konformalnih tretmana bilo je 990 ili 62%, dok je 2D tretmana bilo 261 ili 17% (Slika 23).

U Centru za radioterapiju IMC Banja Luka IMRT tehnika se provodi od 2011. godine, intrakranijalna SRT/SRS od 2013., a ekstrakranijalna SBRT od 2015. godine.

Centar za radioterapiju IMC Banja Luka, 2015. godine



- ✓ U Centru za radioterapiju IMC Banja Luka IMRT tehnika zračenja provodi se od 2011. godine.
- ✓ Intrakranijalna SRT/SRS od 2013. godine.
- ✓ Ekstrakranijalna SBRT od 2015. godine.

Ukupno broj tretmana 1701

Slika 23. Izvještaj Centra za radioterapiju Banja Luka za 2015. godinu. Tokom 2015. godine bilo je ukupno 1701 tretman, od čega je IMRT/VMAT tehnikom ozraчено 21% tretmana.

Zaključak

Moderne radioterapijske tehnike osiguravaju isporuku visokih doza zračenja na cilj- ni volumen uz maksimalnu poštedu zdravih tkiva. Visoka doza na tumor ili tumorsko ležište osigurava bolju lokalnu kontrolu bolesti, duži period bez bolesti, bolji kvalitet života te bolje ukupno preživljenje. Ozračivanje većeg volumena zdravog tkiva malim dozama ne povećava jednoznačno rizik od sekundarnih tumora, ali su potrebna daljnja istraživanja.

Primjena modernih tehnika zračenja sigurna je i komforna za pacijenta. Za provo- đenje terapije neophodno je imati adekvatnu opremu i educirano osoblje. Korištenje ovako visoko sofisticiranih tehnologija mora biti praćeno robusnim planom kontrole kvaliteta.

Reference

- [1] ICRP, 1977. Recommendations of the ICRP. ICRP Publication 26. Ann. ICRP 1(3).
- [2] Radiation Therapy Oncology Group [homepage on the Internet]. [updated 2016 cited 2017 Feb 09]. Available from <https://www.rtog.org/Home.aspx>
- [3] Brouwer CL, Steenbakkers RJ, Bourhis J, Budach W, Grau C, Grégoire V, et al. CT-based delineation of organs at risk in the head and neck region: DAHANCA, EORTC, GORTEC, HKNPCSG, NCIC CTG, NCRI, NRG Oncology and TROG consensus guidelines. *Radiother Oncol.* 2015 Oct;117(1):83–90.
- [4] Bentzen SM, Constine LS, Deasy JO, Eisbruch A, Jackson A, Marks LB, et al. Quantitative Analyses of Normal Tissue Effects in the Clinic. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 2010; 73(3):S3–9.
- [5] Marta GN, Silva V, de Andrade Carvalho H, de Arruda FF, Hanna SA, Gadia R, et al. Intensity-modulated radiation therapy for head and neck cancer: systematic review and meta-analysis. *Radiother Oncol.* 2014;110(1):9–15.
- [6] Gupta T, Agarwal J, Jain S, Phurailatpam R, Kannan S, Ghosh-Laskar S, et al. Three-dimensional conformal radiotherapy (3D-CRT) versus intensity modulated radiation therapy (IMRT) in squamous cell carcinoma of the head and neck: a randomized controlled trial. *Radiother Oncol.* 2012;104(3):343–8.
- [7] Vergeer MR, Doornaert PA, Rietveld DH, Leemans CR, Slotman BJ, Langendijk JA. Intensity-modulated radiotherapy reduces radiation-induced morbidity and improves health-related quality of life: results of a nonrandomized prospective study using a standardized follow-up program. *Int J Radiat Oncol Biol Phys.* 2009;74(1):1–8.
- [8] Yao M, Dornfeld KJ, Buatti JM, Skwarchuk M, Tan H, Nguyen T, et al. Intensity-modulated radiation treatment for head-and-neck squamous cell carcinoma--the University of Iowa experience. *Int J Radiat Oncol Biol Phys.* 2005;63(2):410–21.
- [9] Yang H, Diao LQ, Shi M, Ma R, Wang JH, Li JP, et al. Efficacy of intensity-modulated radiotherapy combined with chemotherapy or surgery in locally advanced squamous cell carcinoma of the head-and-neck. *Biologics.* 2013;7:223–9.
- [10] Ghosh-Laskar S, Yathiraj PH, Dutta D, Rangarajan V, Purandare N, Gupta T, et al. Prospective randomized controlled trial to compare 3-dimensional conformal radiotherapy to intensity-modulated radiotherapy in head and neck squamous cell carcinoma: Long-term results. *Head Neck.* 2016;38 Suppl 1:E1481–7.

- [11] Petkar I, Rooney K, Roe JW, Patterson JM, Bernstein D, Tyler JM, et al. DARS: a phase III randomised multicentre study of dysphagia-optimised intensity-modulated radiotherapy (Do-IMRT) versus standard intensity-modulated radiotherapy (S-IMRT) in head and neck cancer. *BMC Cancer*. 2016;16(1):770.
- [12] Yang H, Feng C, Cai BN, Yang J, Liu HX, Ma L. Comparison of three-dimensional conformal radiation therapy, intensity-modulated radiation therapy, and volumetric-modulated arc therapy in the treatment of cervical esophageal carcinoma. *Dis Esophagus*. 2016 Sep 15. Epub ahead of print.
- [13] Liao ZX, Komaki RR, Thames HD Jr, Liu HH, Tucker SL, Mohan R, et al. Influence of technologic advances on outcomes in patients with unresectable, locally advanced non-small-cell lung cancer receiving concomitant chemoradiotherapy. *Int J Radiat Oncol Biol Phys*. 2010;76(3):775–81.
- [14] Wang J, Zhou Z, Liang J, Feng Q, Xiao Z, Hui Z, et al. Intensity-Modulated Radiation Therapy May Improve Local-Regional Tumor Control for Locally Advanced Non-Small Cell Lung Cancer Compared With Three-Dimensional Conformal Radiation Therapy. *Oncologist*. 2016 Sep 14. Epub ahead of print.
- [15] Grills IS, Yan D, Martinez AA, Vicini FA, Wong JW, Kestin LL. Potential for reduced toxicity and dose escalation in the treatment of inoperable non-small-cell lung cancer: a comparison of intensity-modulated radiation therapy (IMRT), 3D conformal radiation, and elective nodal irradiation. *Int J Radiat Oncol Biol Phys*. 2003;57(3):875–90.
- [16] Livingston GC, Last AJ, Shakespeare TP, Dwyer PM, Westhuyzen J, McKay MJ, et al. Toxicity and dosimetric analysis of non-small cell lung cancer patients undergoing radiotherapy with 4DCT and image-guided intensity modulated radiotherapy: a regional centre's experience. *J Med Radiat Sci*. 2016;63(3):170–8.
- [17] Truntzer P, Antoni D, Santelmo N, Schumacher C, Falcoz PE, Quoix E, et al. Superior sulcus non-small cell lung carcinoma: A comparison of IMRT and 3D-RT dosimetry. *Rep Pract Oncol Radiother*. 2016;21(5):427–34.
- [18] Spatola C, Militello C, Tocco A, Salamone V, Raffaele L, Migliore M, et al. Intensity-modulated radiotherapy for relapsed malignant pleural mesothelioma. *Future Oncol*. 2016 Sep 21. Epub ahead of print
- [19] Botticella A, Defraene G, Nackaerts K, Deroose CM, Coolen J, Naftoux P, et al. Optimal gross tumor volume definition in lung-sparing intensity modulated radiotherapy for pleural mesothelioma: an in silico study. *Acta Oncol*. 2016:1–6.
- [20] Hoda MA, Klikovits T, Arns M, Dieckmann K, Zöchbauer-Müller S, Geltner C, et al. Management of malignant pleural mesothelioma – part 2: therapeutic approaches: Consensus of the Austrian Mesothelioma Interest Group (AMIG). *Wien Klin Wochenschr*. 2016;128(17–18):618–26.
- [21] Puri V, Crabtree TD, Bell JM, Broderick SR, Morgensztern D, Colditz GA, et al. Treatment Outcomes in Stage I Lung Cancer: A Comparison of Surgery and Stereotactic Body Radiation Therapy. *J Thorac Oncol*. 2015;10(12):1776–84.
- [22] Kishan AU, Lee P. Radiation Therapy for Stage I Nonoperable or Medically Inoperable Lung Cancer. *Semin Respir Crit Care Med*. 2016;37(5):716–726.
- [23] Tsang MW. Stereotactic body radiotherapy: current strategies and future development. *J Thorac Dis*. 2016;8(Suppl 6):S517–27.
- [24] Lanni TB Jr, Grills IS, Kestin LL, Robertson JM. Stereotactic radiotherapy reduces treatment cost while improving overall survival and local control over standard

- fractionated radiation therapy for medically inoperable non-small-cell lung cancer. *Am J Clin Oncol.* 2011;34(5):494–8.
- [25] Nanda RH, Liu Y, Gillespie TW, Mikell JL, Ramalingam SS, Fernandez FG, et al. Stereotactic body radiation therapy versus no treatment for early stage non-small cell lung cancer in medically inoperable elderly patients: A National Cancer Data Base analysis. *Cancer.* 2015;121(23):4222–30.
- [26] Giuliani ME, Bezjak A. Alternatives to surgery in early stage disease-stereotactic body radiotherapy. *Transl Lung Cancer Res.* 2013;2(5):332–9.
- [27] Shaikh T, Churilla TM, Murphy CT, Zaorsky NG, Haber A, Hallman MA, et al. Absence of Pathological Proof of Cancer Associated with Improved Outcomes in Early-Stage Lung Cancer. *J Thorac Oncol.* 2016;11(7):1112–20.
- [28] Guerrero E, Ahmed M. The role of stereotactic ablative radiotherapy (SBRT) in the management of oligometastatic non small cell lung cancer. *Lung Cancer.* 2016;92:22–8.
- [29] Navarria P, De Rose F, Ascolese AM. SBRT for lung oligometastases: Who is the perfect candidate? *Rep Pract Oncol Radiother.* 2015;20(6):446–53.
- [30] Fode MM, Høyer M. Survival and prognostic factors in 321 patients treated with stereotactic body radiotherapy for oligo-metastases. *Radiother Oncol.* 2015;114(2):155–60.
- [31] Patel NR, Lanciano R, Sura K, Yang J, Lamond J, Feng J, et al. Stereotactic body radiotherapy for re-irradiation of lung cancer recurrence with lower biological effective doses. *J Radiat Oncol.* 2015;4(1):65–70.
- [32] Potters L, Kavanagh B, Galvin JM, Hevezi JM, Janjan NA, Larson DA, et al; American Society for Therapeutic Radiology and Oncology; American College of Radiology. American Society for Therapeutic Radiology and Oncology (ASTRO) and American College of Radiology (ACR) practice guideline for the performance of stereotactic body radiation therapy. *Int J Radiat Oncol Biol Phys.* 2010;76(2):326–32.
- [33] Li Q, Swanick CW, Allen PK, Gomez DR, Welsh JW, Liao Z, et al. Stereotactic ablative radiotherapy (SABR) using 70 Gy in 10 fractions for non-small cell lung cancer: exploration of clinical indications. *Radiother Oncol.* 2014;112(2):256–61.
- [34] Lastrucci L, Borghesi S, Bertocci S, Gasperi C, Rampini A, Buonfrate G, et al. Advantage of deep inspiration breath hold in left-sided breast cancer patients treated with 3D conformal radiotherapy. *Tumori.* 2016 Sep 27:0. Epub ahead of print.
- [35] Lin A, Sharieff W, Juhasz J, Whelan T, Kim DH. The benefit of deep inspiration breath hold: evaluating cardiac radiation exposure in patients after mastectomy and after breast-conserving surgery. *Breast Cancer.* 2016 Feb 17. Epub ahead of print
- [36] Huang CM, Huang MY, Tsai HL, Huang CW, Ma CJ, Lin CH, et al. A retrospective comparison of outcome and toxicity of preoperative image-guided intensity-modulated radiotherapy versus conventional pelvic radiotherapy for locally advanced rectal carcinoma. *J Radiat Res.* 2016 Oct 13. Epub ahead of print
- [37] Estabrook NC, Bartlett GK, Compton JJ, Cardenes HR, Das IJ. Role of belly board device in the age of intensity modulated radiotherapy for pelvic irradiation. *Med Dosim.* 2016 Sep 12. Epub ahead of print
- [38] Russell AH, Harris J, Rosenberg PJ, Sause WT, Fisher BJ, Hoffman JP, et al. Anal sphincter conservation for patients with adenocarcinoma of the distal rectum: long-term results of radiation therapy oncology group protocol 89–02. *Int J Radiat Oncol Biol Phys.* 2000;46(2):313–22.

- [39] Chen YJ, Liu A, Tsai PT, Vora NL, Pezner RD, Schultheiss TE, et al. Organ sparing by conformal avoidance intensity-modulated radiation therapy for anal cancer: dosimetric evaluation of coverage of pelvis and inguinal/femoral nodes. *Int J Radiat Oncol Biol Phys.* 2005;63(1):274–81.
- [40] Khan MI, Jiang R, Kiciak A, Ur Rehman J, Afzal M, Chow JC. Dosimetric and radiobiological characterizations of prostate intensity-modulated radiotherapy and volumetric-modulated arc therapy: A single-institution review of ninety cases. *J Med Phys.* 2016;41(3):162–8.
- [41] Yu T, Zhang Q, Zheng T, Shi H, Liu Y, Feng S, et al. The Effectiveness of Intensity Modulated Radiation Therapy versus Three-Dimensional Radiation Therapy in Prostate Cancer: A Meta-Analysis of the Literatures. *PloS One.* 2016;11(5):e0154499.
- [42] Viani GA, Viana BS, Martin JE, Rossi BT, Zuliani G, Stefano EJ. Intensity-modulated radiotherapy reduces toxicity with similar biochemical control compared with 3-dimensional conformal radiotherapy for prostate cancer: A randomized clinical trial. *Cancer.* 2016;122(13):2004–11.
- [43] Hummel S, Simpson EL, Hemingway P, Stevenson MD, Rees A. Intensity-modulated radiotherapy for the treatment of prostate cancer: a systematic review and economic evaluation. *Health Technol Assess.* 2010;14(47):1–108,iii–iv.
- [44] Liu GF, Bair RJ, Bair E, Liauw SL, Koshy M. Clinical outcomes for gastric cancer following adjuvant chemoradiation utilizing intensity modulated versus three-dimensional conformal radiotherapy. *PLoS One.* 2014;9(1):e82642.
- [45] Bahl A, Kapoor R, Tomar P, Singh OA, Gupta R, Sharma SC. Dosimetric comparison of doses to organs at risk using 3-D conformal radiotherapy versus intensity modulated radiotherapy in postoperative radiotherapy of periamпуляр cancers: implications for radiation dose escalation. *JOP.* 2013;14(1):39–43.
- [46] Dionisi F, Guarneri A, Dell’Acqua V, Leonardi M, Niespolo R, Macchia G, et al. Radiotherapy in the multidisciplinary treatment of liver cancer: a survey on behalf of the Italian Association of Radiation Oncology. *Radiol Med.* 2016;121(9):735–43.
- [47] Greco C, Catalano G, Di Grazia A, Orecchia R. Radiotherapy of liver malignancies. From whole liver irradiation to stereotactic hypofractionated radiotherapy. *Tumori.* 2004;90(1):73–9.
- [48] Lanciano R, Lamond J, Yang J, Feng J, Arrigo S, Good M, et al. Stereotactic body radiation therapy for patients with heavily pretreated liver metastases and liver tumors. *Front Oncol.* 2012;2:23.
- [49] Kim H, Gill B, Beriwal S, Huq MS, Roberts MS, Smith KJ. Cost-Effectiveness Analysis of Stereotactic Body Radiation Therapy Compared With Radiofrequency Ablation for Inoperable Colorectal Liver Metastases. *Int J Radiat Oncol Biol Phys.* 2016;95(4):1175–83.
- [50] Andrews DW, Scott CB, Sperduto PW, Flanders AE, Gaspar LE, Schell MC, et al. Whole brain radiation therapy with or without stereotactic radiosurgery boost for patients with one to three brain metastases: phase III results of the RTOG 9508 randomised trial. *Lancet.* 2004;363(9422):1665–72.
- [51] Filippi AR, Ragona R, Piva C, Scafa D, Fiandra C, Fusella M, et al. Optimized volumetric modulated arc therapy versus 3D-CRT for early stage mediastinal Hodgkin lymphoma without axillary involvement: a comparison of second cancers and heart disease risk. *Int J Radiat Oncol Biol Phys.* 2015 1;92(1):161–8.

PATIENT PROTECTION FROM RADIATION DURING RADIOTHERAPY TREATMENT BY USING MODERN RADIOTHERAPY TECHNIQUES

Abstract

Purpose: to present the methodology of radiotherapy practice using modern radiotherapy techniques. *Background:* Technological progress resulted in implementation of new radiotherapy techniques for precise high-dose delivery to target volume with maximal protection of surrounding healthy tissue. *Methodology:* patient preparation on 4DCT-simulator using adequate immobilization devices, fusion of simulation CT images with diagnostic CT/MRI/PET images, target volume delineation and organs at risk delineation. Treatment planning procedure uses VMAT/RapidArc: Eclipse TPS protocol for dose escalation in target volume with maximal protection of surrounding healthy tissue over steep dose gradient. That is accomplished by isocentric dose delivery from multiple narrow radiation beams with unequally weighted beam intensity (IMRT) or by Arc-technique with source of radiation rotating around the patient for 360° while the target volume is modulated by dynamic collimator leaf movement (VMAT, SRS/SRT, SBRT). Accuracy of dose delivery by checking the target position is provided by image guided radiotherapy during the treatment using OBI CBCT. *Discussion:* Implementation of modern radiotherapy techniques requires highly sophisticated facilities so the delivery of high doses to tumor is feasible. Sparing surrounding tissue is significant comparing to previous techniques but for the cost of irradiating greater volume of healthy tissue with lower doses of radiation. *Conclusion:* High-dose delivery to tumor tissue is in direct correlation with better tumor control with keeping the dose to healthy tissue below the limit that can cause significant organ dysfunction (less than 5% of complications). Completion of QA measures for assurance of high doses delivered to target and low doses to healthy tissue due to acute and late toxicity effects.

Key words: protection, radiation, SRT/SBRT, IMRT.

IZLAGANJE POPULACIJE IONIZIRAJUĆEM ZRAČENJU U MEDICINSKE SVRHE: PROCJENA RIZIKA, PRAĆENJE, UPRAVLJANJE I IZVJEŠTAVANJE O DOZAMA ZRAČENJA*

Miro Miljko^{1,2,3}, Dorijan Radančević³, Vedran Markotić³

¹Medicinski fakultet Sveučilišta u Mostaru

²Fakultet zdravstvenih studija Sveučilišta u Mostaru

³Sveučilišna klinička bolnica u Mostaru, Klinički zavod za radiologiju

Autor za korespondenciju:

Miro Miljko

miro.miljko@gmail.com

Lektor za engleski jezik: Dragana Moro

Lektorica za B/H/S jezik: Zenaída Karavdić

Primljen: 2016, prihvaćen: 2017, objavljen: 2018.

Apstrakt

Upotreba ionizirajućeg zračenja u dijagnostičke i terapijske svrhe bilježi konstantan porast u svijetu. Da bi dijagnostičke i terapijske procedure koje koriste ionizirajuće zračenje bile odobrene za upotrebu, trebaju pokazati dovoljnu korisnost odnosa ukupnog potencijala dijagnostičke ili terapijske procedure, uključujući i direktnu zdravstvenu korist za pojedinca, kao i korist za društvo u cjelini i potencijalne štete koju može izazvati na zdravlje pojedinca. Neke metode su pokazale pozitivniji utjecaj na krajnji ishod dijagnostičko-terapijske obrade pacijenta od drugih. Prema podacima iz 2009, oko 75% izlaganja medicinskom zračenju potiče od kompjuterske tomografije i procedura u nuklearnoj medicini. U studiji "Projected Cancer Risks From Computed Tomographic Scans Performed in the United States in 2007" procijenjeno je da će se u Sjedinjenim Američkim Državama pojaviti 29.000 novih malignih bolesti kao posljedica 70 milijuna CT pretraga u 2007. (Porast rizika u odnosu na opću populaciju za oko 0,041%). Slične su studije u Bosni i Hercegovini pokazale projekciju povećanog rizika od oko 0,05%, uzimajući u obzir doze kojima su izloženi pacijenti. Zaključno možemo reći da se smanjenjem prosječne efektivne doze i posljedičnim smanjenjem rizika po pacijenta mogu prevenirati posljedice u smislu razvoja velikog broja malignih bolesti te postići značajne uštede u zdravstvenom sustavu koje daleko prevazilaze cijenu instalacije dose management software-a.

Ključne riječi: ionizirajuće zračenje, zdravstvena zaštita.

* Članak publikovan uz saglasnost časopisa Zdravstveni glasnik. 2015;1(2):80–83.

Uvod

Upotreba ionizirajućeg zračenja u dijagnostičke i terapijske svrhe bilježi stalan porast u svijetu. Da bi dijagnostičke i terapijske procedure koje koriste ionizirajuće zračenje bile odobrene za upotrebu, trebaju pokazati dovoljnu korisnost odnosa ukupnog potencijala dijagnostičke ili terapijske procedure, uključujući i direktnu zdravstvenu korist za pojedinca, kao i korist za društvo u cjelini i potencijalne štete koju može izazvati na zdravlje pojedinca [1]. Neke metode su pokazale pozitivniji utjecaj na krajnji ishod dijagnostičko-terapijske obrade pacijenta od drugih. Prema podacima iz 2009. oko 75% izlaganja medicinskom zračenju potiče od kompjuterske tomografije i procedura u nuklearnoj medicini [2].

Pregled literature

Kompjuterska tomografija (CT) još od uvođenja u praktičnu upotrebu 1972. godine bilježi stalan porast upotrebe u medicinskim ustanovama, zbog izuzetno pozitivnog utjecaja na krajnji ishod dijagnostičko-terapijske obrade pacijenta i skraćanja vremena potrebnog za obradu pacijenta. Kao posljedica, broj CT pregleda raste stopom od 10% godišnje u razvijenim zemljama, dok je rast u zemljama u razvoju posljednjih godina čak i brži. Ilustracije radi, spomenimo da je broj CT pregleda u SAD, u periodu 1996–2010. uvećan za tri puta.

Prema nepotpunim podacima, za 5 godina (2009.–2014.), broj CT pregleda u Bosni i Hercegovini je porastao za oko 75%. Sličan trend očekuje se i u bliskoj budućnosti.

Ova činjenica postavlja pred zdravstveni sustav drugu vrstu izazova: izlaganje stanovništva ionizirajućem zračenju. Nažalost, utjecaj ovog tipa zračenja nije dovoljno dokumentiran. Studije su o biološkim učincima izlaganja malim dozama zračenja na ljudski organizam uglavnom bazirane na praćenju učinaka radijacije na preživjele u atomskim napadima SAD na Japan iz 1945. Naime, većina dokaza o uzročno-posljedičnoj povezanosti ionizirajućeg zračenja i karcinoma kod ljudi potječe od istraživanja na četiri skupine: preživjela populacija nakon atomskih napada u Japanu, populacija izložena ionizirajućem zračenju u medicinske svrhe, profesionalno izložena populacija te populacija izložena ionizirajućem zračenju iz okoliša [3]. Od navedenih skupina, preživjeli nakon atomskih napada u Japanu pružaju daleko najviše informacija [4]. Ovi podaci daju jasne dokaze o radijacijski induciranom riziku za karcinom kod doza većih od 100 mSv, što je od posebnog značenja kod višestrukog izvođenja radioloških pretraga s visokom dozom ionizirajućeg zračenja (CT, intervencijski zahvati i kardiološke procedure pod kontrolom fluoroskopije), a poglavito u kraćem vremenskom razdoblju [5].

Urađen je veoma mali broj novijih studija, isključivo retrospektivnih, koje su pratile dugoročne učinke izlaganja rendgenskim (X) zracima i sve su pokazale da ipak postoji korelacija između izlaganja zračenju na CT-u i povećanog rizika za razvoj malignih tumora kod djece i mlađih osoba. Na osnovu toga su izrađeni i

ICRP (International Commission for Radiation Protection) koeficijenti za izračunavanje potencijalnog rizika od razvoja malignih tumora nakon izlaganja zračenju. Nominalni koeficijent rizika, ujednačen prema spolu, dobi i vrsti pretrage prema ICRP, iznosi oko 5,5% za primljenu dozu od 1 Sieverta (Sv).

Međutim, efektivna doza, a s njom i potencijalni rizik, ukoliko se neki od ovih parametara računaju posebno, mogu se drastično razlikovati. Npr. potencijalni rizik za pacijenta kome se uradi rendgenski snimak stopala je manji od 10^{-9} , dok potencijalni rizik za mladu djevojku kojoj se uradi CT snimak trupa (toraksa, abdomena i zdjelice) poraste na značajnih 10^{-3} [6].

