

Naša iskustva u provođenju programa kontrole kvalitete uređaja za kompjutoriziranu tomografiju – multidisciplinarni pristup

¹ Katrin Nedeljko

¹ Martina Paragi

¹ Ardita Jahaj

^{2,3} Slaven Jurković

² Ana Diklić

² Doris Šegota

^{1,4} Klaudija Višković

¹ Zdravstveno veleučilište Zagreb

² Zavod za medicinsku fiziku i zaštitu od zračenja, Klinički bolnički centar Rijeka

³ Medicinski fakultet Sveučilišta u Rijeci

⁴ Klinika za infektivne bolesti „Dr. Fran Mihaljević“, Zagreb

Sažetak

Prema članku 33. Zakona o radiološkoj i nuklearnoj sigurnosti (NN 141/13, 39/15, 130/17, 118/18) te člancima 14., 15. i 16. Pravilnika o uvjetima i mjerama zaštite od ionizirajućeg zračenja za obavljanje djelatnosti s izvorima ionizirajućeg zračenja (NN 53/18), radiološki odjeli u Hrvatskoj koji provode dijagnostičke i intervencijske postupke u medicini upotrebom ionizirajućeg zračenja, obvezni su provoditi program osiguranja i kontrole kvalitete električnih uređaja koji proizvode ionizirajuće zračenje. Parametri koji moraju biti mjereni definirani su u Prilozima 3. do 12. koji su sastavni dio Pravilnika o uvjetima i mjerama zaštite od ionizirajućeg zračenja za obavljanje djelatnosti s izvorima ionizirajućeg zračenja (NN 53/18). U Klinici za infektivne bolesti „Dr. Fran Mihaljević“ u Zagrebu dnevne testove provode radiološki tehnolozi, dok složenije procedure mjesečno i godišnje provode medicinski fizičari. Tijekom provođenja testova kontrole kvalitete, upotrebljava se različita oprema za evaluaciju parametara uređaja. U slučaju odstupanja od preporučenih rezultata, moraju se poduzeti korektivne mjere kako bi se ispravila odstupanja. Sve procedure mora-

ju biti pohranjene, a izvješća upućena kompetentnim osobama i institucijama. Cilj je ovog rada prikazati multidisciplinarni pristup u provođenju programa kontrole kvalitete uređaja za kompjutoriziranu tomografiju u Klinici za infektivne bolesti „Dr. Fran Mihaljević“ u Zagrebu od ožujka do rujna 2018. godine. Multidisciplinarni tim sastojao se od radioloških tehnologa i radiologa iz Klinike za infektivne bolesti „Dr. Fran Mihaljević“ u Zagrebu, studenata radiološke tehnologije Zdravstvenog veleučilišta u Zagrebu i medicinskih fizičara iz Kliničkog bolničkog centra u Rijeci. Fizičari savjetuju radiološke tehnologe o tehničkim poboljšanjima kako bi postigli najbolje rezultate u provođenju svakodnevnih procedura kontrole kvalitete. Svi testirani parametri bili su u granicama prihvatljivosti, osim detekcije prstenastih artefakata. Da bi se otklonili prstenasti artefakti, pročelnica Zavoda za radiologiju i ultrazvuk Klinike i glavni radiološki tehnolog stupili su u kontakt s ovlaštenim servisom za održavanje uređaja. Servisni inženjeri proveli su kalibraciju detektora (s odgovarajućim fantomom) za točnost CT brojeva i uklanjanje prstenastih artefakata na snimkama.

Ključne riječi: osiguranje kvalitete, kontrola kvalitete, kompjutorizirana tomografija, multidisciplinarni pristup, radiološki tehnolozi, medicinski fizičari, studenti radiološke tehnologije

Datum primitka: 17.4.2019.

Datum prihvatanja: 1.9.2019.