Prema BEIR VII izvješću (engl. Biologic Effects of Ionizing Radiation), raspoloživi biološki i biofizički podaci u istraživanju utjecaja ionizirajućeg zračenja na nastanak karcinoma podržavaju LNT – model rizika (engl. linear-no-threshold), prema kojemu rizik nastanka karcinoma raste linearno s efektivnom dozom zračenja (bez određenog praga efektivne doze), što bi značilo da i najmanja doza ima učinak na povišenje rizika [5]. Koristan način za razumijevanje doza ionizirajućeg zračenja kod medicinskih pretraga jest da ih usporedimo s prosječnom prirodnom pozadinskom (engl. background) dozom ionizirajućeg zračenja koju svaki pojedinac primi u razdoblju od jedne godine, a ona iznosi oko 3 mSv. Ovo zračenje potječe iz radona, kozmičkih zraka, građevinskih materijala, tla i hrane [7].

Doze zračenja značajno variraju ovisno o vrsti CT pregleda. Efektivna doza za rutinski CT pregled glave iznosi oko 2 mSv, dok za multifazno snimanje abdomena i zdjelice ukupna efektivna doza iznosi oko 30 mSv [8].

Prema BEIR VII izvješću, procjenjuje se da će otprilike 1 od 1000 osoba razviti karcinom kao posljedicu izlaganja dozi od 10 mSv, odnosno 1 od 100 osoba kao posljedicu izlaganja dozi od 100 mSv [5].

Rizik radijacijski induciranog karcinoma je 3 do 5 puta veći za djecu nego za odrasle, zbog veće osjetljivosti organa i duljeg potencijalnog vremena latencije [9].

Multicentrična retrospektivna studija provedena u SAD 2008. godine, koja je istraživala povezanost efektivne doze zračenja kod uobičajenih CT pregleda i doživotnog rizika nastanka karcinoma, navodi kako će 1 od 270 žena (1 od 600 muškaraca) u dobi od 40 godina koji su podvrgnuti CT koronarnoj angiografiji do kraja životnog vijeka razviti karcinom kao posljedicu tog pregleda. Za usporedbu, doživotni rizik za razvoj karcinoma kod rutinskog CT pregleda glave iznosi 1 na 8.100 žena i 1 na 11.080 muškaraca u istoj životnoj dobi za jedan pregled. Za pacijente u dobi od 20 godina rizik je otprilike udvostručen, dok je za pacijente u dobi od 60 godina rizik za otprilike za 50% manji [10].

Načini adekvatne zaštite

Doza zračenja kod radioloških pretraga može se reducirati na tri načina. Prvo, može se donijeti odluka da se pretraga uopće ne provede. Ovakva odluka treba biti zasnovana na temeljitom i ispravnom razumijevanju indikacija za tu pretragu, reviziji

prethodnih slikovnih pretraga koje su možda već dale adekvatan odgovor na kliničko pitanje te procjeni posebnih karakteristika pacijenta koje bi mogle imati utjecaj na povećanje rizika. Drugo, kao alternativu je moguće odabrati pretragu koja ne koristi ionizirajuće zračenje. Treća opcija je napraviti pretragu koristeći manje doze zračenja [11]. U procjeni omjera potencijalnog rizika i koristi od pomoći mogu biti i objavljeni kriteriji za racionalnu upotrebu radioloških pretraga koje uzimaju u obzir razna stanja pacijenta, kao što su kriteriji Američkog koledža za radiologiju (engl. ACR appropriateness criteria) [12].

Određena rješenja u smislu optimizacije i ispravne utilizacije medicinske opreme koja generira ionizirajuće zračenje već su usvojena u SAD, ali su i nova zakonska rješenja EU iz 2013. godine uvela novine u smislu:

1. obaveze postojanja pisanog protokola za svaki tip opreme i pretrage i za sve relevantne kategorije pacijenata;
2. obaveze radiologa i kliničkog liječnika da dokumentiraju dozu zračenja koju pacijent primi prilikom svake pretrage;
3. referalni vodiči za medicinske radiološke pretrage, koji uključuju i podatke o zračenju, moraju biti dostupni referentnim ustanovama i pojedincima;
4. ustanova je obavezna da čuva podatke o individualnoj i kumulativnoj dozi zračenja koju je pacijent primio [13].

S obzirom na nepotpunu infrastrukturu, državama članicama je ostavljen period do 1. siječnja 2018. godine da u potpunosti prilagode svoje sustave navedenom zakonskom rješenju.

Bosna i Hercegovina, na svom putu prema EU, obavezna je prilagođavati svoje zakone zakonima EU. Postojeća zakonska rješenja u smislu zaštite od zračenja u najvećoj su mjeri usklađena sa zakonodavstvom EU i dalje se dorađuju [14].

Međutim, proces prilagođavanja je veoma složen. To se pokazalo na primjeru brojnih ustanova u EU koje su potrošile znatna sredstva (npr. vrijeme za evaluaciju i trening, financijska sredstva za novu opremu itd.), ali nisu unaprijedile sigurnost pacijenta jer racionalni i razumljivi indikatori kao Volume Computed Tomography Dose Index vol (CTDI vol), Size Specific Dose Estimate (SSDE) i kumulativna doza nisu uzimani u razmatranje zbog vremena potrebnog za manuelno prikupljanje i obradu ovih informacija za svaki CT pregled pojedinačno.

Povećanjem broja pregleda u kojima se koristi ionizujuće zračenje, zdravstvene ustanove se, kako je vidljivo iz prethodnih podataka, suočavaju s mnogim izazovima:

1. prilagođavanje radijacijskih doza zakonskoj regulaciji,
2. primjena najbolje prakse u upravljanju radijacijskim dozama i njeno dokumentiranje,
3. smanjenje troškova.

Diskusija

Brojni autori su se bavili praktičnom aplikacijom nominalnih koeficijenata rizika za razvoj malignih oboljenja kao posljedice medicinskog zračenja. U studiji "Projected

Cancer Risks From Computed Tomographic Scans Performed in the United States in 2007” [4] procijenjeno je da će se u Sjedinjenim Američkim Državama pojaviti 29.000 novih malignih bolesti kao posljedica 70 milijuna CT pretraga u 2007. (porast rizika u odnosu na opću populaciju za oko 0,041%). Slične studije u Bosni i Hercegovini su pokazale projekciju povećanog rizika od oko 0,05%, uzimajući u obzir doze kojima su izloženi pacijenti. U studiji objavljenoj u *New England Journal of Medicine*, 2009. godine (Exposure to Low-Dose Ionizing Radiation from Medical Imaging Procedures in the United States) navedeno je sljedeće: “U zaključku, naši rezultati ukazuju na to da obrazac medicinskog imaginga u Sjedinjenim Američkim Državama rezultira znatnom izlaganju velikog broja mlađih osoba ionizirajućem zračenju. Neophodno je ohrabriti razvoj novih pristupa u optimizaciji i osiguranju ispravnog korištenja ovih procedura.” [2]. Dakle, realno je za očekivati da se svake godine u Bosni i Hercegovini inducira gotovo stotinu novih slučajeva malignih bolesti.

Troškovi godišnje terapije, njege i praćenja jednog pacijenta s malignom bolesti, ovisno o tipu bolesti i fazi u kojoj se nalazi kreću se od nekoliko tisuća pa do nekoliko stotina tisuća konvertibilnih maraka.

Na osnovu porasta broja pregleda na CT-u i potencijalnog rizika od indukcije malignih bolesti postoji velika odgovornost na strani zdravstvenih radnika te regulatornih organa u smislu optimizacije doze zračenja. Optimizacijom doze, uz izbjegavanje nepotrebnog ozračivanja, neželjeni efekti medicinskog zračenja mogu se u značajnoj mjeri reducirati.

Zaključci

Softverska rješenja su se, po prirodi CT dijagnostike kao visoko-tehnološkog procesa, nametnula kao moguće rješenje. Uvođenjem dose management softwara, praćenje doze koju primi pacijent može se uraditi brzo, razumljivo i potpuno automatizirano. Pored toga, analiza velikog broja podataka može pružiti radiolozima, inženjerima, fizičarima, kontrolnim organima itd. uvid u CT distribuciju doze, produktivnost i utilizaciju kapaciteta te se na osnovu toga može planirati raspodjelu posla i ostale aktivnosti na unapređenju kvalitete i tehnološkog razvoja.

Praksa je pokazala da su ustanove koje su uvele dose management software bile u mogućnosti smanjiti prosječnu efektivnu dozu po CT proceduri za 25–30% [15]. Smanjenjem prosječne efektivne doze i posljedičnim smanjenjem rizika po pacijenta mogu se prevenirati posljedice u smislu razvoja velikog broja malignih bolesti te postići značajne uštede u zdravstvenom sustavu koje daleko prevazilaze cijenu instalacije dose management software-a.

Reference

- [1] The Council of the European Union. Council Directive 97/43/Euratom of 30 June 1997 on health protection of individuals against the dangers of ionizing radiation in relation to medical exposure, and repealing Directive 84/466/Euratom. Official Journal of the European Union. 1997;180:22–272.
- [2] Fazel R, Krumholz HM, Wang Y, Ross JS, Chen J, Ting HH, et al. Exposure to Low-Dose Ionizing Radiation from Medical Imaging Procedures in the United States. *N Engl J Med*. 2009 Aug 27;361:849–57.
- [3] Little MP, Wakeford R, Tawn EJ, et al. Risks associated with low doses and low dose rates of ionizing radiation: why linearity may be (almost) the best we can do. *Radiology*. 2009;251(1):6–12.
- [4] Pierce DA, Preston DL. Radiation-induced cancer risks at low doses among atomic bomb survivors. *Radiat Res*. 2000;154:178–86.
- [5] US National Academy of Sciences, National Research Council, Committee to Assess Health Risks from Exposure to Low Levels of Ionizing Radiation. Health Risks from Exposure to Low Levels of Ionizing Radiation. BEIR VII Phase 2. Washington, DC: National Academies Press. 2006.
- [6] Berrington de González A, Mahesh M, Kim KP, Bhargavan M, Lewis R, Mettler F, et al. Projected Cancer Risks From Computed Tomographic Scans Performed in the United States in 2007. *Arch Intern Med*. 2009;169(22):2071–7.
- [7] NCRP. Ionizing radiation exposure of the population of the United States. NCRP Report 160. National Council on Radiation Protection and Measurements. Bethesda, Maryland. 2009.
- [8] Wall BF, Hart D. Revised radiation doses for typical x-ray examinations. *The British Journal of Radiology*. 1997;70:437–9.
- [9] ICRP. 1990 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 60. *Ann ICRP*. 1991;21(1–3).
- [10] Smith-Bindman R, Lipson J, Ralph M, Kim KP, Mahesh M, Gould R, et al. Radiation dose associated with common computed tomography examinations and the associated lifetime attributable risk of cancer. *Arch Intern Med*. 2009;169(22):2078–86.
- [11] Lin CE. Radiation risk from medical imaging. *Mayo Clin Proc*. 2010; 85(12):1142–46.
- [12] Sistrom CL. The ACR appropriateness criteria: translation to practice and research. *J Am Coll Radiol*. 2005;2(1):61–67.
- [13] The Council of the European Union. Council Directive 2013/59/Euratom of 5 December 2013 laying down basic safety standards for protection against the dangers arising from exposure to ionising radiation, and repealing Directives 89/618/Euratom, 90/641/Euratom, 96/29/Euratom, 97/43/Euratom and 2003/122/Euratom. Official Journal of the European Union. 2013;13:1–75.
- [14] Pravilnik o zaštiti od ionizirajućeg zračenja kod medicinske ekspozicije. “Službeni glasnik BiH” broj 13/11.
- [15] Schindera ST, Treier R, von Allmen G, Nauer C, Trueb PR, Vock P, et al. An education and training programme for radiological institutes: impact of the reduction of CT radiation dose. *Eur Radiol*. 2011;21(10):2039–45.

THE EXPOSURE OF POPULATION TO IONIZING RADIATION FOR MEDICAL PURPOSES: RISK ASSESSMENT, MONITORING, CONTROL AND REPORT OF RADIATION DOSES

Abstract

The use of ionizing radiation for diagnostic and therapeutic purposes has been constantly increasing in the world. In order to diagnostic and therapeutic procedures that use ionizing radiation be approved for use, they must show sufficient utility of the relationship of the total potential diagnostic or therapeutic procedures, including the direct health benefits for the individual and the benefit for society as a whole, and the potential damage that could be caused to the individuals health. Some methods have shown positive impact on the final outcome of the diagnostic and therapeutic treatment of some patients. According to data from 2009, about 75% exposure to medical radiation comes from computer tomography and nuclear medicine procedures. The study "Projected Cancer Risks From computed tomographic Scans Performed in the United States in 2007" estimated that in the United States 29,000 new malignancies are developed as a result of 70 million CT examinations in 2007. (The increase in risk compared to the general population of about 0.041%). Similar studies in Bosnia and Herzegovina have shown an increased risk of projection of about 0.05%, taking into account the dose which patients are exposed to. In conclusion we can say that the reduction in the average effective dose and a consequent reduction in the risk to the patient can prevent the consequences in terms of the development of a large number of malignant diseases and achieve significant savings in the health system, which far exceeds the cost of installation dose management software.

Key words: ionizing radiation, health care.

OBUKA OSOBA PROFESIONALNO IZLOŽENIH JONIZIRAJUĆEM ZRAČENJU KOJE SU UKLJUČENE U PRIPREMU I PROVOĐENJE MEDICINSKE EKSPOZICIJE

Davorin Samek¹, Mehidin Sirbubalo², Advan Drljević³, Emir Dizdarević²

¹Katedra za radiobiologiju sa radijacionom higijenom i biofiziku i zaštitu životne sredine, Zavod za higijenski nadzor namirnica i zaštitu životne sredine, Laboratorija za kontrolu radioaktivnosti, Veterinarski fakultet Univerziteta u Sarajevu

²Državna regulatorna agencija za radijacijsku i nuklearnu sigurnost

³Služba za medicinsku fiziku i radijacionu sigurnost, Klinički centar Univerziteta Sarajevo

Autor za korespondenciju:

Davorin Samek

davorin@lol.ba, davorin.samek@gmail.com

Lektor i prevodilac za engleski jezik: Rade Marković

Lektorica za bosanski jezik: Zenaida Karavdić

Primljen: 2016, prihvaćen: 2017, objavljen: 2018.

Apstrakt

Cilj ovoga rada je da se sagleda uloga i odgovornost svih institucija i pojedinaca odgovornih za uspostavljanje i održavanje sistema obuke iz oblasti zaštite od jonizirajućeg zračenja u BiH i daju preporuke u cilju implementacije odgovarajućih međunarodnih standarda. Izvršena je analiza zahtjeva priznatih međunarodnih standarda iz oblasti obuke iz zaštite od jonizirajućeg zračenja, kao i analiza odgovarajućih važećih propisa te stepena implementacije međunarodnih standarda u važećim propisima BiH. Državno regulatorno tijelo je uspostavilo regulatorni okvir u skladu s međunarodnim standardima iz oblasti obuke iz zaštite od jonizirajućeg zračenja u okviru svojih nadležnosti. Međutim, implementacija regulatornog okvira se ne odvija u skladu s predviđenim rokovima. Obuka iz oblasti zaštite od jonizirajućeg zračenja koja čini dio kurikuluma ključnih profesija u medicinskoj ekspoziciji nije u potpunosti implementirana od strane za to nadležnih tijela. Na osnovu izvršene analize postojećeg stanja u oblasti obuke iz zaštite od jonizirajućeg zračenja date su preporuke za punu implementaciju međunarodnih standarda u BiH.

Ključne riječi: obuka iz zaštite od jonizirajućeg zračenja, standardi iz oblasti zaštite od jonizirajućeg zračenja, radnici izloženi jonizirajućem zračenju, zakonska regulativa iz oblasti zaštite od jonizirajućeg zračenja.

Uvod

Međunarodni standardi za zaštitu od jonizirajućeg zračenja i radijacijsku sigurnost u svojim zahtjevima definiraju uspostavljanje zakonskog i regulatornog okvira za obuku iz oblasti zaštite od jonizirajućeg zračenja u državama članicama Međunarodne agencije za atomsku energiju (IAEA) [1]. Ovi zahtjevi su bazirani na preporukama Međunarodne komisije za zaštitu od zračenja i obuhvataju odgovornosti vlada država članica, državnog regulatornog tijela, nosilaca autorizacije za obavljanje djelatnosti s izvorima zračenja i radnika profesionalno izloženih jonizirajućem zračenju [2].

Također, nova evropska direktiva zahtijeva od država članica EU uspostavu legislativnog i administrativnog okvira kojim se osiguravaju odgovarajuća obuka i edukacija iz oblasti zaštite od jonizirajućeg zračenja, kao i osiguranje protoka informacija svim pojedincima čiji zadaci zahtijevaju specifične kompetencije u zaštiti od jonizirajućeg zračenja [3].

Zakon o radijacijskoj i nuklearnoj sigurnosti BiH zahtijeva uspostavljanje i održavanje regulatornog programa za izvore jonizirajućeg zračenja, u skladu s međunarodnim standardima o sigurnosti izvora zračenja i za zaštitu od jonizirajućeg zračenja [4]. Na osnovu Zakona o radijacijskoj i nuklearnoj sigurnosti BiH osnovana je Državna regulatorna agencija za radijacijsku i nuklearnu sigurnost (DRARNS), kao državno regulatorno tijelo u ovoj oblasti. Jedna od najbitnijih zakonskih obaveza DRARNS-a je donošenje propisa iz oblasti zaštite od zračenja kod profesionalnog izlaganja, medicinskog izlaganja i izlaganja stanovništva jonizirajućem zračenju. U tom smislu DRARNS je tokom 2015. godine objavio dva podzakonska akta kojima se uspostavlja sistem obuke u oblasti zaštite od jonizirajućeg zračenja u BiH [5,6].

Cilj ovoga rada je da se izvrši analiza postojećeg stanja, sagledaju uloga i odgovornost svih institucija i pojedinaca odgovornih za uspostavljanje i održavanje sistema obuke iz oblasti zaštite od jonizirajućeg zračenja u BiH i daju preporuke u cilju implementacije odgovarajućih međunarodnih standarda.

Edukacija, tj. sistem obrazovanja iz zaštite od jonizirajućeg zračenja, koja predstavlja jedan od uvjeta za priznavanje kvalificiranosti od strane nadležnih institucija, nije predmet razmatranja u ovom radu.

Pregled međunarodnih standarda i regulative BiH iz oblasti zaštite od jonizirajućeg zračenja

Pod profesionalnim izlaganjem jonizirajućem zračenju podrazumijeva se izlaganje radnika, osoba na obuci i studenata u toku rada s izvorima jonizirajućeg zračenja. Međunarodni standardi za zaštitu od jonizirajućeg zračenja i radijacijsku sigurnost sadrže sljedeće opće zahtjeve vezane za zaštitu od zračenja kod profesionalnog izlaganja [1]:

1. Uspostavljanje regulatornog sistema – Nadležni državni organi moraju uspostaviti i održavati regulatorni sistem za zaštitu od jonizirajućeg zračenja i radijacijsku

sigurnost te moraju uspostaviti nezavisno regulatorno tijelo sa specifičnim odgovornostima i funkcijama.

Posebno i vezano za obuku profesionalno izloženih osoba, nadležni državni organi moraju osigurati da su uspostavljeni zahtjevi za edukaciju, obuku, kvalifikacije i kompetentnost u oblasti zaštite i sigurnosti svih osoba koje učestvuju u aktivnostima relevantnim za zaštitu i sigurnost.

2. Odgovornosti državnog regulatornog tijela – Regulatorno tijelo mora uspostaviti ili usvojiti propise i uputstva za zaštitu od jonizirajućeg zračenja i radijacijsku sigurnost te mora uspostaviti regulatorni sistem u skladu s međunarodnim standardima kojim se osigurava njihova implementacija.

Regulatorno tijelo mora osigurati primjenu zahtjeva za obuku, zaštitu i kompetentnost u oblasti zaštite i sigurnosti svih osoba koje učestvuju u aktivnostima relevantnim za zaštitu i sigurnost.

3. Odgovornosti za zaštitu i sigurnost – Pravno lice ili organizacija odgovorna za radiološke objekte ili aktivnosti koje utječu na porast radijacijskog rizika moraju imati primarnu odgovornost za zaštitu i sigurnost. Ostala pravna i fizička lica moraju imati specifične odgovornosti za zaštitu i sigurnost.

Posebno i vezano za obuku iz oblasti zaštite od jonizirajućeg zračenja, pravna lica koja imaju odgovornosti vezane za zaštitu i sigurnost moraju osigurati da sve osoblje koje učestvuje u aktivnostima relevantnim za zaštitu i sigurnost ima odgovarajuću edukaciju, obuku i kvalifikacije, tako da može razumjeti svoje odgovornosti i obavljati dužnosti kompetentno, s odgovarajućom procjenom i u saglasnosti s uspostavljenim procedurama.

4. Prevencija i otklanjanje posljedica akcidenata – Nosioci autorizacije za obavljanje djelatnosti s izvorima jonizirajućeg zračenja moraju primjenjivati principe zaštite od jonizirajućeg zračenja i moraju preduzeti sve mjere u sprečavanju nastanka akcidenata, kao i otklanjanju posljedica akcidenata, uključujući informiranje, instrukcije i obuku radnika.

5. Odgovornosti poslodavaca i nosilaca autorizacije za zaštitu osoba profesionalno izloženih jonizirajućem zračenju – Poslodavci i nosioci autorizacije moraju biti odgovorni za zaštitu radnika od profesionalnog izlaganja jonizirajućem zračenju. Oni moraju osigurati optimiziranost zaštite i sigurnosti te da granice doze za profesionalno izlaganje ne smiju biti prekoračene. Također, poslodavci i nosioci autorizacije moraju obezbijediti odgovarajuće ljudske resurse i odgovarajuću obuku iz zaštite od jonizirajućeg zračenja i radijacijske sigurnosti, kao i periodičnu ponovnu obuku u cilju osiguranja potrebnog nivoa kompetentnosti.

6. Odgovornost osoba profesionalno izloženih jonizirajućem zračenju – Osobe profesionalno izložene jonizirajućem zračenju moraju ispuniti svoje obaveze i obavljati dužnosti vezane za zaštitu i sigurnost.

Osobe profesionalno izložene jonizirajućem zračenju moraju prihvatiti informacije, instrukcije i obuku iz oblasti zaštite od jonizirajućeg zračenja i radijacijske

sigurnosti, što će im omogućiti obavljanje djelatnosti u skladu sa zahtjevima međunarodnih standarda.

7. Informacije, instrukcije i obuka – Poslodavci i nosioci autorizacije moraju obezbijediti osobama profesionalno izloženim jonizirajućem zračenju adekvatne informacije, instrukcije i obuku o zaštiti i sigurnosti.

Poslodavci u saradnji s nosiocima autorizacije moraju voditi evidenciju o obuci provedenoj za svaku pojedinu osobu profesionalno izloženu jonizirajućem zračenju.

8. Posebni aranžmani za zaštitu i sigurnost za osobe ženskog spola profesionalno izložene jonizirajućem zračenju i učenike ispod 18 godina starosti koji učestvuju u obuci za obavljanje djelatnosti s izvorima jonizirajućeg zračenja – Poslodavci i nosioci autorizacije moraju sačiniti posebne aranžmane za trudnice i dojilje koje su osobe profesionalno izložene jonizirajućem zračenju, kao i učenike ispod 18 godina starosti koji učestvuju u obuci za obavljanje djelatnosti s izvorima jonizirajućeg zračenja.

Nova evropska direktiva također iznosi dodatne zahtjeve za edukaciju, obuku i informiranje u oblasti zaštite od jonizirajućeg zračenja za države članice Evropske unije [3]. Dodatni zahtjevi se odnose na obuku i informiranje osoba profesionalno izloženih jonizirajućem zračenju koje mogu biti potencijalno izložene izvorima jonizirajućeg zračenja nepoznatog vlasnika i zatvorenim izvorima visoke aktivnosti te na edukaciju, obuku i informiranje u oblasti medicinske ekspozicije.

Međunarodna komisija za zaštitu od zračenja je u publikaciji ICRP No. 113 dala smjernice za provođenje edukacije i obuke iz oblasti zaštite od jonizirajućeg zračenja za zdravstvene radnike i studente [7].

Državna regulatorna agencija za radijacijsku i nuklearnu sigurnost na osnovu zakonskih ovlaštenja objavila je niz podzakonskih akata/pravilnika kojima se uspostavlja sistem za zaštitu od zračenja u skladu s međunarodnim standardima i novom evropskom direktivom [1,3]. DRARNS je tokom rada na popisima nastojao da u što većoj mjeri ispuni zahtjeve navedenih standarda i time uspostavi savremen sistem za zaštitu od zračenja u BiH. U daljem tekstu izvršit će se analiza postojećeg stanja u oblasti zaštite od jonizirajućeg zračenja, s posebnim akcentom na sistem obuke osoba profesionalno izloženih jonizirajućem zračenju. U periodu od 2010. do 2016. godine DRARNS je objavio 28 pravilnika, od kojih se dva direktno odnose na obuku osoba profesionalno izloženih jonizirajućem zračenju [5,8], a dva djelomično [6,9].

“Pravilnik o obuci iz zaštite od jonizirajućeg zračenja” uspostavlja sistem obuke iz zaštite od zračenja za sve osobe koje direktno ili indirektno učestvuju u obavljanju djelatnosti s izvorima jonizirajućeg zračenja [5]. Obuku obavljaju autorizirani servisi i službe za zaštitu od zračenja i medicinsku fiziku autorizirane od strane DRARNS-a.

“Pravilnik o tehničkim servisima za zaštitu od jonizirajućeg zračenja” propisuje uvjete za autorizaciju tehničkog servisa za obavljanje obuke iz zaštite od jonizirajućeg zračenja u svim djelatnostima, uključujući i obuku osoba profesionalno izloženih

jonizirajućem zračenju. Da bi DRARNS autorizirao tehnički servis za obavljanje obuke iz zaštite od jonizirajućeg zračenja, pravno lice koje podnosi zahtjev za autorizaciju, pored općih uvjeta, mora zadovoljavati uvjete Pravilnika koji se odnose na stručni kadar u radnopravnom statusu, tj. mora imati eksperta za zaštitu od zračenja u oblasti iz koje će vršiti obuka, odgovarajuću opremu i prostor za obavljanje djelatnosti. Zahtjevi ovog pravilnika se odnose na vanjske tehničke servise koji pružaju usluge trećim licima.

“Pravilnik o zaštiti od zračenja kod profesionalne ekspozicije i ekspozicije stanovništva” propisuje da je nosilac autorizacije dužan informirati osobe profesionalno izložene jonizirajućem zračenju, učenike i studente koji tokom studija koriste izvore jonizirajućeg zračenja o radiološkim rizicima i tehničkim, medicinskim i administrativnim zahtjevima, pravilima i procedurama zaštite od jonizirajućeg zračenja i mjerama opreza koje moraju preduzimati u odnosu na djelatnost općenito i u odnosu na vrstu radnog mjesta koje im se može dodijeliti. Također, nosilac autorizacije je dužan osigurati osobama profesionalno izloženim jonizirajućem zračenju, osobama na obuci, učenicima i studentima adekvatnu obuku u oblasti zaštite od zračenja, na nivou koji je u skladu s njihovim odgovornostima i rizikom od izlaganja na radnom mjestu.

“Pravilnik o Službi za zaštitu od zračenja i medicinsku fiziku” definira koja su pravna lica dužna u svom sastavu imati Službu za zaštitu od zračenja i medicinsku fiziku. Služba je unutrašnji tehnički servis za zaštitu od jonizirajućeg zračenja, koji između ostalih poslova obavlja i obuku osoba profesionalno izloženih jonizirajućem zračenju u pravnom licu u čijem sastavu se nalazi Služba. Služba mora biti autorizirana od strane DRARNS-a za obavljanje svojih poslova. Ovaj pravilnik definira zahtjeve za stručni kadar u radnopravnom statusu, odgovarajuću opremu i prostor za obavljanje obuke.

Dodatno, “Pravilnik o priznavanju statusa kvalificiranog eksperta” propisuje uvjete vezane za edukaciju i obuku koju kandidat mora posjedovati da bi mu se priznao status eksperta za zaštitu od zračenja u medicinskim djelatnostima. Za eksperta za zaštitu od zračenja u medicinskim djelatnostima odredbe pravilnika preciziraju temeljno obrazovanje, radno iskustvo i dodatnu obuku iz zaštite od zračenja u skladu s međunarodnim standardima [3,10]. “Pravilnik o licu odgovornom za zaštitu od zračenja” definira zahtjeve za obuku koju je kandidat dužan pohađati da bi bio imenovan za lice odgovorno za zaštitu od zračenja u medicinskim djelatnostima [11,12].

Analiza i diskusija

Analizom važećih propisa u oblasti zaštite od jonizirajućih zračenja u BiH i njihovim poređenjem s međunarodnim standardima utvrđeno je da je Zakon o radijacijskoj i nuklearnoj sigurnosti u BiH u skladu sa zahtjevima međunarodnih standarda, čija je jedna od osnovnih odredbi uspostavljanje regulatornog sistema u ovoj oblasti [1,4]. Također, Zakonom je osnovano nezavisno regulatorno tijelo – Državna regulatorna agencija za radijacijsku i nuklearnu sigurnost. Regulatorno tijelo je donijelo niz

propisa i vodiča kojim se uspostavlja regulatorni sistem u skladu s međunarodnim standardima. Posebno i vezano za obuku u oblasti zaštite od jonizirajućeg zračenja, DRARNS je donio “Pravilnik o obuci iz zaštite od jonizirajućeg zračenja”, kojim se propisuje sadržaj i nivo obuke za sve osobe koje učestvuju u aktivnostima vezanim za zaštitu od zračenja. Zakonom je definirano da primarnu odgovornost za zaštitu od jonizirajućeg zračenja ima vlasnik licence za obavljanje djelatnosti s izvorima jonizirajućeg zračenja. Vezano za prevenciju i otklanjanje posljedica akcidenata, DRARNS je donio “Pravilnik o vanrednim radiološkim događajima u djelatnostima sa izvorima jonizirajućeg zračenja”, kojim je propisano da nosilac autorizacije mora osigurati preduzimanje svih praktičnih mjera, uključujući i obuku [13]. Obuka se provodi u cilju minimiziranja vjerovatnoće nastanka nenamjernih ili akcidentalnih medicinskih ekspozicija, koje se javljaju kao rezultat grešaka u projektiranju i radu medicinske radiološke opreme, grešaka i kvarova softvera ili ljudskih grešaka. Također, DRARNS je donio “Pravilnik o zaštiti od zračenja kod profesionalne ekspozicije i ekspozicije stanovništva” kojim je regulirana zaštita od zračenja osoba profesionalno izloženih jonizirajućem zračenju i definirane odgovornosti nosilaca autorizacije za zaštitu od jonizirajućeg zračenja osoba profesionalno izloženih jonizirajućem zračenju [14].

“Pravilnik o obuci iz zaštite od jonizirajućeg zračenja” propisuje kategorije osoba koje su dužne pohađati obuku iz oblasti zaštite od jonizirajućeg zračenja, koje uključuju i osobe profesionalno izložene jonizirajućem zračenju. Sadržaj i program te obuke za osobe profesionalno izložene jonizirajućem zračenju koje su uključene u pripremu i provođenje medicinske ekspozicije dat je u Aneksu 6 ovog pravilnika, pri čemu su obuhvaćene sljedeće kategorije osoba profesionalno izloženih jonizirajućem zračenju:

- a) doktori medicine i doktori stomatologije:
 - specijalisti radijacijske onkologije
 - specijalisti dijagnostičke radiologije
 - specijalisti nuklearne medicine
 - interventni kardiolozi
 - doktori medicine drugih specijalizacija koji učestvuju u intervenciji
 - ostali medicinski specijalisti koji koriste rendgenske uređaje
 - drugi medicinski specijalisti koji koriste nuklearnu medicinu
 - ostali doktori medicine koji asistiraju kod fluoroskopskih procedura (anesteziolozi)
 - doktori stomatologije
 - doktori medicine koji upućuju na medicinsku ekspoziciju i studenti medicine
- b) zdravstveni profesionalci koji nisu doktori medicine:
 - specijalisti medicinske fizike i medicinski fizičari
 - dipl. inženjeri medicinske radiologije i inženjeri medicinske radiologije, viši radiološki tehničari i radiološki tehničari
 - zdravstveni profesionalci direktno uključeni u procedure s X-zračenjem

- sestre koje asistiraju u dijagnostičkoj radiologiji i nuklearnoj medicini
- stomatološki asistenti i sestre
- inženjeri za održavanje
- kiropraktičari
- radiofarmaceuti i osoblje laboratorija gdje se koriste radionuklidi

Teme obuke su podijeljene u šest poglavlja, a broj sati obuke kreće se od 8 do 40. Stepeni nivoa znanja kojim bi trebali ovladati polaznici kurseva gradirani su u tri nivoa: nivo A, nivo B i nivo C, pri čemu je nivo A najniži zahtijevani nivo znanja koji pokazuje razumijevanje osnovnih principa; nivo B je srednji nivo znanja koji pokazuje osnovno razumijevanje tema, dovoljno da se primjenjuje na djelatnost koja se obavlja, i nivo C zahtijeva najviši nivo znanja i razumijevanja tema, čime bi se omogućio prijenos znanja drugim osobama. Nakon uspješno završenog odgovarajućeg kursa, DRARNS polazniku izdaje uvjerenje o završenom ili pohađanom kursu, koje se može koristiti isključivo za potrebe zaštite od jonizirajućeg zračenja.

Zahtjevi i program obuke dati ovim pravilnikom u skladu su s preporučenim zahtjevima i programom obuke iz zaštite od jonizirajućeg zračenja u dijagnostičkoj i interventnoj radiologiji datim u publikaciji ICRP No. 113 [7].

Kategorizacija osoba profesionalno izloženih jonizirajućem zračenju navedena u ovom pravilniku je u skladu s preporukama ICRP No. 113, s tim što je dodana kategorija specijaliste radijacijske onkologije. Teme obuke, preporučeno trajanje obuke, kao i zahtijevani nivo znanja su u potpunosti u skladu s ICRP No. 113.

Zaključak

1. Regulatorno tijelo – DRARNS – osnovano je Zakonom o radijacijskoj i nuklearnoj sigurnosti u BiH u skladu sa zahtjevima međunarodnih standarda za zaštitu od jonizirajućeg zračenja.
2. DRARNS je objavio niz propisa kojima se uspostavlja sistem zaštite od jonizirajućeg zračenja u BiH.
3. Obuka osoba profesionalno izloženih jonizirajućem zračenju koje su uključene u pripremu i provođenje medicinske ekspozicije je propisana “Pravilnikom o obuci iz zaštite od jonizirajućeg zračenja”.
4. Zahtjevi i program obuke dati ovim pravilnikom u skladu su s preporučenim zahtjevima i programom obuke iz zaštite od jonizirajućeg zračenja u dijagnostičkoj i interventnoj radiologiji datim u publikaciji ICRP No. 113.

Preporuke

1. Jačanje kapaciteta Državne regulatorne agencije za radijacijsku i nuklearnu sigurnost da bi u potpunosti mogla implementirati međunarodne standarde.
2. Unapređenje tehničkih i ljudskih resursa tehničkih servisa za obuku.
3. Posebnu pažnju posvetiti obuci o sigurnom upravljanju i kontroli zatvorenih izvora visoke aktivnosti u medicinskim djelatnostima.

Reference

- [1] International Atomic Energy Agency. Radiation Protection and Safety of Radiation Sources: International Basic Safety Standards. IAEA Safety Standards Series No. GSR Part 3. 2014.
- [2] International Commission on Radiological Protection. The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 103. 2007.
- [3] Official Journal of the European Union L 13. Council Directive 2013/59/Euratom. 2014.
- [4] Zakon o radijacijskoj i nuklearnoj sigurnosti u Bosni i Hercegovini. "Službeni glasnik BiH", broj 88/07.
- [5] Pravilnik o obuci iz zaštite od jonizirajućeg zračenja. "Službeni glasnik BiH", broj 68/15.
- [6] Pravilnik o Službi za zaštitu od zračenja i medicinsku fiziku. "Službeni glasnik BiH", broj 86/15.
- [7] International Commission on Radiological Protection. Education and Training in Radiological Protection for Diagnostic and Interventional Procedures. ICRP Publication 113. 2010.
- [8] Pravilnik o tehničkim servisima za zaštitu od jonizirajućeg zračenja. "Službeni glasnik BiH", broj 68/15.
- [9] Pravilnik o zaštiti od jonizirajućeg zračenja kod medicinske ekspozicije. "Službeni glasnik BiH", broj 13/11.
- [10] Commission of the European Communities. EC 98/C133/03, Official Journal C 133, 30/04/1998 P. 0003. 1998.
- [11] Pravilnik o priznavanju statusa kvalificiranog eksperta. "Službeni glasnik BiH", broj 84/14.
- [12] Pravilnik o licu odgovornom za zaštitu od zračenja. "Službeni glasnik BiH", broj 86/15.
- [13] Pravilnik o vanrednim radiološkim događajima u djelatnostima sa izvorima jonizirajućeg zračenja. "Službeni glasnik BiH", broj 30/16.
- [14] Pravilnik o zaštiti od zračenja kod profesionalne ekspozicije i ekspozicije stanovništva. "Službeni glasnik BiH", broj 102/11.

RADIATION PROTECTION TRAINING OF EXPOSED WORKERS INVOLVED IN PREPARING AND DELIVERING MEDICAL EXPOSURE

Abstract

The objective of this paper is to make an overview of the role and responsibilities of all institutions and individuals that are responsible for establishing and maintaining the radiation protection training system in B&H and to provide recommendations in order to implement the appropriate international standards. An analysis was made for the requirements of international standards in the field of radiation protection training, the current legislation, and the implementation degree of international standards in the currently applicable legislation in B&H. Within its authority, the national regulatory body has established a regulatory framework in accordance with the international standards of radiation protection training. However, the framework implementation does not take place in accordance with the specified deadlines. Radiation protection training, which is a part of the basic curriculum for the key professions in medical exposure, has not been fully implemented by the competent bodies. Based on the analysis of the current situation in radiation protection training, recommendations for the full implementation of international standards in B&H are provided here.

Key words: radiation protection training, radiation protection standards, exposed workers, radiation protection regulation.

UPOTREBA CT-A U DJEČIJOJ DOBI U SVAKODNEVNOM RADU

Sandra Vegar-Zubović¹, Spomenka Kristić¹, Muris Bečirčić²

¹Klinički centar Univerziteta u Sarajevu

²Sarajevo School of Science and Technology, Medical School

Autorica za korespondenciju:

Sandra Vegar-Zubović

sandra.vegar@gmail.com

Prevodilac za engleski jezik: Deniz Bulja

Lektorice za bosanski jezik: Spomenka Kristić i Zenaída Karavdić

Primljen: 2016, prihvaćen: 2017, objavljen: 2018.

Apstrakt

Cilj: Utvrditi posljedice prekomjerne upotrebe CT-a u svakodnevnoj kliničkoj praksi s posebnim osvrtom na pacijente pedijatrijske populacije. *Pozadina:* Premda je CT suverena dijagnostička metoda, njegova prekomjerna upotreba u kliničkoj praksi povećava zabrinutost za mogući rizik za razvoj malignih oboljenja nastalih kao direktna posljedica izlaganja jonizirajućem zračenju od strane CT uređaja. Zabrinutost je još izraženija kod pedijatrijskih pacijenata, s obzirom na njihovu radiosenzitivnost. *Metode:* Pregled novije literature i analiza retrospektivnih studija. *Diskusija:* U studiji provedenoj na 180.000 ispitanika mlađih od 22 godine u Velikoj Britaniji u periodu 1985–2002. godine, Pearce i saradnici su dokazali da kumulativna doza zračenja od 50 mGy kod djece utrostručava rizik za razvoj leukemije, dok kumulativna doza od 60 mGy gotovo utrostručava rizik za razvoj karcinoma mozga. U studiji sprovedenoj u Australiji u periodu 1985–2005. godine na 11 miliona ispitanika starosti 0–19 godina, Mathews i saradnici posmatrali su pojavnost malignih oboljenja u periodu od 10 godina nakon obavljenog CT pregleda. Dokazali su da je incidenca malignih oboljenja kod djece izložene jonizirajućem zračenju za 24% veća nego kod neizložene djece. Rice i saradnici napravili su proračun prema kojem će jedno od 1.000 djece koja obave CT pregled oboljeti od karcinoma. *Zaključak:* Pojava očekivanog broja malignih oboljenja koja su nastala kao direktna posljedica izlaganju jonizirajućem zračenju od strane CT aparata može se smanjiti za čak 62% ako se smanji doza zračenja i reduciraju svi bespotrebno indicirani CT pregledi.

Ključne riječi: povećanje broja CT pregleda, leukemija, karcinom mozga, ALARA pristup.

Uvod

Od samog uvođenja CT-a 70-ih godina prošlog stoljeća u svakodnevnu kliničku praksu bilježi se konstantan porast broja pregleda. Prosječan broj pregleda u periodu 1970–1979. godine na području SAD iznosio je 6,1 pregled na 1000 stanovnika [1]. Broj CT pregleda koji se obavio na području SAD na kraju 1980. godine iznosio je 3,3 miliona [2], a u istoj državi broj obavljenih pregleda u 1998. godini iznosio je 33 miliona [3]. U toku 2000. godine na teritoriju SAD samo kod pacijenata mlađih od 15 godina obavljeno je 2,7 miliona CT pregleda [4], što predstavlja 7,4% od ukupnog broja obavljenih pregleda. Pregledi CT bilježe konstantni rast, tako da je u 2007. godini u SAD urađeno 68,7 miliona pregleda [5]. Na kraju 2011. godine ukupan broj CT pregleda obavljenih u SAD iznosio je 85 miliona [6].

Islam je sa saradnicima [7] u svom članku evidentirao broj CT pregleda u urgentnom centru u Omanu u periodu 2010–2014. godine. Zabilježili su porast pregleda od čak 56%.

U Kliničkom centru Univerziteta u Sarajevu, gdje je toku 2009. godine urađeno ukupno 25.000 CT pregleda, a u toku 2014. godine 40.000. S obzirom na to da na području Kantona Sarajevo živi 438.000 stanovnika, to znači da je 9,1% stanovništva u toku 2014. godine obavilo CT pregled.

Premda je CT veoma suverena dijagnostička metoda, neracionalna upotreba povećala je zabrinutost za mogući rizik razvoja malignih oboljenja nastalih kao direktna posljedica izlaganja jonizirajućem zračenju u toku CT pregleda. Zabrinutost je još izraženija kod pedijatrijskih pacijenata, s obzirom na njihovu radiosenzitivnost.

Metode

Pregled novije literature i analiza retrospektivnih studija

Diskusija

Doze jonizirajućeg zračenja u toku CT pregleda iznose u prosjeku 5–50 mGy za svaki pregledani organ [8]. U početku se rizik za razvoj malignih oboljenja procjenjivao indirektno, naročito nakon apsorbovanih velikih doza zračenja. Prve velike retrospektivne studije pratile su pojavnost malignih oboljenja kod pacijenata koji su preživjeli napad nuklearnom bombom u Japanu [9].

U posljednje vrijeme poseban akcenat u istraživanjima stavlja se na posljedice jonizirajućeg zračenja od CT aparata kod djece, naročito ako se uzme u obzir njihova radiosenzitivnost.

Pearce i saradnici [10] sprovedli su u Velikoj Britaniji retrospektivnu studiju u kojoj su ispitali rizik od nastanka leukemije i karcinoma mozga na 180.000 ispitanika u periodu 1985–2002. godine. Svi ispitanici su u trenutku pregleda imali manje od 22 godine. Leukemija se pojavila kod 74 pacijenta, a karcinom mozga kod 135 pacijenata.

Autori su došli do zaključka prema kojem kumulativna doza zračenja od 50 mGy kod djece gotovo utrostručava rizik za razvoj leukemije, dok kumulativna doza od 60 mGy može utrostručiti rizik za razvoj karcinoma mozga kod djece.

U retrospektivnoj kohortnoj studiji sprovedenoj u Australiji na 11 miliona pacijenata Mathews i saradnici [11] posmatrali su pacijente u periodu od 1. 1. 1985. godine do 1. 1. 2005. godine. Svi pacijenti su u trenutku pregleda imali 0–19 godina i evidentirala se pojavnost malignih oboljenja u periodu od 10 godina nakon obavljenog CT-a. Vršila se usporedba s incidencom malignih oboljenja kod pacijenata koji prethodno nisu izloženi zračenju od strane CT skenera.

Ukupna incidenca pojavnosti malignih oboljenja kod djece i adolescenata koji su bili izloženi zračenju CT aparata veća je za 24% nego kod iste populacije koja nije bila izložena zračenju od CT aparata [12].

Rice i saradnici [12] su u svom preglednom članku pratili rizik od razvoja karcinoma kod pedijatrijske populacije induciran zračenjem CT aparata. Došli su do proračuna prema kojem će jedno od 1.000 djece koje uradi CT vjerovatno oboljeti od fatalnog karcinoma. Ako se ovaj proračun primijeni na podatak prema kojem je u toku 2000. godine na području SAD urađeno 2,7 miliona CT pregleda [4], onda je samo u toj godini 2.700 djece oboljelo od karcinoma zbog jonizirajućeg zračenja CT aparata.

Ista grupa autora je 2007. godine izvršila anketiranje Američke asocijacije dječijih hirurga [13] o potencijalnim rizicima jonizirajućeg zračenja CT aparata. Anketiranje je obuhvatilo 147 dječijih hirurga. Rezultati su pokazali da čak 74% svih ispitanika ne pravi značajnu razliku između ukupne doze ozračivanja između CT-a i standardne radiografije.

Miglioretti i saradnici [14] u svom radu pratili su povezanost jonizirajućeg zračenja i pojave malignih oboljenja na 4.857.736 djece u SAD u periodu 1996–2005. godine. Rizik od razvoja karcinoma induciranog od strane CT aparata bio je izraženiji kod djece mlađe od 5 godina. Prema rezultatima ove studije, kod djevojčica se karcinom induciran jonizirajućim zračenjem CT aparata javljao kod jedne od 300–390 djevojčica koje urade CT abdomena i pelvisa, ovisno o dobi pacijentice. Također, prema rezultatima ove studije karcinom induciran jonizirajućim zračenjem CT aparata javljao se jednoj od 330–480 djevojčica koje urade CT toraksa, kao i jednoj od 270–800 djevojčica koje urade CT kičmenog stuba, ovisno o dobi.

U SAD se godišnje prosječno uradi 4,25 miliona CT pregleda kod djece mlađe od petnaest godina. Ako se uzmu u obzir rezultati ranije navedene studije, svake godine razvije se približno novih 4.870 karcinoma nastalih direktno kao posljedica jonizirajućeg zračenja kod djece mlađe od petnaest godina.

Ako se smanje efektivne doze zračenja prilikom CT skeniranja, broj potencijalnih malignih oboljenja se smanjuje za 43%, odnosno 2.090 djece od očekivanih 4.870 neće dobiti karcinom. Ako se uz ovu činjenicu reduciraju i svi bespotrebno inducirani CT pregledi, broj očekivanih malignih oboljenja se smanjuje za čak 62%, odnosno 3.020 djece od očekivanih 4.870 neće dobiti karcinom [14].

Zaključak

Povećana upotreba CT-a kod djece rezultirala je pojavom velikog broja malignih oboljenja, induciranih jonizirajućim zračenjem CT aparata. Pojavnost očekivanog broja malignih oboljenja može se značajno smanjiti za 62%, ako se smanje efektivne doze zračenja i reduciraju bespotrebno indicirani pregledi. Stoga je kod djece potrebno što dosljednije primjenjivati ALARA pristup.

Porazan podatak prema kojem veliki broj dječijih hirurga na području SAD nije svjestan razlike u kumulativnoj dozi zračenja između standardne radiografije i CT-a govori da je nužno upoznati sve kliničare o potencijalnim opasnostima koje nosi doza jonizirajućeg zračenja primljena prilikom svakog pojedinačnog pregleda od CT aparata.

Reference

- [1] Kalra MK, Maher MM, Toth TL, Hamberg LM, Blake MA, Shepard JA, Saini S. Strategies for CT dose optimization. *Radiology*. 2004 Mar;230(3):619–28.
- [2] Bunge RE, Herman CL. Usage of diagnostic imaging procedures: a nationwide hospital study. *Radiology*. 1987 May;163:569–73.
- [3] Mettler FA, Briggs JA, Carchman R, Altobelli KK, Hart BL, Kelsey CA. Use of radiology in U.S. general short-term hospitals: 1980–1990. *Radiology*. 1993 Nov;189(2):377–80.
- [4] Hall EJ. Lessons we have learned from our children: cancer risks from diagnostic radiology. *Pediatr Radiol*. 2002 Oct;32(10):700–6.
- [5] Hall EJ, Brenner DJ. Cancer risk from diagnostic radiology. *Br J Radiol*. 2008 May;81(965):362–78.
- [6] IMV Medical Information Division. IMV 2012 CT Market Outlook Report. Des Plaines, IL: IMV Medical Information Division. 2012.
- [7] Islam SM, Abru AF, Al Obaidani S, Shabibi SA, AL Farsi S. Trends in CT Request and Related Outcomes in a Pediatric Emergency Department. *Oman Med J*. 2016 Sep;31(5):365–9.
- [8] Kim KP, Berrington de González A, Pearce MS, Salotti JA, Parker L, McHugh K, et al. Development of a database of organ doses for paediatric and young adult CT scans in the United Kingdom. *Radiat Prot Dosimetry*. 2012 Jul;150(4):415–26.
- [9] Shimizu Y, Kato H, Schull WJ. Studies of the mortality of A-bomb survivors. 9. Mortality, 1950–1985: Part 2. Cancer mortality based on the recently revised doses (DS86). *Radiat Res*. 1990 Feb;121(2):120–41.
- [10] Pearce MS, Salotti JA, Little MP, McHugh K, Lee C, Kim KP, et al. Radiation exposure from CT scans in childhood and subsequent risk of leukaemia and brain tumours: a retrospective cohort study. *Lancet*. 2012 Aug;380(9840):499–505.
- [11] Mathews JD, Forsythe AV, Brady Z, Butler MW, Goergen SK, Byrnes GB, et al. Cancer risk in 680 000 people exposed to computed tomography scans in childhood or adolescence: data linkage study of 11 million Australians. *BMJ*. 2013 May;346:f2360.
- [12] Rice HE, Frush DP, Farmer D, Waldhausen JH; APSA Education Committee. Review of radiation risks from computed tomography: essentials for the pediatric surgeon. *J Pediatr Surg*. 2007 Apr;42(4):603–7.

- [13] Rice HE, Frush DP, Harker MJ, Farmer D, Waldhausen JH; APSA Education Committee. Peer assessment of pediatric surgeons for potential risks of radiation exposure from computed tomography scans. *J Pediatr Surg.* 2007 Jul;42(7):1157–64.
- [14] Miglioretti DL, Johnson E, Williams A, Greenlee RT, Weinmann S, Solberg LI, et al. The Use of Computed Tomography in Pediatrics and the Associated Radiation Exposure and Estimated Cancer Risk. *JAMA Pediatr.* 2013 Aug;167(8):700–7.

THE USE OF CT IN CHILDREN IN DAILY WORK

Abstract

Goal: To determine the consequences of excessive use of CT in everyday clinical practice with special emphasis on pediatric patients. *Background:* Although, CT is a sovereign diagnostic method, its excessive use in clinical practice raises concerns about the possible risk for the development of malignant diseases incurred as a direct result of exposure to ionizing radiation by CT devices. The concern is even more increased in pediatric patients, due to their radiosensitivity. *Methods:* Review of recent literature and analysis of retrospective studies. *Discussion:* A study of 180,000 respondents younger than 22 years in the UK in the period between 1985 – 2002, conducted by Pearce and associates shows that the cumulative radiation dose of 50 mGy in children triples the risk of developing leukaemia, while the cumulative dose of 60 mGy nearly triples the risk of developing brain cancer. A study conducted in Australia between 1985 – 2005 within 11 million patients age 0-19, Mathews and associates observed the occurrence of malignant diseases for 10 years after completion of CT scans. They proved that the incidence of malignant diseases in children exposed to ionizing radiation is 24% higher than in unexposed children. Rice and associates¹³ calculated that one of 1,000 children who perform CT scan will get sick from cancer. *Conclusion:* The occurrence of expected number of cancer diseases created as a direct result of exposure to ionizing radiation by CT apparatus can be reduced up to 62% if the radiation dosage and all unnecessary indicated CT examinations are reduced.

Key words: the increasing number of CT scans, leukaemia, brain cancer, the ALARA approach.

ZAŠTITA OD JONIZIRAJUĆEG ZRAČENJA KOD MEDICINSKE EKSPOZICIJE (“VIZUALIZACIJA” RADIJACIJE)

*Haris Huseinagić¹, Mirza Morankić²,
Nihad Mešanović³, Munevera Bećarević⁴*

¹Klinika za radiologiju i nuklearnu medicinu, JZU UKC Tuzla

²Klinika za neurohirurgiju, JZU UKC Tuzla

³Sektor za IT, JZU UKC Tuzla

⁴Evropski univerzitet Kallos, Tuzla

Autor za korespondenciju:

Haris Huseinagić

haris.huseinagic@ukctuzla.ba

Lektorica za engleski jezik: Adisa Imamović

Lektorica za B/H/S jezik: Zenaída Karavdić

primljen: 2017, prihvaćen: 2017, objavljen: 2018.

Apstrakt

Cilj: Sve veća upotreba interventnih radioloških procedura u medicinskoj praksi dovela je do povećanja doze zračenja za pacijente i sve veće zabrinutosti zbog povećanih doza zračenja za osoblje. Ova studija opisuje način vizualizacije rentgenskog zračenja tokom interventne neuroradiološke procedure. *Materijali i metode:* Mjerenja rasipnog zračenja izvršena su pomoću dva alarm digitalna dozimetra (Stephen 6000 serija digitalni dozimetar, Centronics Ltd, Croydon, Engleska). Rasipno zračenje je mjereno u tri ravni (x, y i z). Izodozne krive su kreirane putem logaritamske interpolacije iz tačaka mjerenja zračenja. *Rezultati:* Izodozne krive nastale u tri ravni povezane su u 3D objekat koji predstavlja zračenje, kodirano bojom. Boje su dodane u 3D objekat oblika gljive zračenja u odnosu na izmjerene doze. Zatim, 3D objekat zračenja je projektovan na slikama (fotografijama) i filmovima osoblja tokom izvođenja interventnih neuroradioloških procedura. *Zaključak:* Slike i filmovi s projektovanim 3D objektom koji predstavlja zračenje tokom interventne radiološke procedure alarmantno su bliski reprezentaciji rasipnog zračenja, u određenom trenutku procedura. Primarni cilj bio je vizualizacija zračenja u toku procedure, bez ikakve ideje prikaza ukupnog nivoa rasipnog zračenja u toku procedure. Koristeći najnovije tehnologije (laseri, holografija i snažna računala) moguće je razviti novu vrstu uređaja koji bi u realnom vremenu prikazivali rasipno zračenje, što bi bilo od velike koristiti za osoblje uključeno u procedure.

Ključne riječi: offline vizualizacija zračenja, interventne neuroradiološke procedure, izodozne krive.

Uvod

Pojedinačna doza zračenja koju pacijent primi tokom dijagnostičkih radioloških procedura vrlo često prevazilazi efektivnu dozu zračenja od 100 mSv. Ovakva činjenica bila je potpuno nepoznata i nemoguća u bliskoj prošlosti. Nažalost, danas su ovakvim činjenicama izložene hiljade pacijenata širom svijeta. U praksi je moguće vidjeti pacijente koji u toku jedne kalendarske godine imaju i nekoliko CT pretraga, istog organa ili različitih dijelova tijela. Radijacijske povrede obuhvataju morfološke i funkcionalne promjene koje se javljaju u normalnom tkivu ili tkivima bez prisustva karcinoma, kao direktni rezultat jonizirajućeg zračenja [1]. Promjene i povrede kože se mogu vidjeti kod pacijenata koji su imali teške i dugotrajne interventne radiološke procedure, a naročito procedure na mozgu, u vidu alopecija. U literaturi se sve češće spominju i povrede kože nastale nakon CT pretraga. Razlozi za nastanak ovakvih povreda kože su aparati koji nisu kalibrirani, greške osoblja ili prevelika upotreba CT pretraga. Stepenn radijacione povrede povezan je s ukupnom dozom zračenja, proporcijom tijela koje je ozračeno, zapreminom ozračenog tkiva i vremenskim intervalom primljene doze zračenja [2,3]. Organski sistemi bolje tolerišu ekspozicije niskim dozama zračenja u dužem vremenskom periodu, u odnosu na visoke lokalizovane ekspozicije zračenja ili totalno ozračivanje tijela [2,3]. I pored tehnološkog napretka, radijacijske povrede kože su i dalje ozbiljan problem. Radijacione povrede kože se manifestiraju kao radijacioni dermatitis koji se javlja u 95% slučajeva kod pacijenata na radioterapiji. Promjene kože variraju od blagog eritema do vlažne deskvamacije i ulceracije [4].

Radiološki odjeli su u toku posljednjih dvadeset godina dramatično izmijenili vrstu aktivnosti i manipulaciju i kontrolu doza zračenja. Ranije je aktivnost bila svedena uglavnom na radiografiju i određen, relativno manji broj fluoroskopskih pretraga. Uvođenjem CT u praksu povećana je i proizvedena količina efektivnog zračenja, ali ne dramatično. Poređenje tehnika pretraga danas s tehnikama koje su se koristile u vrijeme kada je CT uveden u praksu pokazuje značajnu promjenu u velikom broju parametara. Jedan od parametara pregleda koji se izmijenio jest razmak između pojedinih ravni skeniranja. U periodu kada je CT uveden u praksu, ovo rastojanje je standardno iznosilo 10 mm ili čak i više. I u ovakvim okolnostima rijetko su se radile pretrage više od jednog sistema ili anatomskog područja. Danas se kao standard kombinuje pretraga abdomena i karlice, a u prošlosti su to bile dvije pretrage. Tehnološki napredak u tehnikama pregleda uvodi u praksu i tanke presjeke, čak i submilimetarske, a kao poseban tehnološki napredak, i posebnu vrstu preklapajućih presjeka.

Kontakt ili rad s jonizujućim zračenjem je regulisan direktivama, preporukama, propisima i zakonima. EUROATOM direktive pretvorene su u Njemačkoj u državne zakone. U Evropi se tek 1984. godine pojavljuju specifične osnovne mjere za zaštitu od zračenja tokom medicinskih pretraga ili tretmana. Značaj direktive je u činjenici da je prvi puta jasno naglašeno da je neophodno izvršiti procjenu kod

svake medicinske upotrebe zračenja [5]. Direktiva je direktno inkorporirana u njemačke propise 1987. godine Röntgenverordnung – RöV i Strahlenschutzverordnung – StrlSchV. Direktiva EUROATOMA, poznata kao Direktiva za zaštitu pacijenata, nastaje kasnije i ima zadatak da harmonizira zakonodavstvo u Evropi u svrhu poboljšanja i pojačanja zaštite pacijenata od jonizujućeg zračenja. Iz direktive proističe i povećanje zahtjeva za opravdanost, optimizaciju, kontinuiranu edukaciju osoblja, kao i kontrolu opreme i uređaja i kontrolu njihovog kvaliteta [6,7].

Endovaskularni tretman intrakranijalnih oboljenja krvnih sudova mozga predstavlja područje koje ima potencijal produkcije relativno visokih radijacijskih ekspozicija i za pacijenta i za medicinsko osoblje koji provodi intervencije. Procedura se sastoji od velikog broja cine slika visokog kvaliteta koje nastaju upotrebom relativno velikih ekspozicionih doza rentgenskog zračenja. Otežavajuća okolnost je i otežano provođenje zaštite osoblja zbog projekcija koje se koriste tokom procedure i nepredvidljivog ugla i obima rasipnog zračenja.

Materijali i metode

Mjerenje rasipnog zračenja je provedeno upotrebom dva alarm digitalna dozimetra (Stephen 6000 series digital dosimeter, Centronics Ltd, Croydon, England) (Slika 1) smještena na numerisanom nosaču dužine jednog metra (Slika 2), 10 i 70 cm od lijevog kraja nosača. Okretanjem nosača za 180 stepeni oko longitudinalne osovine dobijena su i dva dodatna rastojanja (30 i 90 cm) od lijevog kraja nosača.



Slika 1. Dva Stephen 6000 series digitalna dozimetra korištena prilikom mjerenja (a, b)

Tokom neuroradiološke intervencije član tima koji nije bio aktivno uključen u proceduru postavljao je nosač s dozimetrima na unaprijed predefinisane pozicije u obje pozicije, čime je u istoj poziciji izvršio četiri mjerenja (10 cm, 30 cm, 70 cm i 90 cm). Predefinisane su pozicije u sve tri ravni x, y i z, a očitane vrijednosti s LCD displeja dozimetara su kod svakog mjerenja registrovane u pripremljenoj tabeli.



Slika 2. Stephen 6000 digitalni dozimetri postavljeni na nosač i spremni za mjerenje. Na istoj predefinisanoj liniji mjerenja, vršena su simultano četiri mjerenja zbog položaja dozimetara na nosaču. Na dužini od jednog metra, jedan dozimetar na udaljenosti od 10 cm, a drugi dozimetar na udaljenosti od 70 cm od desnog kraja nosača. Obrtanjem nosača za 180 stepeni, detektori postaju udaljeni 30 i 90 cm od desnog kraja nosača. Na predefinisanoj liniji mjerenja registrovane su vrijednosti na 10, 30, 70 i 90 cm.

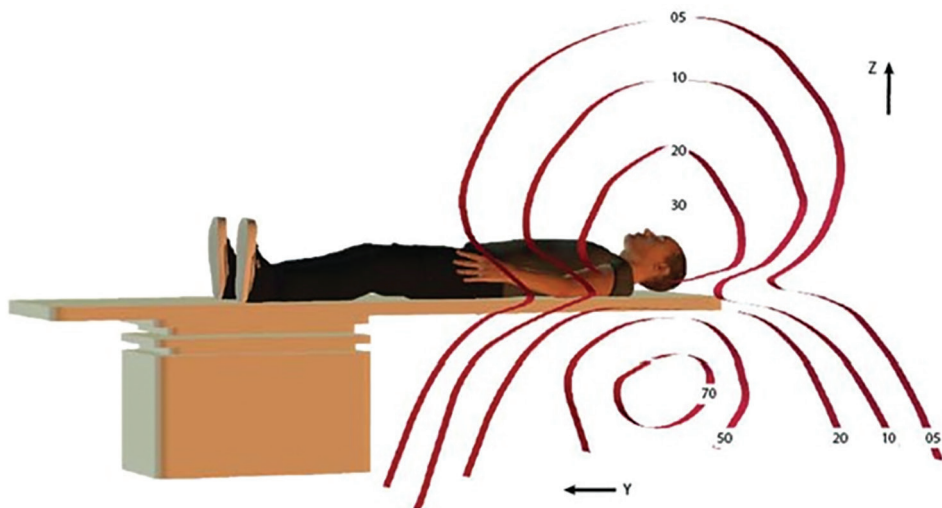
Mjerenja su provedena tokom pet tehnički različitih neuroradioloških procedura (tretman intrakranijalne aneurizme koilovanjem sa stentom, tretman intrakranijalne aneurizme koilovanjem bez stenta, tretman intracerebralne AVM, tretman duralnih fistula i tretman stenozе karotidne arterije upotrebom stenta). Sve procedure izvedene su na istom aparatu Philips Alura 10/20 s ravnim detektorom 30 x 40 cm, stropne konstrukcije, hibridnom aparatu prilagođenom za kardiološke i neurološke intervencije.

Mjerenja su provedena na standardnih 220°C pri prosječnom pritisku od 1007 mm Hg. Pacijenti kojima su tretirane aneurizme i duralna fistula bili su tretirani u općoj anesteziji, a tretman AVM i stenozа karotidnih arterija proveden je bez opće anestezije. Mjerenja su izvedena u standardnoj nultoj poziciji cijevi i detektora, rotacija 0 stepeni i angulacija 0 stepeni.

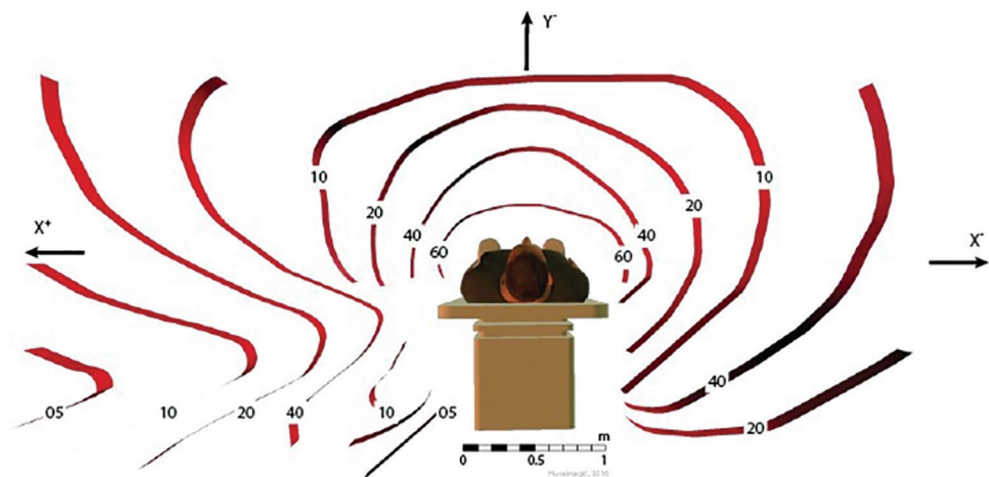
Rezultati

Rezultati mjerenja razdvojeni u tri ravni (x, y i z) služili su da se kreira grafikon rasipnog zračenja za svaku ravan (Slika 3, 4, 5). Nastale izodozne krive predstavljaju grafičku prezentaciju projekcije oblaka zračenja s RTG cijevi u sredini. Svaka izodozna kriva u sve tri projekcije povezana je s određenom bojom i intenzitetom boje koji korespondiraju s intenzitetom registrovanog zračenja. Spajanjem projekcija oblaka zračenja u tri ravni nastala je koordinatna reprezentacija projekcija (Slika

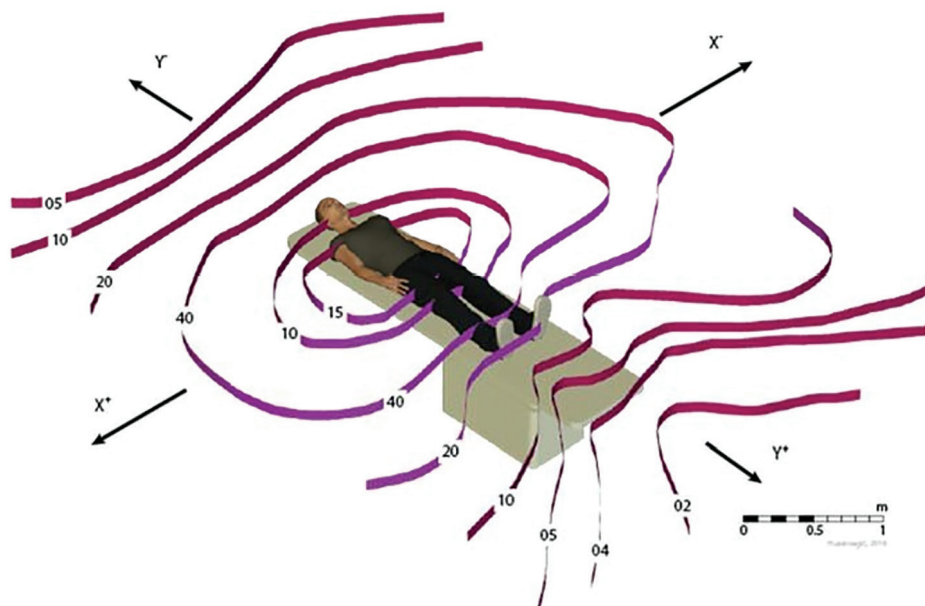
6). Inverznom projekcijom svake ravni u koordinatnom sistemu na mjestu presjeka projekcija kreiran je i vizualiziran i oblak zračenja (Slika 7). Zbog prethodnog kodiranja bojom izodoznih krivih u svakoj projekciji, nastali 3D oblak zračenja je odmah po nastanku bio kodiran bojom.



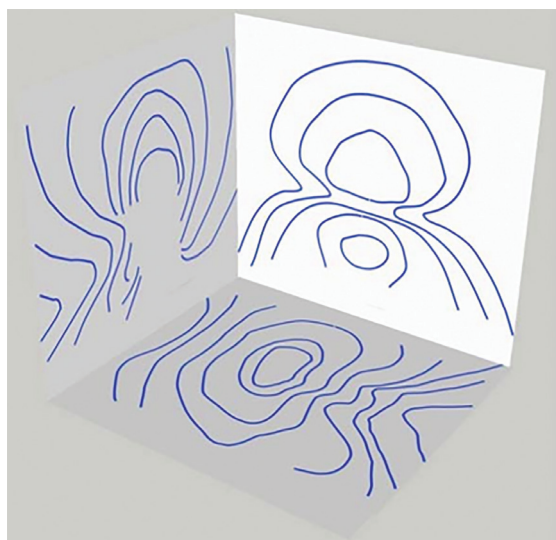
Slika 3. Ilustracija izodoznih krivih nastalih spajanjem vrijednosti mjerenja u lateralnoj projekciji. Izvor zračenja je ispod stola, a detektor iznad lica pacijenta.



Slika 4. Ilustracija izodoznih krivih nastalih spajanjem vrijednosti mjerenja u poprečnoj ravni s obje strane stola



Slika 5. Ilustracija izodoznih krivih nastalih spajanjem vrijednosti mjerenja u horizontalnoj ravni

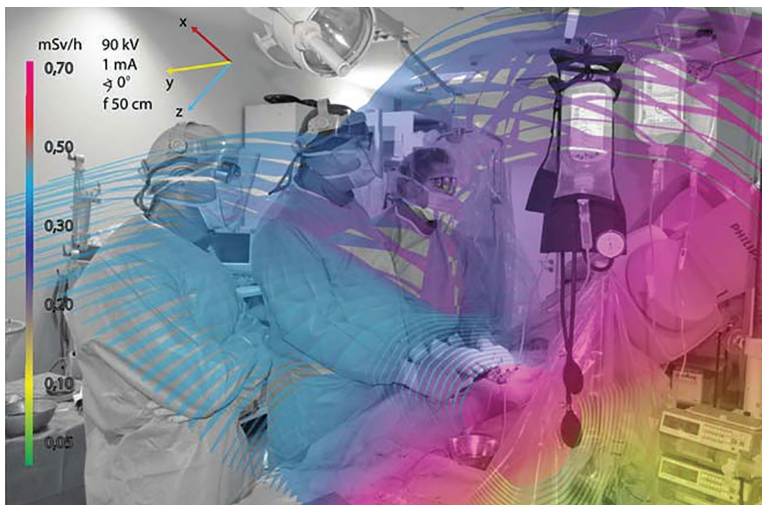


Slika 6. Projekcija izodoznih krivih, nastalih mjerenjem vrijednosti radijacije u tri ravni, prikazanih u koordinatnom sistemu. Intersekcijom projekcije u prostor koordinatnog sistema koji omeđuju stvoreni su uslovi za kreaciju 3D oblaka zračenja.

Nastali 3D bojom kodirani oblak rasipnog zračenja dodatno je projektiran na fotografije i filmove osoblja tokom procedure s različitim radnim pozicijama RTG cijevi (različite angulacije i rotacije) (Slika 8, 9, 10).



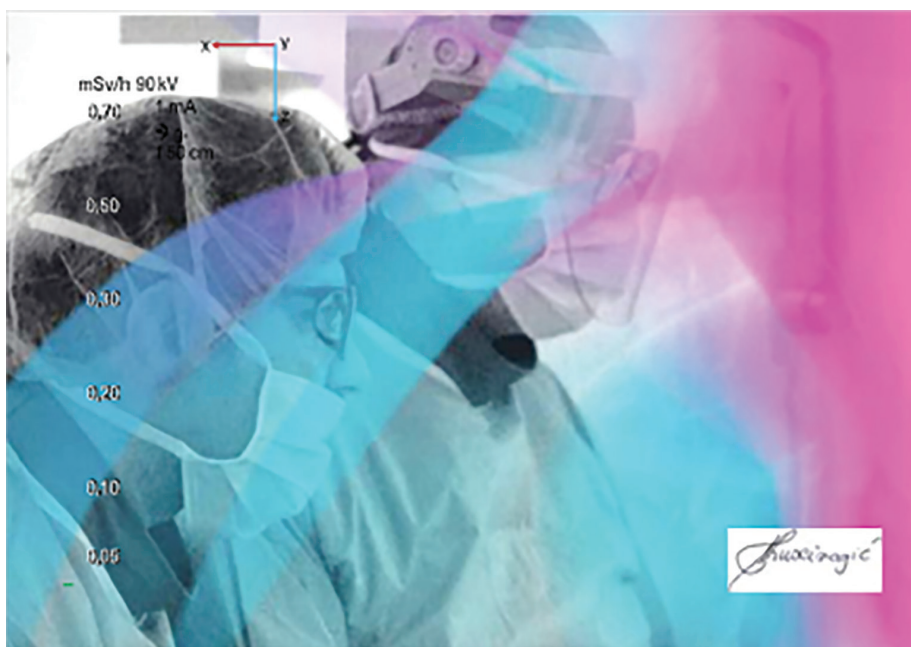
Slika 7. 3D model oblaka rasipnog zračenja kreiranog na osnovu mjerenja rasipnog zračenja u pojedinim ravnima koordinatnog sistema i rekonstrukcijom iz projekcija izodoznih krivulja iz svake ravni koordinatnog sistema



Slika 8. Fotografija na koju je izvršena superpozicija rekreiranog 3D modela oblaka rasipnog zračenja. Oblak rasipnog zračenja je adekvatno kodiran bojama koje korespondiraju skali na lijevoj strani slike. Mjerenja su izvršena pri navedenim kondicijama RTG cijevi (90 kV, 1 mA s fokalnom daljinom od 50 cm).



Slika 9. Položaj osoblja tokom izvođenja neuroradiološke procedure na fotografiji sa superpozicijom 3D modela rasipnog zračenja jasno ukazuje na distribuciju intenziteta rasipnog zračenja u random prostoru, kao i dijelove tijela koji su naročito izloženi zračenju.



Slika 10. Položaj operatora unutar projektovanog virtualnog 3D oblaka rasipnog zračenja. Tokom procedure rasipno zračenje se nalazi na najmanje očekivanim mjestima

Diskusija

Mjerenje apsolutnih vrijednosti rasipnog zračenja potrebno je obavljati što češće i u različitim radnim scenarijima. Vrijednosti koje dobijemo mjerenjem akademskog su značenja i, osim što su valorizacija događaja iz prošlosti, nemaju praktični značaj za osoblje. Tokom interventnih neuroradioloških procedura osoblje će se teško prisjetiti podataka o opasnosti zračenja. Veliki broj kolega nije naučen na fizikalne vrijednosti nastale mjerenjima. Naučeni smo da “vizualizirati” rasipno zračenje nije moguće.

Korištenjem u svakodnevnoj praksi aparata i uređaja lako dostupnih većini kolega involviranih u interventne neuroradiološke procedure moguće je “vizualizirati” rasipno zračenje. Vizualizacija nije apsolutno precizna, niti tačna, jer proces registrovanja i mjerenja ne prati se kontinuirano tokom cijele procedure. Mjerenja načinjena tokom procedura odgovaraju kratkom vremenskom periodu vezanom za ključne dijelove procedura. Moguće je uraditi i kontinuirano mjerenje, a rezultati superimpozicije rezultata ne bi bili postavljeni na slike, već na snimljeni videomaterijal. Oblak rasipnog zračenja bio bi dinamičan, ali u kratkim simuliranim intervalima promjena oblika nije značajna.

Prezentirane kompozitne fotografije sa superpozicijom projektovanog registrovanog rasipnog zračenja imale su veliki utjecaj na kolege koje su promijenile odnos prema izvorima zračenja.

Ovaj rad je demonstracija da je moguće “vizualizirati” zračenje. Tehnika je rudimentarna i retrogradna i nema praktični značaj u realnom vremenu. Kao ideja otvara mogućnosti razvoja novih tehnika i uređaja (lasera, holografskih ekrana) koji bi omogućili da se rasipno zračenje vizualizira i u realnom vremenu.

Zaključak

Rendgensko zračenje tokom rada nije moguće vidjeti. Korištenjem raspoloživih tehnika i jednostavnih dozimetara moguće je izvršiti mjerenja i podatke dobijene mjerenjem pretvoriti u izodozne krive u sve tri ravni koordinatnog sistema. Kombinovanjem izodoznih prikaza radijacije u sve tri ravni koordinatnog sistema u 3D izodozni objekat i njegovom projekcijom na fotografije načinjene tokom rada, vodeći računa o relativnoj poziciji izvora zračenja u prostoriji, moguće je odrediti “opasne” i “sigurnije” zone pored angiografskog stola.

Ovaj rad je demonstracija da je moguće “vizualizirati” zračenje. Tehnika je rudimentarna i retrogradna i nema praktični značaj u realnom vremenu, ali ima u planiranju pozicioniranja osoblja oko angiografskog stola. Kao ideja otvara mogućnosti razvoja novih tehnika i uređaja (lasera, holografskih ekrana) koji bi omogućili da se rasipno zračenje vizualizira i u realnom vremenu.

Reference

- [1] Mendelsohn FA, Divino CM, Reis ED, Kerstein MD. Wound care after radiation therapy. *Adv Skin Wound Care*. 2002;15:216–24. [PubMed: 12368711]
- [2] Cox JD, Ang K. *Radiation Oncology: Rationale, Technique, Results*. 9th. Mosby Elsevier; Philadelphia, PA: 2010.
- [3] Hall E, Giaccia A. *Radiobiology for the Radiologist*. 6th. Lippincott Williams & Wilkins; Philadelphia, PA: 2006.
- [4] McQuestion M. Evidence-based skin care management in radiation therapy: clinical update. *Semin Oncol Nurs*. 2011;27:e1–17. [PubMed: 21514477]
- [5] Salvo N, Barnes E, van Draanen J, Stacey E, Mitera G, Breen D, et al. Prophylaxis and management of acute radiation-induced skin reactions: a systematic review of the literature. *Curr Oncol*. 2010;17:94–112. [PubMed: 20697521]
- [6] International Commission on Radiological Protection: Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 60. Oxford: Pergamon Press 1991.
- [7] United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. Sources and effects of ionizing radiation: UNSCEAR 2008 report to the General Assembly with scientific annexes, vol. 1. New York, NY: United Nations, 2010.

PROTECTION FOR MEDICAL EXPOSURE TO IONIZING RADIATION

Abstract

Objective: The increasing use of image-guided interventional procedures in medical practice led to increasing patient doses of radiation and to increasing concern over staff doses. This study describes the method of offline visualization of x ray radiation during interventional neuroradiology procedures. *Materials and methods:* Scattered radiation measurements were acquired by using two alarm digital dosimeters (Stephen 6000 series digital dosimeter, Centronics Ltd, Croydon, England). Stray radiation air kerma rates were recorded in three planes (x, y and z). Isodose curves were generated using logarithmic interpolation from the measured data points. *Results:* Isodose curves acquired in three planes were connected in 3D object representing radiation, colour encoded. The colours were added to the 3D mushroom of radiation in respect to the measured doses. 3D radiation object than was offline projected over pictures (photography's) and movies of staff during procedures. *Conclusion:* Pictures and movies with projected 3D object representing radiation during image-guided interventional radiology procedures were alarming close representation of scattered radiation, offline and in the specific moment of procedures. The primary goal was visualization of radiation during the procedure, without any idea of calculating total level of scattered radiation during the procedure. Using newest technology (lasers, holography and strong computers) it is possible to develop new kind of devices for the real time visualisation of scattered radiation for the use of staff involved in the procedures.

Key words: offline visualization of x ray radiation, interventional neuroradiology procedures, isodose curves.

RISK ASSESSMENT FROM IONIZING RADIATION IN MAMMOGRAPHY

Suad Kunosić^{1,2}, Enver Zerem^{3,4}, Suada Kunosić⁵, Esmeralda Kicić⁴

¹Department of Physics, Faculty of Natural Sciences and Mathematics, University of Tuzla, BIH

²Department of Biophysics, Medical Faculty, University of Tuzla, BIH

³Department of Medical Sciences, Academy of Sciences and Arts of Bosnia and Herzegovina

⁴Medical Faculty, University of Tuzla, BIH

⁵Department of Physics, General Program Secondary School “Meša Selimović“ in Tuzla, BIH

Corresponding author:

Suad Kunosić

suad.kunosic@untz.ba

Language editor for English language: Emina Smajić Martić

Language editor for Bosnian/Croatian/Serbian language: Zenaida Karavdić

Submitted: 2016, accepted: 2017, published: 2018

Abstract

Objective: This work aims to define patient doses and factors which influence them for all critical groups of patients in routine mammography. *Methods:* A level of risks and benefits of screening mammography is under constant scrutiny. The size which best describes the amount of risk for glandular tissue caused by application of radiation in mammography is called mean glandular dose. One hundred and five patients from 40 to 78 years of age were included in this study from the Department of Radiology of the University Clinical Center Tuzla. Clinical data were collected from 400 mammograms taken from 105 women from routine mammographic screening. The exposure conditions of each mammogram were recorded. The mean glandular dose was calculated based on measuring ESAK, half value layer, kVp, mAs, breast thickness and clinical spectrum. *Results:* Mean MGD for women between 40 and 49 was 1.22 ± 0.47 mGy, for the group between 50 and 64 mean MGD was 1.24 ± 0.45 mGy and 1.23 ± 0.40 mGy for the group between 65 and 78. According to the correlation analysis, there was significant statistical significance between the MGD and a CBT ($r = 0.709$, $p < 0.01$). *Conclusion:* Values of MGD doses ranged within acceptable limits and were somewhat higher due to the extremely high value of compressed breast thickness.

Key words: risk, breast cancer, patient doses, routine mammography.

Introduction

Contemporary radiology is based on prevention of all types of diseases which it examines by its early detection. Mammography is used for prevention and detection of breast cancer as the most reliable radiological diagnostic method. The breast cancer is the most frequently diagnosed type of cancer and it is the leading cause of death among all cancers among women [1]. A sudden growth of its percentage representation in the total number of cancers diagnosed with women positioned it as the leading health problem both in developed and in less developed economies of the world [1–3]. Every year several thousands of new cases of this cancer are diagnosed among women in Bosnia and Herzegovina [4,5]. Due to a very good topographic position and a high degree of mobility of the breast it is possible to diagnose most cancers in their early phase [6,7] with mammography [8,9]. Classical and digital mammography are the most frequently applied in breast cancer detection, in spite of conflicting opinions about their advantages and disadvantages [10–12]. Successfulness of cancer detection greatly depends on quality of clinical screenings, which is ensured through procedures for ensuring quality control (QA), and it causes inability to timely detect and classify a breast cancer and other anomalies detected in a breast. Poor screening quality results in unnecessary exposure to applied radiation doses. Therefore, high-quality mammography represents a key for a long-term control and good results in the breast cancer treatment. In order to achieve conditions necessary for a high-quality mammography each of its procedures has to be justified and optimized [13]. Most studies and researches regarding mammography tend to define risks and benefits [14–17] caused by application of radiation in mammography. The size which best describes risks for glandular tissue caused by application of radiation in mammography is called mean glandular dose (MGD). MGD doses are defined for two critical age groups of patients: 40–49 and 50–64 years of age. It is also necessary to define MGD doses for other patients involved in mammographic diagnostics [5].

Material and methods

One conducted experimental measuring of measurable parameters during routine mammographic diagnostics at the Radiology Clinic at the University Clinical Center Tuzla. All routine examinations during the mammography were performed on a specialized apparatus for breast diagnostics – Siemens Mammomat 3000 Nova (Mo/Mo). This device is connected to a system which performs automatic storing of mammographic screenings with basic information about a patient and used parameters.

During data collection one measured values of anode voltage, reproducibility of a dose and half-value layer (HVL) without a return radiation and compression board, with different kVp settings, according to recommendations of the European Protocol [32] which define frequency and methodology of measuring. Accuracy of measuring of compressed breast thickness was also done by the recommendations of the mentioned protocol. All tests regarding quality control and dosimetry were

performed with Barracuda instrument. In classic mammography (film-screen), Mo/Mo dominates as one of the most frequently applied meta/filter combinations [18] and many mammographic systems have it as the only meta/system combination. The study involved 105 patients from 40 to 78 years of age who satisfy the criteria for involvement into the study. Beside physical, one collected all other available technical, medical and diagnostic parameters.

The following parameters were recorded during diagnostic examinations:

- a) Patient's age,
- b) Applied clinical spectrum (meta/filter combination),
- c) CBT (compressed breast thickness) and projection type (CC, MLO) for every breast,
- d) exposition factors: charge $I \cdot t$ (mAs) and voltage (kVp),
- e) size of applied film (18 x 24 or 24 x 32),
- f) number of previous mammographic examinations undergone by every patient,
- g) possible ultrasound control examinations,

Collected parameters were used for calculation of air kerma strength, filter half-value, conversion factors and doses applied to patients during the routine diagnostic mammography.

MGD was calculated for every mammogram on the basis of conversion factors defined by Dance et al. [31] and calculated ESAK (entrance surface air kerma measured freely in the air without return radiation) with the following relation:

$$MGD = K g c s$$

ESAK for each individual exposition was calculated from applied charge mAs ($I \cdot t$) and exit data for an applied roentgen set in $\mu\text{Gy mAs}^{-1}$ used in the field of exposure. Dance et al. calculated conversion factors for different clinical spectra (meta/filter combination), HVL, compressed breast thickness and breast glandularity.

$G_i c$ are conversion factors which include characteristics of roentgen spectrum and breast composition, i.e. various percentage of adipose and glandular tissue. Factor s includes correction for applied clinical spectrum and all screenings were made with the application of the same clinical spectrum Mo/Mo.

In the most cases of diagnostic examinations one made two screenings for both projections, mediolateral (MLO) and craniocaudal projection (CC) of the left and the right breast. A total number of diagnostic screenings for the complete examination was 4 and for a control examination of one breast it was 2. The results of the research were processed in the software package SPSS 20.0. and shown through a standard deviation. Pearson's coefficient was applied to define a statistical significance between compressed breast thickness and an applied dose. The accepted statistical significance will be at the level $p < 0.05$.

Results and discussion

An average age of all patients covered by the research was 54.32 ± 8.45 years. The youngest patient covered by the research was 40 and the oldest one was 78 (the range is 38 years). A standard mammography is done for two age groups of patients: patients from 40 to 49 years of age and those from 50 to 64 years of age. 84.76% of all patients belonged to one of the previously mentioned age groups of patients. During the research there were 16 patients from 65 to 78 years of age who had to undergo a mammography after a breast ultrasound examination and certain doubts. This is an usual procedure in the algorithm of a breast diagnostic procedure where the ultrasound examination is the first choice for all patients. Due to the newly arisen situation we formed a non-characteristic, third age group. Finally, the patients were grouped by age in to three groups: patients from 40 to 49, patients from 50 to 64 and patients from 65 to 78 years of age [5].

The greatest number of patients included into the research was from the age group from 50 to 64 years of age – 59 patients (56.19%). There were 30 patients (28.57%) from the age group from 40 to 49 years of age and the smallest number of patients came from the age group from 65 to 78 years of age – 16 patients (15.24%). Average age of patients from the age group from 40 to 49 years of age was 44.38 ± 2.62 years while it was 55.97 ± 4.04 years for the patients from the age group from 50 to 64. Average age for the third group of patients from 65 to 78 years of age was 68.63 ± 3.85 years

Table 1. Complete table illustration of performed mammographic screenings, compressed breast thickness and doses applied to patients per age groups

Age group (years)	Number of patients	Number of screenings	CBT \pm SD (mm)	MGD \pm SD (mGy)
40–49	30	116	52.65 ± 11.19	1.22 ± 0.47
50–64	59	230	53.80 ± 12.67	1.24 ± 0.45
65–78	16	54	53.52 ± 13.58	1.23 ± 0.40

*CBT – compressed breast thickness

*MGD – mean glandular dose

During this research the applied voltage ranged from 26 kVp to 33 kVp. The most frequently applied voltages were 28 kVp (32.75%), 30 kVp (48.75%) and 32 kVp (13.75%) while the least frequently applied voltages were 26 kVp (3%), 27 kVp (1.5%) and 33 kVp (0.25%) and 31 kVp was not applied at all.

The need to apply very high voltages of 30 kVp and 32 kVp was caused by very high values of compressed breast thickness, which was 53.43 ± 12.37 mm for all patients from the research. Distribution of compressed breast thickness in mammography was symmetrical to patients' age and it ranged from 20 to 89 mm. The error in defining compressed breast thickness was within ± 1 mm. There was a good

correlation between patients' age group and compressed breast thickness. A similar symmetry was noted in other works [7, 16, 19, 20]. It is known that compressed breast thickness value shows a certain tendency to grow with patients younger than 60 and a tendency to decline with older patients [21], which proved to be true with our researched sample. Mean value of compressed breast thickness for the mediolateral projection was greater than with the craniocaudal projection. This piece of information is very important for understanding of results and explanation of obtained mean glandular doses for breasts.

The same clinical spectrum Mo/Mo was applied during a routine mammography. One made 400 diagnostic screenings (Table 1) for an examination of 105 patients from 40 to 78 years of age. 380 diagnostic screenings were used for a complete mammographic examination of 95 patients and 20 screenings for a control examination of one breast with 10 patients. For a complete mammographic examination one made two screenings for CC and MLO projection respectively. In this way both breasts were completely diagnostically processed, which provided conditions to define all possible anomalies by comparison of the screenings.

Applied MGD doses ranged within the scope of permitted values and prescribed protocols. The smallest values of MGD doses for one mammographic screening were recorded with the third age group 1.23 mGy. MGD doses in the age group from 40 to 49 are for about 2% less in regard to the group from 50 to 64 years of age. This result is the product of the fact that value of compressed breast thickness in the age group from 50 to 64 is on average 2.14% higher in regard to the age group from 40 to 49. MGD dose for the complete mammographic examination of the younger age group (40–49 years of age) was 4.84 mGy, while it was 4.96 mGy with the older age group (50–64 years of age). Values of MGD doses ranged within permitted limits and they were somewhat higher due to extremely high value of compressed breast thickness.

There is a set of studies and published works [16,19,22–24] which treated the problem of MGD doses during a routine mammography. Values of MGD doses match pretty well with results of studies about the Bosnian population [7] and results obtained in studies regarding MGD doses, applied in screen film mammography, for values of compressed breast thickness higher than 50 mm [5,16,19,20].

In comparison with other studies, the obtained dose is within the limit of doses from a study conducted in Sweden [25] which covered a sample of 1,350 patients and a study from Australia which involved 490 patients [26]. A study conducted in Iran which involved 246 patients [27] showed that an MGD dose obtained for a complete mammographic examination in that country is much higher than in Bosnia and Herzegovina and that this the most probably is, as the author of the work states himself, a consequence of poor and insufficient care about quality control. The mentioned studies did not use conversion factors according to Dance while this study did. In Australia they were defined according to Wu, in Sweden according to Rosenstein, in Malesia according to Wu and in Iran according to Sobol. Values of the MGD dose for a complete mammographic examination in Bosnia and Herzegovina

are somewhat higher in regard to results obtained in Malesia with a sample of 300 patients [28] and in regard to the most complete study [29] conducted in the Great Britain which included 8,745 patients. Over 70% of all mammographic diagnostic examinations was done with doses less than 3.5 mGy. According to a correlation analysis there was a significant significance between MGD and CBT ($r = 0.709$, $p < 0.01$) [19,30]. MGD doses applied during the routine mammography ranged from 0.449 mGy for the thinnest compressed breast thickness to over 1 mGy for greater compressed breast thickness in the sample.

Conclusion

Values of MGD doses varied within allowed limits and were something higher due to extremely high values of compressed breast thickness.

References

- [1] Torre LA, Bray F, Siegel RL, Ferlay J, Lortet-Tieulent J, Jemal A. Global cancer statistics, 2012. *CA: a cancer journal for clinicians*. 2015;65(2):87–108.
- [2] Jemal A, Bray F, Center MM, Ferlay J, Ward E, Forman D. Global cancer statistics. *CA: a cancer journal for clinicians*. 2011;61(2):69–90.
- [3] Siegel RL, Miller KD, Jemal A. Cancer statistics, 2016. *CA: a cancer journal for clinicians*, 2016;66(1):7–30.
- [4] Saric S. Breast cancer patient's quality of life compared to correctible risk factors of life style. *HealthMed*, 2009;3(3):267–272.
- [5] Kunosic S, Kunosic S, Davorin S, Halilcevic A. Analysis of application of mean glandular dose and factors on which it depends to patients aged 65 to 80. *Journal of Physical Science and Application* 2013;3(6):387–91.
- [6] Fajdić J. *Suvremena dijagnostika bolesti dojke*. Medicinska naklada. 2001.
- [7] Kunosic S. An Analysis of Application of Mean Glandular Dose and Factors on Which It Depends to Patients of Various Age Groups; *Mammography-Recent Advances*. Nachiko Uchiyama and Marcelo Zanchetta do Nascimento (Ed.), InTech. 2012.
- [8] Elmore JG, Armstrong K, Lehman CD, Fletcher SW. Screening for breast cancer. *Jama* 2005;293(10):1245–56.
- [9] Nelson HD, O'Meara ES, Kerlikowske K, Balch S, Miglioretti D. (). Factors associated with rates of false-positive and false-negative results from digital mammography screening: an analysis of registry data. *Ann. Intern. Med.* 2016;164(4):226–35.
- [10] Pisano ED. Digital Compared with Screen-Film Mammography: Measures of Diagnostic Accuracy among Women Screened in the Ontario Breast Screening Program – Evidence that Direct Radiography Is Superior to Computed Radiography for Cancer Detection. *Radiology* 2016;278(2):311–2.
- [11] Fischmann A, Siegmann KC, Wersbe A, Claussen CD, Müller-Schimpfle M. Comparison of full-field digital mammography and film – screen mammography: image quality and lesion detection. *Br J Radiol.* 2005;78(928):312–5.
- [12] Skaane P. Studies comparing screen-film mammography and full-field digital mammography in breast cancer screening: updated review. *Acta Radiologica* 2009;50(1):3–14.

- [13] Assiamah M, Nam TL, Keddy RJ. Comparison of mammography radiation dose values obtained from direct incident air kerma measurements with values from measured X – ray spectral data. *Appl. Radiat. Isot.* 2005;62:551–60.
- [14] Geeraert N, Klausz R, Muller S, Bloch I, Bosmans H. Evaluation of exposure in mammography: limitations of average glandular dose and proposal of a new quantity. *Radiat Prot Dosim* 2015;165(1-4):342–5.
- [15] Adlien D, Adlys G, Cerapaite R, Jonaitiene E, Cibulskaitė I. Optimisation of X-ray examinations in Lithuania: start of implementation in Mammography. *Radiat Prot Dosim.* 2005;114:399–402.
- [16] Kelaranta A, Toroi P, Timonen M, Komssi S, Kortensniemi M. Conformance of mean glandular dose from phantom and patient data in mammography. *Radiat Prot Dosim* 2015;164(3).
- [17] Dance DR, Sechopoulos I. Dosimetry in x-ray-based breast imaging. *Physics in Medicine and Biology* 2016;61(19):R271.
- [18] Hauge IHR, Pedersen K, Sanderud A, Hofvind S, Olerud HM. Patient doses from screen-film and full-field digital mammography in a population-based screening programme. *Radiat Prot Dosim* 2012;148(1):65–73.
- [19] Kunosic S, Ceke D, Kopric M, Lincender L. Determination of mean glandular dose from routine mammography for two age groups of patients. *HealthMED* 2010;4(1):125–31.
- [20] Beckett JR, Kotre CJ. Dosimetric implications of age related glandular changes in screening mammograph. *Phys.Med.Biol.* 2000;45:801–13.
- [21] Law J, Dance DR, Faulkner K, Fitzgerald MC, Ramsdale ML, Robinson A. *The Commissioning and Routine Testing of Mammographic X-Ray Systems.* The Institute of Physics and Engineering in Medicine. Second ed. 1994.
- [22] Tsapaki V, et al. Investigation of breast dose in five screening mammography centres in Greece. *Journal of Radiological Protection* 2008;28(3):337.
- [23] Xiang DU, et al. Investigation of Mean Glandular Dose in Diagnostic Mammography in China. *Biomedical and Environmental Sciences* 2014;17(5):396–9.
- [24] Kunosic S, et al. Effects of dispersed radiation on the thyroid and the gonads during mammography. *HealthMed* 2011;5(6):1774–81.
- [25] Eklund S, Thilander A, Leitz W, Mattsson S. The impact of anatomic variations of absorbed radiation doses in mammography. *Radiat Prot Dosim* 1993;49:167–70.
- [26] Heggie JCP. Survey of dose in screening mammography. *Australas Phys Eng Sci Med* 1996;19:207–16.
- [27] Bouzarjomehri F, Mostaar A, Ghasemi A, Ebrahimshah MH, Khosravi H. The study of mean glandular dose in mammography in Yazd and the factors affecting it. *Iran. J. Radiol.* Autumn 2006;4(1):29–35.
- [28] Jamal N, Ng KH, Mclean D. A study of mean glandular dose during diagnostic mammography in Malaysia and some of the factors affecting it. *Brit J Radiol* 2003;76:238–45
- [29] Young KC, Burch A. Radiation dose received in the UK Breast Screening Program in 1997 and 1998. *Br J Radiol* 2000;73:278–87.
- [30] Bor D, Tukul S, Olgar T, Toklu T, Aydin E, Akyol O. Investigation of mean glandular dose versus compressed breast thickness relationship for mammography. *Radiat.Prot. Dosim.* 2008;129(1–3):160–4.

- [31] Dance DR, Skinner CL, Young KC, Beckett JR, Kotre CJ. Additional factors for the estimation of mean glandular breast dose using the UK mammography dosimetry protocol. *Phys Med Biol* 2000;45:3225–40.
- [32] Moore AC, Dance DR, Evans DS, Lawinski CP, Pitcher EM, Rust A, Young KC. The commissioning and routine testing of mammographic X-ray systems. *IPEM Report* 89. 2005.

PROCJENA RIZIKA OD JONIZIRAJUĆEG ZRAČENJA KOD MAMOGRAFIJE

Apstrakt

Cilj: Ovaj rad ima za cilj određivanje pacijentnih doza i faktora koji utiču na njih za sve kritične grupe pacijenata tokom rutinske mamografije. *Materijal i metode:* Stepenn rizika i koristi od upotrebe mamografije je pod stalnim ispitivanjem. Veličina koja najbolje opisuje rizik za glandularno tkivo uzrokovano primjenom zračenja u mamografiji naziva se srednja glandularna doza. U studiju je uključeno 105 pacijentica starosne dobi od 40 do 78 godina s Klinike za radiologiju Univerzitetsko-kliničkog centra Tuzla. Klinički podaci su prikupljeni za 400 mamograma načinjenih u svrhu rutinske mamografije 105 pacijentica. Zabilježeni su svi ekspozicioni faktori. Srednja glandularna doza (MGD) je izračunata na osnovu jačine kerme u zraku, kVp, HVL-a, kompresovane debljine dojke, kliničkog spektra i konverzionih faktora. *Rezultati:* Srednja glandularna doza iznosila je $1,22 \pm 0,47$ mGy za starosnu skupinu 40–49 godina, $1,24 \pm 0,45$ mGy za starosnu skupinu 50–64 godine i $1,23 \pm 0,40$ mGy za starosnu skupinu 65–78 godina. Prema korelacionoj analizi postojala je značajna signifikantnost između MGD-a i CBT-a ($r = 0,709$, $p < 0,01$). *Zaključak:* Vrijednosti pacijentnih doza su se kretale u dozvoljenim granicama i bile su nešto više zbog izuzetno visoke vrijednosti kompresovane debljine dojke.

Ključne riječi: rizik, karcinom dojke, pacijentna doza, rutinska mamografija.

PACIJENTNA DOZIMETRIJA KOD NUKLEARNO-MEDICINSKIH I RADIODIJAGNOSTIČKIH PRETRAGA SRCA

Amra Skopljak-Beganović

Služba za zaštitu od zračenja i medicinsku fiziku Kliničkog centra Univerziteta u Sarajevu

Autorica za korespondenciju:

Amra Skopljak-Beganović

amraskopljak@gmail.com

Prevodilac za engleski jezik: Adnan Arnautlija

Lektorica za B/H/S jezik: Zenaída Karavdić

Primljen: 2017, prihvaćen: 2017, objavljen: 2018.

Apstrakt

Broj dijagnostičkih pretraga srca koje uključuju korištenje jonizirajućeg zračenja se znatno povećao u protekloj deceniji. Ljekari koji upućuju pacijente na ove procedure moraju biti svjesni rizika i upoznati s dozama koje su proizvod korištenja jonizirajućeg zračenja koje se koristi kod ovih procedura. U cilju procjene doza za pacijente nakon kardioloških slikovnih metoda obrađeno je 50 pacijenata koji su obavili nuklearno-medicinski scintigrafski pregled perfuzije miokarda (u opterećenju i mirovanju koristeći radiofarmaceutik MIBI Tc-99m), 53 pacijenta koji su bili podvrgnuti konvencionalnoj koronarnoj angiografiji (CA) te 69 pacijenata koji su uradili koronarnu angiografiju kompjuteriziranom tomografijom (CTA). Efektivna doza procijenjena je koristeći različite tehnike za različite dijagnostičke modalitete. Rezultati pokazuju velike razlike kod efektivne doze u zavisnosti od odabrane procedure. Općenito, efektivne doze koje su primile žene veće su od onih koje primaju muškarci.

Ključne riječi: pacijentna dozimetrija, nuklearna medicina, radiodijagnostika, optimizacija.

Uvod

Strategija organizacije dijagnostike, liječenja i prevencije kod kardiovaskularnih oboljenja jedan je od glavnih prioriteta Svjetske zdravstvene organizacije (WHO). U SAD, smrtnost od kardiovaskularnih bolesti je na prvom mjestu smrtnosti pacijenata [1]. U Federaciji BiH smrtnost od kardiovaskularnih bolesti doseže 57% (prema

podacima Federalnog zavoda za statistiku za 2011. godinu) [2]. Smatra se da će do 2030. godine 23 miliona ljudi umrijeti od posljedica kardiovaskularnih oboljenja [3]. Situacija je posebno alarmantna u zemljama s niskim i srednjim nacionalnim dohotkom.

Metode i načini snimanja srca ubrzano se razvijaju u posljednjih nekoliko decenija, što za posledicu ima poboljšanje u postavljanju dijagnoze i liječenja pacijenata. Međutim, još uvijek ne postoji samo jedna dijagnostička metoda koja može da osigura i obezbijedi sve neophodne informacije vezane za kardiovaskularna oboljenja. Metode snimanja srca koje koriste jonizirajuće zračenje kao osnovu za izvođenje pretraga mogu se svrstati u dvije grupe. U prvu grupu spadaju nuklearno-medicinske metode koja koriste γ -zračenje za detekciju oboljenja, a u drugu grupu konvencionalna radiološka snimanja, tj. snimanja koja koriste rendgenska ili x-zračenja, tj. CT angiografija i koronarografija.

Broj kardioloških dijagnostičkih procedura u kojima se koristi jonizirajuće zračenje je iz godine u godinu u porastu. U SAD je 1990. godine bilo oko 3 miliona pregleda u nuklearnoj kardiologiji, dok je 2002. godine taj broj prerastao 9,9 miliona. [4]. Broj CT pregleda srca između 2002. i 2003. godine se udvostručio i svakodnevno raste. Broj kateterizacija srca je porastao s 2,45 miliona 1996. do 3,85 miliona 2002. i svake godine je u porastu [5].

Porast pregleda srca kod kojih se koristi jonizirajuće zračenje dovodi do porasta brige o dozama pacijenata. Kompleksne dijagnostičke intervencije su povezane s visokim pacijentnim dozama i za posledicu mogu imati pojavu radijacijskih ozljeda i povećan rizik od raka.

Tehnike snimanja srca i pacijentna dozimetrija

Glavni razlog mjerenja doza kod različitih tipova medicinskih procedura koje u radu koriste jonizirajuće zračenje je procjena radijacijskih rizika koje te pretrage sa sobom nose.

Nuklearno-medicinske tehnike snimanja srca

Najznačajnija nuklearno-medicinska tehnika snimanja jeste perfuziona scintigrafija miokarda. Perfuziona scintigrafija miokarda je nuklearno-medicinska pretraga koja daje informaciju o stanju srčanog mišića. Prije snimanja perfuzije srčanog mišića, pacijentu se intravenski aplicira radiofarmaceutik Tc-99m i to u stanju mirovanja i poslije u stanju opterećenja. Nakon aplikacije radiofarmaceutika pacijent se snima metodom jednofotonske emisije tomografije (SPECT) na gama kameri.

Procjena doza na organe i određivanje efektivne doze vrši se pomoću antropomorfih modela fantoma koji kvantificiraju biodistribuciju i metabolizam radiofarmaceutika u tijelu. Važno je napomenuti da se efektivna doza i apsorbovana doza ne računaju aritmetički, nego se procjenjuju Monte-Carlo simulacijom i to se preko tkivnih doznih koeficijenata i efektivnih doznih koeficijenata procjenjuje

apsorbovana, odnosno efektivna doza. Tkivni dozni koeficijenti kvantificiraju količinu aktiviteta u specifičnom organu, dok efektivni dozni koeficijenti kvantificiraju efektivnu dozu po jedinici aktiviteta. Dva osnovna metoda računanja u nuklearnoj medicini doza su Radar i MIRD metod.

RADAR ima najjednostavniji pristup u računanju apsorbirane doze. Doza je predstavljena jednadžbom:

$$D = N x DF \quad (4)$$

gdje N predstavlja broj raspada koji se očekuju u organu, a DF je dato izrazom:

$$DF = \frac{k \sum_i y_i E_i \Phi_i}{m} \quad (5)$$

Broj raspada je integral krive vremena i aktivnosti za dati izvor izvora. [7]

Kod MIRD metoda srednja brzina doze u regiji interesa u kojoj se mjeri u vremenu t nakon aplikacije radionuklida u organizam rezultat je doprinosa izlaganja zračenju koji nastaje od doprinosa ostalih organa u tijelu (tkivo koje zrači ili organ koji zrači).

Koronarna angiografija – CA

Koronarna angiografija (koronarografija) je invazivna dijagnostička metoda koja se koristi za potvrđivanje ili isključenje postojanja oboljenja koronarnih arterija, tj. arterija kojima se krvlju snabdijeva samo srce. Na osnovu njenog nalaza, osim definitivne dijagnoze koronarne bolesti, omogućeno je planiranje liječenja. Ono podrazumijeva usmjeravanje pacijenta na interventnu kardiološku proceduru (perkutanu transluminalnu koronarnu angioplastiku – PTCA i implantaciju stenta) ili hiruršku revaskularizaciju miokarda, tj. bajpas operaciju. Snimanje pacijenata na uređajima za interventnu kardiologiju vrši se na dva načina: u floroskopskom i akvizicijskom modu. Akvizicijski mod daje bolju sliku, ali je i doza znatno veća.

Veličina koja se standardno koristi za mjerenje pacijentnih doza u interventnoj kardiologiji je proizvod kerme i površine polja PKA. Za mjerenje pacijentne doze kod flouroskopije, zbog stalne promjene položaja i veličine polja zračenja, ne možemo koristiti ulaznu dozu na kožu. Dugo se vremena kao mjera ozračenosti koristilo trajanje samog pregleda, a mjerila se brzina doze na ulazu u kožu pacijenta ili na pojačivaču slike. Danas, međutim, proizvođači u novu opremu obavezno ugrađuju KAP-metar. Aktivni dio KAP-metra je jonizaciona komora koja se postavlja na rendgensku cijev. Svojom površinom obuhvata cijeli primarni snop. Veličina koju mjeri je proizvod KERMA-e i površine polja:

$$PKA = Ka \cdot A \quad (6)$$

gdje je K_a – KERMA u zraku, a A – površina polja. Jedinica koja se najčešće koristi je Gy cm. Jednostavniji uređaji nekih proizvođača nemaju jonizacionu komoru, pa se PKA proračunava za odabrane vrijednosti parametara od interesa.

Efektivna doza se računa kada PKA pomnožimo s odgovarajućim faktorom konverzije. Parametri koji dodatno utiču na dozu zračenja su: anodni napon, trajanje ekspozicije, filtracija, veličina polja i udaljenost fokus-koža i fokus-detektor.

Softver koji pomaže u računanju pacijentnih doza je PCXMC. Doza se proračunava za 29 organa i tkiva, a zatim se vrši procjena efektivne doze s trenutno važećim težinskim faktorima iz ICRP publikacije br. 103, kao i s težinskim faktorima iz publikacije br. 60. Program podržava modele pedijatrijskih i odraslih pacijenata, kao i promjenu njihove veličine.

CT koronarna angiografija – CTCA

Osnovni princip nastanka snimka u CT dijagnostici sastoji se u mjerenju koeficijenta slabljenja pri prolasku X-zraka kroz objekat snimanja. Za razliku od običnog rendgenskog aparata, u ovom slučaju potrebno je izvršiti mjerenja dvije vrste intenziteta X-zraka: primarnog I_p , na samom izvoru zračenja, i oslabljenog intenziteta I , nakon prolaska zračenja kroz objekt. CT koronarna angiografija je savremena radiološka metoda snimanja srca koja koristi CT za pregled struktura i krvnih žila srca.

Dozimetrijske veličine koje su karakteristične samo za CT dijagnostiku su [8]:

- CTDI_w (Weighted Computed Tomography Dose Index) ili CTDI_{vol} – veličina koja opisuje lokalnu dozu, tj. dozu po jednom sloju,
- DLP (Dose Length Produce) – koja opisuje dozu na cijelo tijelo.

Doza koja se isporuči pacijentu u CT dijagnostici zavisi još od dvije vrste faktora:

- faktori povezani sa samim CT uređajem,
- faktori povezani s načinom upotrebe.

Faktori povezani s vrstom CT uređaja su: geometrijske osobine zračenja, način kolimacije zračenja, raspored detektora, jačina struje rendgenske cijevi, način filtracije zračenja, geometrija skenera, polja i ugla skeniranja.

Faktori povezani s načinom upotrebe CT-aparata: proizvod struja-vrijeme (Q), vrijeme ekspozicije (T), napon rendgenske cijevi (U), prečnik objekta (d), širina skeniranog sloja (h), "pitch-faktor" (p), broj slojeva (n), longitudinalna dužina skeniranja (L), dužina rekonstrukcijskog filtera (FK) i širina otvora blende.

Mjerenja pacijentnih doza

Rad je retrospektivnog karaktera. Ispitano je :

- 50 pacijenata kojima je urađena perfuziona scintigrafija miokarda jednodnevni protokol u opterećenju i mirovanju koristeći radiofarmaceutik MIBI Tc-99m,
- 53 pacijenta kojima je urađena koronarna angiografija kompjuteriziranom tomografijom (CTCA),
- 69 pacijenata koji su bili podvrgnuti konvencionalnoj koronarnoj angiografiji (CA).

Materijal i metode mjerenja

Efektivna doza procijenjena je koristeći različite tehnike za različite dijagnostičke modalitete. Softver Radar korišten je kako bi se dobili faktori konverzije između apliciranog aktiviteta i efektivne doze u nuklearnomedicinskoj proceduri. Za interventnu kardiologiju korišten je PCXMC 3.0, dok se za procjenu efektivne doze kod kompjuterizirane tomografije koristio softver CT-EXPO 1.4.

Odabrani težinski faktori bili su preuzeti iz Izvještaja br. 103 Međunarodne komisije za radiološku zaštitu (ICRP).

Dobiveni su sljedeći rezultati:

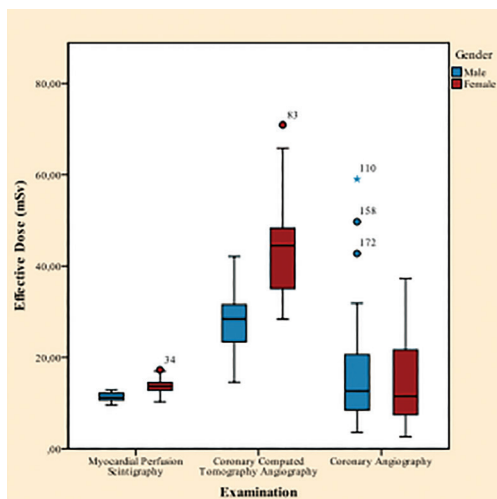
Procijenjene efektivne doze su bile $13 \pm 2,6$ mSv kod scintigrafije miokarda, 13 ± 3 mSv kod konoranrne angiografije, te 32 ± 16 mSv kod kompjuterizirane tomografije.

Tabela 1. Medijana i interkvartilni raspon efektivne doze nakon dijagnostičkih snimanja srca.

		Efektivna doza (mSv)					
		MPS		CCTA		CA	
		Medijana	IQR	Medijana	IQR	Medijana	IQR
Spol	Muškarci	11	1,5	28	8,1	13	
	Žene	14	1,7	45	13	12	
	Ukupno	13	2,6	32	16	13	

MPS —Myocardial perfusion scintigraphy, CCTA —Cardiac computed tomography angiography,

CA – Coronary angiography



Sl. 1. Grafički prikaz efektivne doze kod scintigrafije miokarda, CTA i koronarografije.

Diskusija i zaključak

Rezultati pokazuju velike razlike kod efektivne doze u zavisnosti od odabrane procedure. Općenito, efektivne doze koje su primile žene veće su od onih koje primaju muškarci.

Doze kod kompjuterizirane tomografije su visoke i ubuduće je potrebno pokušati uraditi optimizaciju protokola.

Povećava se broj dijagnostičkih pregleda u kojima se koristi jonizirajuće zračenje čime pacijentna dozimetrija dobiva sve veći značaj. Proračunom doze koju pacijent primi nakon dijagnostičkog pregleda koji koristi jonizirajuće zračenje možemo da izvršimo procjenu radijacijskog rizika koji te pretrage nose. Važno je napomenuti da se efektivna doza procjenjuje na osnovu modela. Različite metode i tehnike snimanja zahtijevaju različite tehnike mjerenja doza. Zbog tehničkih mogućnosti CT daje veću dozu za pacijente. S obzirom na to da je u radu opisano mjerenje doza za pacijente na tri najvažnija aparata koja koriste jonizirajuće zračenje za snimanje srca, vidljivo je da veće doze prime žene, upravo zbog prisustva osjetljivih organa (dojki) u proračunu. Doze koje daju CT su puno veće i jako se razlikuju u odnosu na doze koje daju ostale pretrage.

Reference

- [1] Einstein AJ, Moser KV, Thompson RC, Cerqueira MD, Henzlova MJ. Radiation Dose to Patients From Cardiac Diagnostic Imaging. *Contemporary Reviews in Cardiovascular Medicine. Circulation.* 2007;116:1290–305.
- [2] Kulić M. Hitnost prevencije kardiovaskularnih bolesti kod žena, KECS, http://www.kecs.ba/index.php?option=com_content&view=article&id=139:hitnost-prevencije-kardiovaskularnih-bolesti-kod-zena&catid=29&Itemid=226
- [3] Einstein AJ, Weiner SD, Bernheim A, Kulon M, Bokhari S, Johnson LL, Moses JW, Balter S. Multiple testing, cumulative radiation dose, and clinical indications in patients undergoing myocardial perfusion imaging. *JAMA* 2010;304:2137–44.
- [4] Einstein AJ. Radiation protection of patients undergoing cardiac computed tomographic angiography. *JAMA* 2009;301:545–7.
- [5] Einstein AJ, Moser KW, Thompson RC, Cerqueira MD, Henzlova MJ. Radiation dose to patients from cardiac diagnostic imaging. *Circulation* 2007;116:1290–305.
- [6] DARNS. Pravilnik o zaštiti od jonizirajućeg zračenja kod medicinske ekspozicije. *Službeni glas. BiH.* 2011;(13).
- [7] Stabin M. *Fundamentals of Nuclear Medicine Dosimetry*, Publisher Springer-Verlag. New York. 2008.
- [8] IAEA. TRS 457. *Dosimetry in Diagnostic Radiology: An International Code of Practice*. Vienna, Austria: IAEA; 2007.

PATIENT DOSIOMETRY IN NUCLEAR-MEDICAL AND RADIODIAGNOSTIC HEART EXAMINATIONS

Abstract

The number of diagnostic heart tests involving the use of ionizing radiation has increased significantly over the past decade. Doctors who refer patients to these procedures must be aware of the risk and be informed of the doses that are the product of the use of ionizing radiation in these procedures. For the purpose of assessing doses for patients following cardiac imaging methods, 50 patients were examined who underwent a nuclear-medical scintigraphic examination of myocardial perfusion (at strain and at rest, using MIBI Tc-99m radiopharmaceutical), 53 patients who underwent conventional coronary angiography (CA), and 69 patients who underwent coronary angiography with computerized tomography (CTA). The effective dose was estimated using various techniques for different diagnostic modalities. The results show great differences in the effective dose depending on the selected procedure. Generally, the effective doses received by women are greater than those received by men.

Key words: patient dosimetry, nuclear medicine, radiodiagnostics, optimization.

MEĐUNARODNA SARADNJA BOSNE I HERCEGOVINE U OBLASTI ZAŠTITE OD ZRAČENJA

Jovica Bošnjak

Centar za zaštitu od zračenja, Institut za javno zdravstvo Republike Srpske

Autor za korespondenciju:
Jovica Bošnjak
jovica.bosnjak@phi.rs.ba

Prevodilac za engleski jezik: Katarina Miljković
Lektorica za srpski jezik: Zenaída Karavdić

Primljen: 2016, prihvaćen: 2017, objavljen: 2018.

Apstrakt

Međunarodna saradnja u oblasti zaštite od zračenja ima veoma važnu i značajnu ulogu na globalnom nivou. Osnovni aspekti saradnje se ogledaju u promovisanju razmjene znanja, izgradnji kapaciteta i prenosu tehnologije, kako u oblasti primjene, tako i u oblasti regulisanja korišćenja radijacionih tehnologija. Uzimajući u obzir ograničene organizacione, materijalne i ljudske resurse u ovoj oblasti, u prethodnom periodu Bosna i Hercegovina je kroz različite multilateralne i bilateralne mehanizme uglavnom bila primalac pomoći. Kao najznačajnije, važno je izdvojiti učestvovanje u programu tehničke saradnje Međunarodne agencije za atomsku energiju (IAEA), kao i učestvovanje u implementaciji projekata iz programa pretpriputne pomoći (IPA) Evropske unije. Nakon dvadeset godina aktivnog učestvovanja institucija iz Bosne i Hercegovine u međunarodnoj saradnji ostvaren je, i od relevantnih institucija prepoznat, impresivan napredak u oblasti zaštite od zračenja. U narednom periodu potrebno je nastaviti postojeće aktivnosti na međunarodnoj sceni. Isto tako, zahvaljujući napretku u razvoju ljudskih i tehničkih kapaciteta, postojeću saradnju je potrebno proširiti i na relevantne međunarodne naučne institucije i stručne asocijacije te jačati saradnju na bilateralnoj osnovi i na taj način uspostaviti nove mehanizme saradnje, koji će dati dodatnu vrijednost i unaprijediti postojeće kapacitete u državi.

Ključne riječi: međunarodna saradnja, zaštita od zračenja, IAEA, Bosna i Hercegovina.

Uvod

Međunarodna saradnja u oblasti zaštite od zračenja, odnosno u oblastima radijacione i nuklearne sigurnosti, upravljanja radioaktivnim otpadom i transporta radioaktivnih

materijala ima veoma važnu i značajnu ulogu u ovoj specifičnoj multidisciplinarnoj oblasti, na globalnom nivou [1].

Osnovni aspekti saradnje u državama u razvoju, kao što je Bosna i Hercegovina, sa ograničenim organizacionim, materijalnim i ljudskim resursima, ogledaju se u izgradnji kapaciteta i prenosu znanja i tehnologije, kako u oblasti primjene, tako i u oblasti regulisanja korišćenja radijacionih tehnologija, dok se u razvijenim državama veći značaj daje upoznavanju sa razvojem novih tehnologija i učestovanju u izradi i kreiranju novih međunarodnih sigurnosnih standarda i načinima za njihovu primjenu.

Bosna i Hercegovina je primalac bilateralne i multilateralne finansijske i tehničke pomoći u različitim oblastima, što se često smatra suštinskim elementom za unapređenje političkih, ekonomskih i društvenih prilika u državi [2]. Konkretno, u oblasti zaštite od zračenja, važno je izdvojiti učestvovanje u programu tehničke saradnje Međunarodne agencije za atomsku energiju (IAEA), kao i učestvovanje u implementaciji projekata iz programa pretpriputne pomoći (IPA) Evropske unije.

Nakon dvadeset godina aktivnog učestvovanja institucija iz Bosne i Hercegovine u međunarodnoj saradnji ostvaren je, i od relevantnih institucija prepoznat, značajan napredak u oblasti zaštite od zračenja [3,4]. U radu su detaljno navedeni postojeći mehanizmi međunarodne saradnje, kao i prijedlozi za unapređenje u narednom periodu, s obzirom na to da se trenutno saradnja odvija uglavnom u samo jednom smjeru, odnosno sa ciljem primanja pomoći.

Pregled dosadašnjih aktivnosti

Bosna i Hercegovina je primalac bilateralne i multilateralne finansijske i tehničke pomoći u raznim oblastima i ovaj vid međunarodne saradnje ima veliki značaj u unapređenju situacije u državi u njenom programu političkih, ekonomskih i društvenih promjena.

Kada je u pitanju međunarodna saradnja u oblasti zaštite od zračenja, prioritet i najznačajnija saradnja je ostvorena sa IAEA, zatim manje značajna sa institucijama Evropske unije te saradnja na bilateralnoj osnovi sa državama iz okruženja, ali i sa drugim državama i institucijama koje imaju posebne programe pomoći zemljama u razvoju [5].

Saradnja sa IAEA

Bosna i Hercegovina je od 1995. godine članica Međunarodne agencije za atomsku energiju (International Atomic Energy Agency – IAEA) sa sjedištem u Beču. Prema Zakonu o radijacionoj i nuklearnoj sigurnosti, Državna regulatorna agencija za radijaciju i nuklearnu sigurnost (Agencija) je državni partner BiH za saradnju sa IAEA u vezi sa svim pitanjima iz oblasti radijacione i nuklearne sigurnosti [6].

Aktivnosti tehničke saradnje sa IAEA prije 1992. godine su bile preduzimane kao dio programa bivše SFRJ i tokom tog perioda, institucije iz BiH, u poređenju sa

stanjem u drugim republikama SFRJ, nisu bile značajno uključene [2]. Značajnije uključivanje u programe tehničke saradnje sa IAEA je započelo 1996. godine i do danas je kroz Program tehničke saradnje IAEA implementirano preko 20 državnih projekata tehničke saradnje i veliki broj regionalnih i međuregionalnih projekata u kojima su učestvovali i predstavnici BiH [2,5].

Dokument pod nazivom “Okvirni program za saradnju (engl. Country Programme Framework – CPF)” je osnovni dokument kojim se definišu prioriteti u saradnji jedne zemlje sa Međunarodnom agencijom za atomsku energiju (IAEA) za srednjeročni period od 5 godina [2]. Prioriteti navedeni u dokumentu moraju korespondirati sa predloženim temama prilikom apliciranja institucija za projekte tehničke saradnje. Navedeni dokument za Bosnu i Hercegovinu za period 2014–2019. godine je usvojen 2014. godine. Prema CPF-u, prioritetne oblasti i aktivnosti državnog razvoja relevantni za program tehničke saradnje IAEA su: zakonodavni okvir, regulatorna pitanja, zdravlje, upravljanje radioaktivnim otpadom, pripremljenost i odgovor na vanredne događaje, bezbjednost, zaštita životne sredine, primjena nuklearnih tehnologija i održivi energetski razvoj.

Bosna i Hercegovina spada u grupu prioritetnih zemalja koje su primaoci pomoći programa tehničke saradnje IAEA, a koja se odlikuje kako kroz pomoć u uspostavi adekvatnog regulatornog okvira i unapređenja rada Agencije, tako i kroz pomoć institucijama iz oblasti zdravlja, industrije, zaštite životne sredine te i u drugim oblastima u kojima se na neki način koriste nuklearne tehnologije. Program tehničke saradnje se implementira kroz državne i regionalne projekte u ciklusima od po dvije godine. U proteklom periodu, kao dokaz uspješne implementacije, nekoliko projekata Bosne i Hercegovine je izabrano od strane IAEA za “uspješne priče” [7].

Pored državnih projekata odobrenih od strane IAEA, učesnici iz Bosne i Hercegovine mogu učestvovati i u regionalnim i interregionalnim projektima za koje pokazuju interes, odnosno za koje ispunjavaju uslove za aktivno učestvovanje, s obzirom na limitirane kapacitete za projekte iz oblasti nuklearne energije i nuklearne sigurnosti.

Ukupan budžet koji IAEA odobrava za projekta tehničke saradnje u posljednjih nekoliko ciklusa za BiH iznosi oko milion US dolara, ne uzimajući u obzir učešće u regionalnim projektima [5].

Pored aktivnosti vezanih za implementaciju projekata tehničke saradnje, Agencija ostvaruje i veoma intenzivnu saradnju sa IAEA i u drugim oblastima radijacije i nuklearne sigurnosti i bezbjednosti, kao što su upravljanje radioaktivnim otpadom, kontrola zatvorenih radioaktivnih izvora, kontrola uvoza i izvoza, nuklearna bezbjednost, oblast nuklearnog prava i saradnja sa laboratorijama IAEA u Sajberzdorfu.

Takođe, značajno je korišćenje servisa koje IAEA pruža zemljama članicama kroz savjetodavne misije za regulatonu infrastrukturu. Bosna i Hercegovina je koristila sve navedene servise (RaSSIA-2005 i Advisory Mission-2015) te Audit misije

u radioterapiji, nuklearnoj medicini i radiologiji (QUATRO-2006, QUANUM-2011 i QUAADRIL-2008) [2].

Saradnja sa Evropskom unijom

Od 2007. godine Instrument za pretpristupnu pomoć (engl. IPA) Evropske unije pruža finansijsku pomoć zemljama zapadnog Balkana za projekte koji se odnose na nuklearnu sigurnost i zaštitu od zračenja. Cilj IPA pomoći u ovoj oblasti je omogućiti zemljama kandidatima i potencijalnim kandidatima da usvoje zakone i propise u skladu s pravnom tekovinom EU i, drugo, da imaju kapacitet i tehnička sredstva da ih provedu.

Teme koje su implementirane u okviru prvog projektnog ciklusa finansiranog iz IPA-e su: regulatorna infrastruktura; kontrola zatvorenih izvora uključujući i radioaktivne gromobrane; kontrola prirodnih radioaktivnih materijala; kontrola otvorenih izvora i radioaktivnog otpada u medicinskim ustanovama; sprečavanje i suzbijanje nezakonitog prometa nuklearnih materijala i monitoring radioaktivnosti u životnoj sredini [5].

U sljedećem ciklusu IPA implementirani su projekti u oblastima regulatorne infrastrukture, radioaktivnog otpada u nuklearnoj medicini, dozimetriji, medicinskoj ekspoziciji i djelimično projekat i obrazovanju u zaštiti od zračenja [8].

Trenutno je u procesu implementacija projekta jačanja regulatornih tijela u zemljama zapadnog Balkana, predloženog od strane EU, koji se sastoji od više projektnih zadataka, posebno prilagođenih za svaku državu zapadnog Balkana pojedinačno. Teme u kojima učestvuje BiH su usklađivanje standarda sigurnosti sa novom EU direktivom, akreditacija, sistem upravljanja, uspostavljanje procedura.

Pored implementacije IPA projekta, postoji i saradnja Agencije sa institucijama Evropske unije. EURDEP (European Radiological Data Exchange Platform – Evropska platforma za razmjenu radioloških podataka) je institucija nadležna za razmjenu informacija o radiološkom monitoringu u EU. Predstavnici Agencije su takođe učestvovali na radionicama u organizaciji EU o odbrani usljed hemijske, biološke, radiološke i nuklearne prijetnje (CBRN).

U narednom periodu institucije BiH očekuju znatnu pomoć od EU u ovoj oblasti kroz proces pristupanja EU.

Bilateralna saradnja

Bilateralna saradnja Agencije se uglavnom odnosi na saradnju sa državama iz regiona, mada je uspostavljena veoma intenzivna saradnja i sa pojedinim evropskim državama i sa nekoliko institucija administracije Sjedinjenih Američkih Država.

Saradnja sa državama iz regiona (Hrvatska, Slovenija, Crna Gora i Srbija) posebno se odnosi na oblasti kontrole granica i nedozvoljenog prometa radioaktivnih izvora, razmjenu iskustava tokom uspostave regulatornog sistema te edukaciju

zaposlenih u regulatornim agencijama, što su prioritetne oblasti za sve susjedne države. U prethodnim godinama su potpisani i zvanični memorandumi o saradnji [9].

Pored zemalja iz okruženja, Agencija ima veoma intenzivnu saradnju sa administracijom Sjedinjenih Američkih Država, posebno sa Ministarstvom za energiju (US DoE) i Upravom za nuklearnu bezbjednost (National Nuclear Security Administration – NNSA), sa kojim je u prethodnom periodu realizovano nekoliko projekata iz oblasti bezbjednosti radioaktivnih izvora.

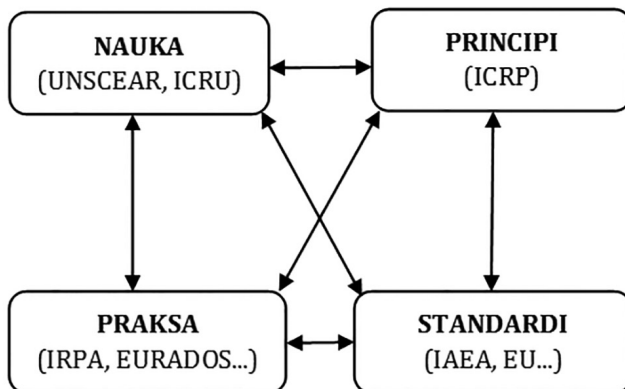
Od evropskih zemalja, najintenzivnija saradnja je ostvorena sa Belgijom, u sklopu projekata bilateralne saradnje Belgije sa zemljama u razvoju. Projektne teme su se odnosile na monitoring životne sredine i upravljanje radioaktivnim otpadom [5].

Diskusija

Obrazovanje i obuka su od fundamentalnog značaja za zaštitu od zračenja. Lica koja rade sa izvorima zračenja u industriji, medicini i istraživanju imaju širok spektar odgovornosti, a i potrebe za obukom u zavisnosti od djelatnosti su specifične. Međunarodni skupovi i publikacije koje se odnose na kulturu sigurnosti u oblasti zaštite od zračenja sve više naglašavaju potrebu za obrazovanjem i obukom. Pored toga, usklađenost sa zahtjevima određenih evropskih direktiva i međunarodnim osnovnim sigurnosnim standardima je ključna, a bazirana je na obrazovanju i obuci. Adekvatna obuka u radijacionoj i nuklearnoj sigurnosti je jedan od mehanizama i osnovnih strategija za pružanje pomoći državama članicama u primjeni IAEA standarda, što je istaknuto i kroz rezolucije na nekoliko Generalnih konferencija IAEA [10].

Na osnovu naprijed navedenog jasno je da se aktivnosti u vezi s međunarodnom saradnjom u oblasti zaštite od zračenja trenutno najviše baziraju na saradnji sa IAEA. Generalno, u toku implementacije projekata aktivnosti se mogu podijeliti na tri komponente: jačanje ljudskih resursa, posjete međunarodnih eksperata institucijama BiH i nabavka neophodne opreme namijenjene jačanju tehničkih kapaciteta. Jačanje ljudskih resursa se implementira kroz edukaciju kao što su trening kursevi, radionice, stipendije i studijske posjete u trajanju od nekoliko dana pa do nekoliko mjeseci. Rezultati ovih edukacija su već vidljivi u praksi jer ustanove u oblasti radioterapije, nuklearne medicine i radiologije u Bosni i Hercegovini primjenjuju najnovije procedure i metode u liječenju pacijenata. Značajan doprinos napretku koji je ostvaren posljednjih godina je posljedica posjeta preko 40 međunarodnih eksperata institucijama u BiH koje učestvuju u projektima, koji su dali ogroman doprinos u uspostavi postojećih sistema kroz razmjenu znanja i iskustva [4].

Međutim, međunarodna saradnja je mnogo kompleksnija oblast i primanje pomoći na kojem se trenutno bazira saradnja ispred Bosne i Hercegovine je samo jedan vid saradnje. Na slici 1 je prikazana struktura globalne organizacije u zaštiti od zračenja i interakciji između organizacija, tijela i asocijacija koje su od značaja za naučnu i tehničku saradnju u radijacionoj i nuklearnoj sigurnosti i upravljanju radioaktivnim otpadom.



Slika 1. Struktura globalne organizacije u zaštiti od zračenja

Naučni komitet Ujedinjenih nacija o efektima jonizujućeg zračenja, UNSCEAR (engl. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation), prikuplja, potvrđuje i vrednuje naučne podatke i rezultate istraživanja koja se sprovode širom svijeta. Komitet ocjenjuje i izvještava o najnovijim naučnim dostignućima na svojim redovnim godišnjim sastancima. Komitet redovno publikuje najnovije podatke u svojim izvještajima. Takođe, naučnu osnovu na globalnom nivou uspostavlja i Međunarodna komisija za radijacione jedinice i mjerenja ICRU (engl. International Commission on Radiation Units and Measurements) [11].

Na osnovu izvještaja i podataka dostupnih od strane UNSCEAR-a, Međunarodna komisija za zaštitu od zračenja ICRP (engl. International Commission on Radiological Protection) priprema preporuke za sve aspekte zaštite od zračenja. Međunarodni sistem zaštite od zračenja je razvijen od strane ICRP na osnovu trenutnog naučnog razumijevanja izloženosti i efekata koje izaziva jonizujuće zračenje.

U sljedećem koraku, preporuke ICRP-a služe Međunarodnoj agenciji za atomsku energiju kao osnova za uspostavljanje međunarodnih Osnovnih standarda sigurnosti BSS (engl. Basic Safety Standards), koji podržavaju brojne organizacije UN. Takođe, Osnovni standardi sigurnosti Evropske komisije (EU BSS), koji su obavezujući za zemlje članice EU, nastali su na osnovu preporuka ICRP-a.

Nakon toga, veliki broj međunarodnih organizacija i stručnih udruženja, kao što su Agencija za nuklearnu energiju (OECD/NEA), Asocijacija regulatornih tijela za zaštitu od zračenja u Evropi (HERCA), Evropska ALARA mreža (EAN) uključen je u razvoj i praktičnu primjenu standarda za unapređenje zaštite od zračenja radnika, pacijenata i stanovništva, i mnoge druge.

Na osnovu navedenog prikaza razvoja međunarodnih standarda i preporuka, jasno je da je međunarodna saradnja na globalnom nivou u ovoj oblasti vema intenzivna sa jasno definisanim ulogama svih uključenih. Potrebno je naglasiti da je Bosna i

Hercegovina jedna od rijetkih država u Evropi koja ne dostavlja podatke za izvještaje UNSCER-a. Posebno su značajni podaci o broju uređaja, broju izvršenih pregleda te dozama koje primaju pacijenti u medicini i profesionalno izložena lica [11].

Takođe, eksperti iz Bosne i Hercegovine ne učestvuju u radu ICRP radnih grupa, a ni u radu IAEA komiteta za standarde za radijacionu sigurnost, nuklearnu sigurnost, transport radioaktivnog materijala i radioaktivni otpad (RASSC/NUSSC/TRANSSC/WASSC), koji su nadležni za izradu međunarodnih standarda. Osnovni problem za neučestvovanje, pored malog broja kompetentnih eksperata u državi, je i nedostatak finansijskih sredstava, pošto troškove učešća snose države članice [12].

Bilateralna saradnja, koja je zvanično uspostavljena sa državama iz regiona, nije uspjela da pronađe značajnu praktičnu primjenu. Ne organizuju se sastanci regionalnog karaktera koji bi omogućili razmjenu znanja i iskustava, a razmjena informacija između potpisnica Memoranduma o saradnji se uglavnom održava na minimalnom nivou, što je opet donekle posljedica nedostatka finansijskih sredstava.

Zaključak

Važan aspekt za svaku državu je izgradnja i održavanje kompetentnosti u svim relevantnim oblastima, pa i u oblasti zaštite od zračenja, i jasno je da saradnja sa međunarodnim i evropskim organizacijama, tijelima i asocijacijama omogućuje unapređenje i poboljšanje situacije, što je jasno opredjeljenje i Bosne i Hercegovine.

U proteklih dvadeset godina, institucije Bosni i Hercegovine su aktivno učestvovala u programu tehničke saradnje IAEA i pojedine oblasti, kao što su regulatorna infrastruktura, medicinska fizika, radioterapija i nuklearna medicina, ostvarile su značajan i vidljiv napredak i pojedini implementirani projekti su izabrani za "IAEA uspješne priče".

Saradnja sa institucijama Evropske unije traje već nekoliko godina, ali postoji mogućnost za unapređenje, što treba da se iskoristi u procesu napretka Bosne i Hercegovine prema integracijama u Evropsku uniju, uz adekvatnu pripremljenost institucija za apliciranje i kasniju mogućnost realizacije projekata.

Unapređenje postojećih mehanizama bilateralne saradnje kroz proaktivan pristup, posebno sa državama iz regiona sa kojima djelimo zajedničke probleme, treba da bude jedan od prioriteta u narednom periodu.

Uspostavljanjem adekvatne regulatorne infrastrukture u državi su se stekli uslovi za aktivnije uključivanje u rad međunarodnih organizacija kao što su UNSCEAR, ICRP, IRPA te komiteta za standarde IAEA i uspostavljanje saradnje na stručnoj osnovi sa drugim državama i međunarodnim organizacijama, što bi omogućilo jasno profilisanje pozicija Bosne i Hercegovine na međunarodnom nivou.

Međunarodna saradnja je znatno kompleksniji proces od primanja finansijske i tehničke pomoći i na globalnom nivou koncept primaoca i davaoca je napušten, što podržava i program tehničke saradnje sa IAEA. Nakon dvadeset godina aktivnog učestovanja i korišćenja raznih mehanizama međunarodne saradnje, pojedine

institucije iz Bosne i Hercegovine, tradicionalno primaoci pomoći, posjeduju relevantno znanje i iskustvo koje mogu da dijele sa drugima te treba da se aktivnije uključe u savremene tokove kako bi u određenim oblastima postale i pružaoci pomoći i na taj način uspostavile pravi smisao međunarodne saradnje, koja treba da se odvija u dva smjera.

Reference

- [1] IAEA General Conference GC(59)/RES/9: Measures to strengthen international cooperation in nuclear, radiation, transport and waste safety, Vienna, September 2015.
- [2] IAEA Country Programme Framework (CPF) for Bosnia and Herzegovina for 2014–2019, IAEA, Vienna, 2015. <http://darns.gov.ba/Resources/Files/cpf.pdf>
- [3] IAEA Advisory Mission Report to Bosnia and Herzegovina, 27 to 30 April 2015, IAEA, Vienna, 2015.
- [4] Bosnjak J. Challenges in Strengthening Regulatory Infrastructure in a Non-Nuclear Country. Book of abstract of International Conference on Effective Nuclear Regulatory Systems Sustaining Improvements Globally, Vienna, Austria, 2016.
- [5] Izvještaj o stanju radijacione i nuklearne sigurnosti u Bosni Hercegovini za 2012, 2013. i 2014. godinu. <http://darns.gov.ba/sr/Aktuelnosti/IzvjestajiSM>
- [6] Zakon o radijacijskoj i nuklearnoj sigurnosti u Bosni i Hercegovini. “Službeni glasnik BiH”, broj 88/07.
- [7] Success stories in Europe, IAEA Technical Cooperation Department. <https://www.iaea.org/technicalcooperation/Pub/Suc-stories/Europe.html>
- [8] Horizontal Programme on Nuclear Safety and Radiation Protection under the IPA-Transition Assistance and Institution Building Component for the year 2009. www.europarl.europa.eu
- [9] Memorandumi o razumijevanju. Državna regulatorna agencija za radijacionu i nuklearnu sigurnost. <http://darns.gov.ba/sr/Ostalo/MemorandumORazumijevanju>
- [10] Strategic Approach to Education and Training in Radiation, Transport and Waste Safety for 2011–2020, 2010/Note 44, IAEA, Vienna, <http://www-ns.iaea.org/downloads/rw/training/strategic-approach2011-2020.pdf>.
- [11] UNSCEAR: United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. Source and Effects of Ionizing Radiation. Report to the General Assembly. United Nations, New York, 2010. <http://www.unscear.org/unscear/publications.html>.
- [12] IAEA Safety Standards Commission and Committees. <http://www-ns.iaea.org/committees/>

INTERNATIONAL COOPERATION OF BOSNIA AND HERZEGOVINA IN THE FIELD OF RADIATION PROTECTION

Abstract

International cooperation in the field of radiation protection has had an important and significant role at a global level. The primary aspects of cooperation are reflected in promotion of knowledge exchange, capacity building and technology transfer, both in the field of application and regulation of use of radiation technology. Taking into account the limited organizational, material and human resources in this field, in the previous period, Bosnia and Herzegovina was mostly an aid recipient through various multilateral and bilateral mechanisms. It is important to reiterate the participation in the programme of International Atomic Energy Agency (IAEA) technical cooperation as well as in the programme of Pre-Accession Assistance (IPA) project implementation of the European Union as the most important. The impressive progress in the field of radiation protection has been realized and recognized by relevant institutions after twenty years of active participation of Bosnia and Herzegovina institutions in the international cooperation. In the future, it will be necessary to continue the existing activities on the international scene, and also thanks to the development progress in human and technical capacity, to expand the existing cooperation to relevant international scientific institutions and professional associations, and to strengthen cooperation on a bilateral basis and thus establish new cooperation mechanisms that will provide added value and improve the existing capacities in the country.

Key words: international cooperation, radiation protection, IAEA, Bosnia and Herzegovina.

INSPEKCIJSKI NADZOR U MEDICINSKOJ PRIMJENI IZVORA JONIZIRAJUĆEG ZRAČENJA U BOSNI I HERCEGOVINI

Armin Lagumdžija

Državna regulatorna agencija za radijacijsku i nuklearnu sigurnost, Sarajevo

Autor za korespondenciju:

Armin Lagumdžija

armin.lagumdžija@darns.gov.ba

Prevodilac za engleski jezik: Adnan Arnautlija

Lektorica za B/H/S jezik: Zenaida Karavdić

Primljen: 2016, prihvaćen: 2017, objavljen: 2018.

Apstrakt

Inspektorat Državne regulatorne agencije za radijacijsku i nuklearnu sigurnost, u skladu sa Zakonom o radijacijskoj i nuklearnoj sigurnosti u Bosni i Hercegovini ("Službeni glasnik BiH" broj 88/07), provodi inspeksijski nadzor posjedovanja i upotrebe izvora jonizirajućeg zračenja. Kontrolu radijacijske sigurnosti kod korisnika izvora jonizirajućeg zračenja u medicinskoj primjeni vrše državni inspektori za radijacijsku i nuklearnu sigurnost. Inspeksijskim nadzorom se kontrolišu aspekti zaštite od zračenja kod medicinske ekspozicije, uključujući zaštitu pacijenata, osoba koje svjesno i dobrovoljno pružaju pomoć pacijentima podvrgnutim medicinskoj ekspoziciji, kao i dobrovoljaca koji učestvuju u istraživanjima, propisani Pravilnikom o zaštiti od jonizirajućeg zračenja kod medicinske ekspozicije ("Službeni glasnik BiH" broj 13/11). Također, kontrolišu se aspekti zaštite od zračenja profesionalno izloženih osoba (radnika) i stanovništva prema Pravilniku o zaštiti od zračenja kod profesionalne ekspozicije i ekspozicije stanovništva ("Službeni glasnik BiH" broj 102/11), a primjenjuju se i ostali pravilnici iz oblasti radijacijske sigurnosti koje je donijela Državna regulatorna agencija za radijacijsku i nuklearnu sigurnost. U radu je prezentiran okvirni postupak inspeksijskog nadzora ustanova koje provode medicinsku ekspoziciju, s aspekta radijacijske sigurnosti. Prezentirana je i kraća analiza inspeksijskih nadzora izvora jonizirajućeg zračenja u medicinskoj primjeni obavljenih tokom 2015. godine.

Ključne riječi: regulatorna inspekcija, kontrola zaštite od jonizirajućeg zračenja, medicinska primjena izvora jonizirajućeg zračenja, medicinska ekspozicija.

Uvod

Zakonom o radijacijskoj i nuklearnoj sigurnosti u Bosni i Hercegovini (u daljem tekstu: Zakon) uspostavljen je opći okvir sistema kontrole nad izvorima jonizirajućeg zračenja, zaštite ljudi, sadašnjih i budućih generacija, kao i okoliša od ekspozicije ili potencijalne ekspozicije jonizirajućem zračenju [1]. Detaljnije reguliranje radijacijske i nuklearne sigurnosti ostavljeno je da se propiše podzakonskim aktima koje donosi Državna regulatorna agencija za radijacijsku i nuklearnu sigurnost (u daljem tekstu: Agencija). Prema članu 2 Zakona, cilj Zakona je obezbjeđenje zaštite od jonizirajućeg zračenja, radijacijske i nuklearne sigurnosti građana BiH kroz:

- a) uspostavljanje i implementiranje sistema koji omogućava razvoj i korištenje izvora jonizirajućeg zračenja u skladu sa zahtjevima za zaštitu zdravlja ljudi;
- b) uspostavljanje i održavanje regulatornog programa za izvore jonizirajućeg zračenja i time obezbjeđenje kompatibilnosti s međunarodnim standardima o sigurnosti izvora zračenja i za zaštitu od jonizirajućeg zračenja;
- c) osnivanje državnog regulatornog tijela za radijacijsku i nuklearnu sigurnost s odgovarajućim nizom funkcija i odgovornosti te potrebnim resursima za uspostavljanje regulatorne kontrole.

Zakon predviđa širi okvir sistema zaštite od zračenja, odnosno radijacijske i nuklearne sigurnosti u BiH. Zakonom su ustanovljeni određeni opći principi i definicije, uspostavljena je Agencija i određene su njene funkcije i nadležnosti, a detaljnije uređenje ove oblasti ostavljeno je da se izvrši putem podzakonskih propisa koje donosi Agencija. Do novembra 2016. godine Agencija je objavila 22 pravilnika iz svojih nadležnosti. U nastavku su kratko obrazloženi pravilnici bitni za inspekcijski nadzor u medicinskoj primjeni izvora jonizirajućeg zračenja.

Također, Agenciji je Zakonom dato u nadležnost da definiira politiku u oblasti radijacijske i nuklearne sigurnosti, principe sigurnosti i odgovarajuće kriterije kao osnovu za svoje regulatorne postupke. Agencija je u skladu s tim sačinila dokument "Politika o sigurnosti izvora jonizirajućeg zračenja u Bosni i Hercegovini". Ovaj dokument je po prijedlogu Agencije donijelo Vijeće ministara BiH 12. 6. 2012. godine. Cilj Politike o sigurnosti izvora jonizirajućeg zračenja u Bosni i Hercegovini je uspostavljanje efikasnog i transparentnog sistema zaštite od zračenja kojim se obezbjeđuje osnova za zaštitu ljudi i okoliša od štetnih efekata jonizirajućeg zračenja u skladu s međunarodnim standardima [2].

Pravilnikom o uslovima za promet i korištenje izvora jonizirajućeg zračenja propisani su uslovi koje mora ispunjavati prostor u kojem su smješteni ili se koriste izvori zračenja, tehničke karakteristike koje izvori zračenja moraju posjedovati, kao i druge mjere zaštite od zračenja koje korisnik izvora zračenja mora preduzeti [3].

Pravilnik o zaštiti od jonizirajućeg zračenja kod medicinske ekspozicije predstavlja transpoziciju Direktive 97/43/EURATOM u regulativu BiH. Ovaj pravilnik propisuje osnovne principe zaštite lica od izloženosti jonizirajućem zračenju kod medicinske ekspozicije, odgovornosti i obaveze vlasnika licence, uključujući

programe osiguranja kvaliteta, kao i pravila, mjere i organizaciju zaštite od zračenja u radiodijagnostici, nuklearnoj medicini i radioterapiji [4].

Pravilnik o zaštiti od zračenja kod profesionalne ekspozicije i ekspozicije stanovništva predstavlja transpoziciju Direktive 96/29/EURATOM. Ovaj pravilnik propisuje principe zaštite od zračenja profesionalno izloženih lica i stanovništva u redovnim radiološkim ili nuklearnim vanrednim događajima, principe sistema za zaštitu od zračenja, granice doza za profesionalno izložena lica, lica na obuci, učenike, studente i stanovništvo, model procjene efektivne doze, zahtjeve za individualni monitoring i monitoring radnog mjesta, odgovornosti eksperata za zaštitu od zračenja, postupanje u slučaju znatnog porasta ekspozicije od prirodnih izvora i intervencija kod radioloških ili nuklearnih vanrednih događaja i dugotrajnih ekspozicija, kao i druga pitanja od značaja za profesionalnu ekspoziciju i ekspoziciju stanovništva [5].

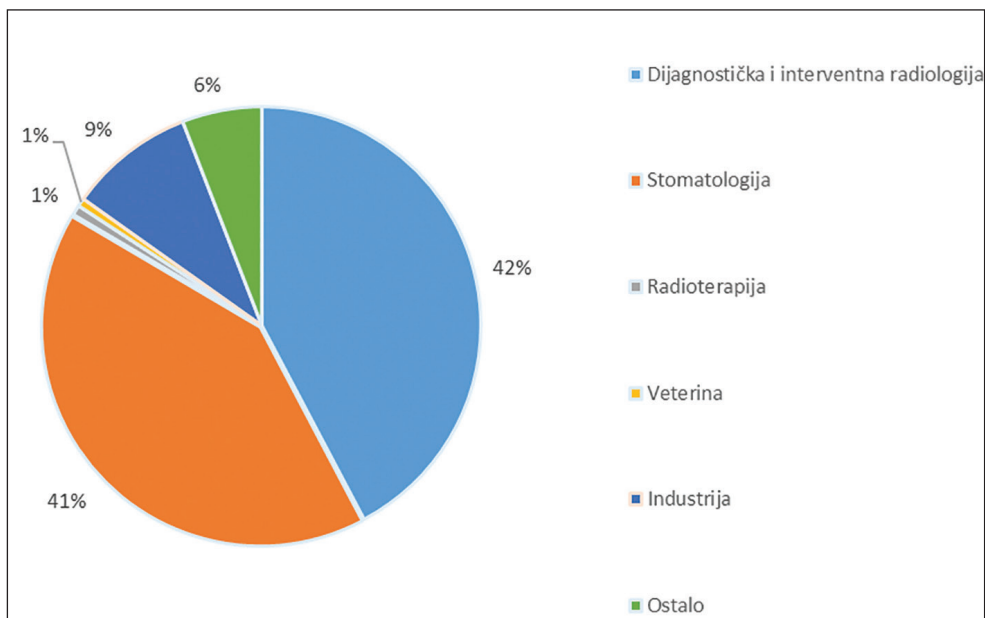
Pravilnikom o tehničkim servisima za zaštitu od jonizirajućeg zračenja propisuju se vrste tehničkih servisa, opći i posebni uslovi za njihovu autorizaciju, opis poslova koje tehnički servisi obavljaju, potreban stručni kadar, oprema i prostor, sadržaj, izgled formulara i rokovi važenja izvještaja i potvrda koje izdaju tehnički servisi, kao i druga značajna pitanja u vezi s tehničkim servisima [6].

Pravilnik o Službi za zaštitu od zračenja i medicinsku fiziku propisuje uslove za nosioca autorizacije za obavljanje djelatnosti s izvorima zračenja u medicinskom radiološkom objektu koji mora imati Službu za zaštitu od zračenja i medicinsku fiziku (u daljem tekstu: Služba), poslove koje mora obavljati Služba, organizaciju, odgovornosti i resurse Službe, dokumentaciju koju Služba treba izraditi i voditi, odnose s drugim organizacionim jedinicama, uslove za autorizaciju Službe, sadržaj priručnika za zaštitu od zračenja za koji je odgovorna Služba, kao i druga značajna pitanja o poslovima koje Služba obavlja u medicinskom radiološkom objektu [7].

Registar izvora jonizirajućeg zračenja

U skladu s članom 8 Zakona, koji definiše funkcije i nadležnosti Agencije, između ostalog je definirano da Agencija uspostavlja i održava Državni registar izvora jonizirajućeg zračenja i lica izloženih jonizirajućem zračenju, kao i izdatih dozvola. Navedeni registar se vodi u informacionom sistemu razvijenom od strane Međunarodne agencije za atomsku energiju IAEA, pod nazivom RAIS (Regulatory Authority Information System – Informacioni sistem regulatornog organa), koji je prilagođen potrebama Agencije. Registar se kontinuirano ažurira kroz postupke autorizacije i inspekcije.

U Bosni i Hercegovini se 84% uređaja koji proizvode jonizirajuće zračenje koristi u medicinskim djelatnostima, dok se preostalih 16% koristi u veterinarstvu, industriji i ostalim djelatnostima (Slika 1). Svi uređaji koji proizvode jonizirajuće zračenje su predmet kontrole Agencije [8].



Slika 1. Pregled zastupljenosti, u procentima od ukupnog broja, uređaja koji proizvode jonizirajuće zračenje u Bosni i Hercegovini po djelatnostima u kojim se koriste [8]

Postupak inspekcijskog nadzora

Pravilnikom o inspekcijskom nadzoru u oblasti radijacijske i nuklearne sigurnosti uređeni su način i postupak vršenja inspekcijskog nadzora od strane Agencije, odgovornost, ovlaštenja, prava i dužnosti državnih inspektora za radijacijsku i nuklearnu sigurnost, način provođenja inspekcijskog nadzora, vođenje zapisnika i evidencija o izvršenom inspekcijskom nadzoru, kao i druga značajna pitanja u vezi s inspekcijskim nadzorom [9].

Kontrolu radijacijske i nuklearne sigurnosti vrše državni inspektori za radijacijsku i nuklearnu sigurnost (u daljem tekstu: Inspektori). Provođenje inspekcijskog nadzora se vrši na osnovu Zakona, Pravilnika o inspekcijskom nadzoru u oblasti radijacijske i nuklearne sigurnosti i ostalih podzakonskih akata koje je donijela Agencija u zavisnosti od djelatnosti koju obavlja subjekt nadzora. Inspektori Agencije imaju ovlaštenja da u svako doba ulaze u prostor ili objekt u kome se koriste izvori zračenja, zbog obavljanja inspekcijskog nadzora sigurnosti i bezbjednosti izvora jonizirajućeg zračenja.

Većina inspekcijskih nadzora se obavlja uz najavu i na osnovu plana inspekcije (redovan inspekcijski nadzor). Međutim, u posebnim slučajevima, kao što je slučaj vanrednog pregleda, inspekcijski nadzor se može izvršiti bez prethodne najave.

Nenajavljen inspekcijski nadzor obično se vrši ako je cilj da se utvrdi trenutna sigurnost i bezbjednost izvora jonizujućeg zračenja.

Prilikom vršenja inspekcijskog nadzora, inspektor može zatražiti pomoć i saradnju stručnih institucija, odnosno tehničkih servisa, ako je to potrebno radi pravilnog utvrđivanja činjeničnog stanja. Inspektor može zatražiti vršenje određenih stručno-tehničkih poslova (ekspertize, laboratorijsko ispitivanje, vještačenje i sl.) od strane specijalizovanih organizacija, kao i pojedinaca, odnosno, ako je to predviđeno, i od akreditovanih i posebnim propisom ovlaštenih organizacija.

Sve ustanove i pravna lica koja posjeduju izvore zračenja ili obavljaju djelatnost s izvorima zračenja podliježu inspekcijskom nadzoru. Predmet inspekcijskog nadzora od strane Agencije su i tehnički servisi koje Agencija autorizira za poslove iz oblasti radijacijske i nuklearne sigurnosti. Kontrola tehničkih servisa obavlja se u cilju provjere uslova na osnovu kojih im je odobrena autorizacija i u cilju provjere ispravnosti njihovog rada.

U vršenju inspekcijskog nadzora nad provođenjem zakona i podzakonskih akata, inspektor je ovlašten da [9]:

- a) predlaže preventivne mjere u cilju sprečavanja povrede zakona i drugih propisa;
- b) naredi preduzimanje odgovarajućih mjera i radnji radi otklanjanja nedostataka u vezi s radom s izvorima zračenja u određenom roku;
- c) naredi dostavljanje potrebne dokumentacije i podataka u određenom roku;
- d) naredi ispunjavanje propisanih uslova i otklanjanje drugih nedostataka za koje se utvrdi da mogu izazvati štetne posljedice za zdravlje ljudi ili okoliš;
- e) naredi trenutni prekid onih aktivnosti koje se obavljaju u suprotnosti sa zakonima i propisima, a koje predstavljaju očitu opasnost za ljude i okoliš;
- f) zabrani obavljanje djelatnosti s izvorima zračenja dok se ne ispune propisani uslovi;
- g) zabrani rad licima koja ne ispunjavaju propisane uslove za rad s izvorima zračenja;
- h) zabrani nepropisno postupanje s radioaktivnim otpadom i naredi njegovo skladištenje, odnosno odlaganje na propisan način;
- i) uzima uzorke robe i drugih predmeta i preduzima i druge radnje i mjere radi obezbjeđenja dokaza;
- j) u prostorije Agencije poziva lica čije je prisustvo potrebno u postupku vođenja inspekcijskog nadzora u skladu sa Zakonom o upravnom postupku;
- k) izda prekršajni nalog licu odgovornom u pravnom licu ili da protiv njega pokrene prekršajni postupak pred nadležnim sudom;
- l) preduzme druge mjere i radnje za koje je ovlašten zakonom i propisima.

Inspekcija provodi stalni inspekcijski nadzor na osnovu plana inspekcije. Plan inspekcije se izrađuje na godišnjem nivou, pri čemu se uzima u obzir ukupan broj pravnih lica koja koriste izvore zračenja i potreba za učestalošću inspekcije na osnovu Pravilnika o inspekcijskom nadzoru u oblasti radijacijske i nuklearne sigurnosti i međunarodnih preporuka IAEA [10]. Godišnji okvirni plan inspekcije za jednog

inspektora sadrži 80 nadzora različitih ustanova i djelatnosti (Tabela 1). Preporučena frekvencija inspeksijskih nadzora je data u Pravilniku o inspeksijskom nadzoru u oblasti radijacijske i nuklearne sigurnosti [9].

Tabela 1. Primjer godišnjeg okvirnog plana inspekcije za inspektora Državne regulatorne agencije za radijacijsku i nuklearnu sigurnost s preporučenom frekvencijom inspeksijskih nadzora

	Ustanove i djelatnosti	Planirano inspekcija u 2016. g.	Preporučena frekvencija (godine)
1	Klinički centri i bolnice	8	1-2
2	Domovi zdravlja i Javne ustanove	10	2-3
3	Dijagnostički centri (RTG dijagnostika, veterinarska dijagnostika)	10	2
4	Stomatološki dijagnostički centri (panoramski i intraoralni RTG)	3	3
5	Stomatološke ordinacije (intraoralni RTG)	2	3
6	Industrijska radiografija	5	1
7	Transport	2	3
8	Mjerači i analitičke tehnike	4	2-3
9	Tehnički servisi i službe – komisija	20	1-2
10	Nabavka, distribucija, uvoz, izvoz	0	3
11	Kontrola prtljaga	0	
12	Nuklearni materijali (<i>safeguards</i>)	*	1
13	Neplanirane inspekcije (uključujući gromobrane)	16	
	UKUPNO	80	

* Inspekcije nuklearnih materijala uključene su u plan kroz inspekcije kliničkog centra i firmi za industrijsku radiografiju koje posjeduju nuklearne materijale.

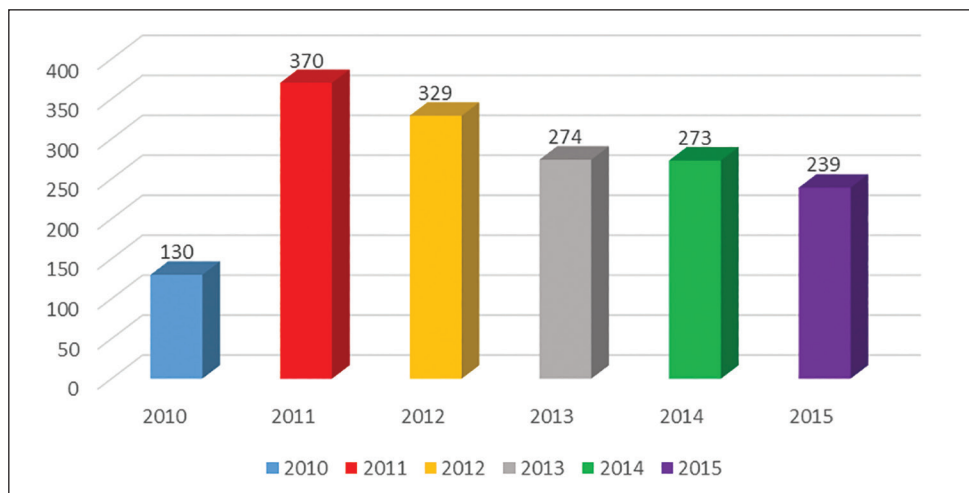
Sadržaj inspekcije u regulatornom procesu zavisi od veličine ili prirode opasnosti vezane za djelatnost koja se kontrolira. Inspeksijske aktivnosti se provode u skladu s pojedinostima utvrđenim u planu inspekcije. Plan inspekcije može se mijenjati tokom inspekcije kako bi se osiguralo postizanje ciljeva inspeksijskog nadzora. Sve izmjene i dopune plana inspekcije moraju biti dokumentirane i evidentirane. Tokom inspeksijskog nadzora inspektori moraju poštovati sve zahtjeve za zaštitu zdravlja i sigurnosti izvora zračenja nosioca autorizacije i Agencije, u zavisnosti od toga koji su strožiji.

Tokom inspeksijskog nadzora inspektor popunjava *check listu* koja je urađena za svaku djelatnost subjekta nadzora u skladu sa zakonskom regulativom. U *check listi* je navedena dokumentacija koja se pregleda, kao i uslovi koje trebaju da ispunjavaju prostor, kadar i oprema za obavljanje djelatnosti s izvorima zračenja. U skladu s Inspeksijskim nalogom, obavještenjem o inspekciji i početnim sastankom inspektor pregleda traženu dokumentaciju i po potrebi traži pojašnjenje od prisutnih

lica subjekta nadzora. Dokumenti koje treba pregledati, kao i procesi rada i prostor koji se pregledaju tokom pregleda, zavisit će od *check liste* po kojoj se vrši nadzor, ali i od vrste, obima i ciljeva inspekcije.

Prilikom pregleda dokumentacije, prostora i procesa rada sve činjenice koje inspektor utvrdi moraju se dokumentovati. Ukoliko smatra da je potrebno, inspektor može tražiti kopiju određenih dokumenata, mjerenja i evidencija ako mu je to neophodno za provođenje postupka inspeksijskog nadzora. Ukoliko se uzimaju uzorci i vrše mjerenja, o svim navedenim radnjama mora biti sačinjena zabilješka, a subjekt nadzora upoznat. Sva mjerenja koja inspektor vrši u toku inspeksijskog nadzora su privremena i orijentaciona. U slučaju neposredne opasnosti po život i zdravlje ljudi, inspektor donosi rješenje kojim nalaže privremene mjere.

Inspektori Agencije su kod pravnih lica i ustanova koje posjeduju i koriste izvore jonizirajućeg zračenja u periodu 2010–2015. godina obavili ukupno 1.615 nadzora (Slika 2) [8]. Tokom 2015. godine, inspektori Agencije su obavili 239 inspeksijskih nadzora. U 76 inspeksijskih nadzora utvrđeno je određeno nepoštivanje propisa iz oblasti radijacijske i nuklearne sigurnosti i naložene su mjere donošenjem rješenja o otklanjanju nedostataka. U četiri slučaja inspektori su nalagali mjere zbog opasnosti za zdravlje ljudi i okoliš i izdali rješenja o uklanjanju izvora nepoznatog vlasnika. U sedam slučajeva izdata su rješenja o zabrani rada profesionalno izloženim licima i zabrani obavljanja djelatnosti s uređajima koji proizvode jonizirajuće zračenje [8].



Slika 2. Godišnji broj obavljenih inspeksijskih nadzora od strane inspektora Državne regulatorne agencije za radijacijsku i nuklearnu sigurnost po godinama za period 2010–2015. [8]

Zaključak

Agencija je uspostavila planirani i sistematski program inspekcije pravnih lica koja posjeduju izvore zračenja i obavljaju djelatnost s izvorima zračenja, kao i tehničkih servisa, te provodi stalni inspekcijski nadzor na osnovu utvrđenog godišnjeg plana inspekcija. Ovim Agencija implementira sistem koji omogućava korištenje izvora jonizirajućeg zračenja u skladu sa zahtjevima za zaštitu zdravlja ljudi od štetnih efekata jonizirajućeg zračenja, kao i zahtjevima za zaštitu okoliša.

Reference

- [1] Zakon o radijacijskoj i nuklearnoj sigurnosti u Bosni i Hercegovini ("Službeni glasnik BiH", broj 88/07).
- [2] Politika o sigurnosti izvora jonizirajućeg zračenja u Bosni i Hercegovini ("Službeni glasnik BiH", broj 55/12).
- [3] Pravilnik o uslovima za promet i korištenje izvora jonizirajućeg zračenja ("Službeni glasnik BiH", broj 66/10).
- [4] Pravilnik o zaštiti od jonizirajućeg zračenja kod medicinske ekspozicije ("Službeni glasnik BiH", broj 13/11).
- [5] Pravilnik o zaštiti od zračenja kod profesionalne ekspozicije i ekspozicije stanovništva ("Službeni glasnik BiH", broj 102/11).
- [6] Pravilnik o tehničkim servisima za zaštitu od jonizirajućeg zračenja ("Službeni glasnik BiH", broj 68/15).
- [7] Pravilnik o Službi za zaštitu od zračenja i medicinsku fiziku ("Službeni glasnik BiH", broj 86/15).
- [8] Državna regulatorna agencija za radijacijsku i nuklearnu sigurnost; Izvještaj o stanju radijacijske i nuklearne sigurnosti u Bosni i Hercegovini za 2015. godinu, Sarajevo, april 2016. (dostupno na: www.darns.gov.ba).
- [9] Pravilnik o inspekcijskom nadzoru u oblasti radijacijske i nuklearne sigurnosti ("Službeni glasnik BiH", 65/10).
- [10] International Atomic Energy Agency; Inspection of Radiation Sources and Regulatory Enforcement, IAEA-TECDOC-1526, Vienna, 2007.

INSPECTION SUPERVISION IN MEDICAL APPLICATION OF IONIZING RADIATION SOURCES IN BOSNIA AND HERZEGOVINA

Abstract

The Inspectorate of the State Regulatory Agency for Radiation and Nuclear Safety, in accordance with the Law on Radiation and Nuclear Safety in Bosnia and Herzegovina ("Official Gazette of BiH" No. 88/07), carries out inspection supervision of the possession and use of sources of ionizing radiation. Radiation safety control for users of sources of ionizing radiation in medical applications is performed by state inspectors for radiation and nuclear safety. Inspection supervision controls the aspects of radiation protection in medical exposure, including the protection of patients, persons who consciously and voluntarily provide assistance to patients undergoing medical exposure, as well as volunteers who participate in the research, prescribed by the Ordinance on the Protection against Ionizing Radiation in Medical Exposure ("Official Gazette of BiH" No. 13/11). Furthermore, the aspects of radiation protection of professionally exposed persons (workers) and population are controlled according to the Ordinance on Radiation Protection in Occupational Exposure and Exposure of the Population ("Official Gazette of BiH" No. 102/11), as well as the application of other regulations in the field of radiation safety adopted by the State Regulatory Agency for Radiation and Nuclear Safety. This paper presents a framework procedure for inspection supervision of institutions that carry out medical exposure, in terms of radiation safety. Also presented is a short analysis of the inspection supervision of sources of ionizing radiation in medical application conducted in 2015.

Key words: regulatory inspection, ionizing radiation protection control, medical application of sources of ionizing radiation, medical exposure.

ZAKLJUČCI

Na naučnom simpoziju „Zaštita od jonizirajućeg zračenja kod medicinske ekspozicije“ koji je organizovao Odbor za maligna oboljenja Odjeljenja medicinskih nauka ANUBiH, održano je 13 predavanja. Nakon izlaganja eminentnih stručnjaka iz ove oblasti iz Bosne i Hercegovine, kao i na osnovu diskusija, doneseni su sljedeći zaključci:

- Jačanje kapaciteta učesnika u provođenju medicinske ekspozicije, kao i Državne regulatorne agencije za radijacijsku i nuklearnu sigurnost, kako bi se u potpunosti mogli implementirati međunarodni standardi iz oblasti zaštite od zračenja pacijenata;
- Uvođenje kursa zaštite od jonizirajućeg zračenja u osnovni plan i program medicinskih i stomatoloških fakulteta;
- Usklađivanje kursa iz zaštite od jonizirajućeg zračenja na fakultetima zdravstvenih studija sa međunarodnim standardima;
- Uspostavljanje specijalizacije iz oblasti medicinske fizike na cijeloj teritoriji države Bosne i Hercegovine u skladu sa međunarodnim standardima;
- Promocija zaštite od zračenja pacijenata kod ljekara koji upućuju na radiodijagnostičke i nuklearnomedicinske preglede.

Simpozij je pobudio interes kako medicinskih radnika, tako i ostalih, jer se radi o savremenoj temi koja predstavlja problem zbog široke primjene jonizirajućeg zračenja u medicinske svrhe. Potrebni su strogi kriteriji za upućivanje na radiološke pretrage, kao i obavezna primjena zaštite od jonizirajućeg zračenja.

Simpozij i publikovanje Zbornika podržala Državna regulatorna
agencija za radijacijsku i nuklearnu sigurnost

BOSNA I HERCEGOVINA
Državna regulatorna/regulativna
agencija za radijacijsku i
nuklearnu sigurnost



БОСНА И ХЕРЦЕГОВИНА
Државна регулаторна
агенција за радијациону и
нуклеарну безбједност

State Regulatory Agency for Radiation and Nuclear Safety

CIP - Katalogizacija u publikaciji

Nacionalna i univerzitetska biblioteka Bosne i Hercegovine, Sarajevo

615.849.11(063)(082)

NAUČNI simpozij Zaštita od jonizirajućeg zračenja kod medicinske ekspozicije
(2016 ; Sarajevo)

Zbornik radova / Naučni simpozij Zaštita od jonizirajućeg zračenja kod
medicinske ekspozicije, Sarajevo, 12. novembar/studeni 2016. ; urednica Lidija
Lincender-Cvijetić. - Sarajevo : Akademija nauka i umjetnosti Bosne i Hercegovine
= Academy of Sciences and Arts of Bosnia and Herzegovina, 2018. - 127 str. :
graf. prikazi ; 24 cm. - (Posebna izdanja / Akademija nauka i umjetnosti Bosne i
Hercegovine ; knj. 174. Odjeljenje medicinskih nauka ; knj. 51)

Na spor. nasl. str.: Scientific symposium Ionizing radiation protection during
medical exposure. - Tekst na bos., hrv., srp. i engl. jeziku. - Bibliografija uz svako
poglavlje

ISBN 978-9926-410-30-8

I. Stv. nasl. na upor. nasl. str. . - I. Scientific symposium Ionizing radiation
protection during medical exposure (2016 ; Sarajevo) Naučni simpozij Zaštita od
jonizirajućeg zračenja kod medicinske ekspozicije (2016 ; Sarajevo)

COBISS.BH-ID 25037062