DOI: 10.24141/1/5/2/13

Adresa za dopisivanje:

Klaudija Višković

A: Zdravstveno veleučilište Zagreb

Klinika za infektivne bolesti „Dr. Fran Mihaljević“,

Mirogojska cesta 8, 10000 Zagreb

E-mail: Klaudija.Viskovic@zvuh.hr

T: +385 1 2826161

Uvod

Prema članku 33. Zakona o radiološkoj i nuklearnoj sigurnosti (NN 141/13, 39/15, 130/17, 118/18) te člancima 14., 15. i 16. Pravilnika o uvjetima i mjerama zaštite od ionizirajućeg zračenja za obavljanje djelatnosti s izvorima ionizirajućeg zračenja (NN 53/18) radiološki zavodi i odjeli obvezni su provoditi kontrolu kvalitete električnih uređaja koji proizvode ionizirajuće zračenje, a koji se upotrebljavaju za dijagnostičke i intervencijske postupke u radiologiji^{1,2}. Parametri ispitivanja definirani su Pravilnikom o uvjetima i mjerama zaštite od ionizirajućeg zračenja za obavljanje djelatnosti s izvorima ionizirajućeg zračenja (NN 53/18)². Člankom 4 u točki 108 Zakona o radiološkoj i nuklearnoj sigurnosti (NN 141/13, 39/15, 130/17, 118/18) provjera kvalitete definirana je kao „...skup postupaka (priprema, usklađivanje, provedba) čija je svrha održanje i unapređenje kvalitete. Provjera kvalitete obuhvaća praćenje stanja, ocjenu i održanje svih provjerljivih i mjerljivih parametara sustava ili uređaja na propisanoj razini”¹. Svrha je provođenja kontrole kvalitete osiguranje kvalitetne i sigurne pretrage, odnosno smanjenje doze zračenja koliko je razumski moguće postići, pri čemu se neće umanjiti dijagnostička vrijednost same pretrage što je u skladu s principom ALADA u radiologiji (engl. *As Low As Diagnostically Acceptable*). To znači da se prilikom radioloških pretraga mora upotrebljavati najmanja moguća doza zračenja za postizanje dijagnostički prihvatljive snimke.

Prilogom 15. Pravilnika o uvjetima i mjerama zaštite od ionizirajućeg zračenja za obavljanje djelatnosti s izvorima ionizirajućeg zračenja (NN 53/18) svaka ustanova obvezna je odrediti osobu odgovornu za uspostavu i provođenje Programa osiguranja kvalitete, koordinatora i voditelja Programa osiguranja kvalitete te izvršitelja postupaka². Za provođenje testova niže razine zaduženi su radiološki tehnolozi, no u skladu s dobrom praksom i brojnim međunarodnim preporukama u kontroli kvalitete, obvezan je sudjelovati medicinski fizičar. Njegove su dužnosti savjetovanje o optimizaciji, provođenje testova kontrole kvalitete više razine (godišnji testovi) te savjetovanje o drugim aspektima uporabe ionizirajućeg zračenja.

Glavni cilj ovog istraživanja bio je prikazati multidisciplinarni pristup te uključanje studenata radiološke tehnologije, radioloških tehnologa, medicinskih fizičara i radiologa u provođenje kontrole kvalitete uređaja za kompjutoriziranu tomografiju (engl. *Computed Tomography*, CT) u Klinici za infektivne bolesti „Dr. Fran Mihaljević” u Zagrebu.

Metode

U tim kontrole kvalitete bila su uključena četiri radiološka tehnologa i radiolog iz Klinike za infektivne bolesti „Dr. Fran Mihaljević” u Zagrebu te tri medicinska fizičara iz Kliničkog bolničkog centra (KBC) Rijeka, Zavoda za medicinsku fiziku i zaštitu od zračenja. U istraživanje su bile uključene i tri studentice treće godine studija radiološke tehnologije koje su educirane za provođenje testova niže razine tijekom dviju edukacijskih radionica u Klinici za infektivne bolesti „Dr. Fran Mihaljević” u Zagrebu, koje su vodili medicinski fizičari. Edukacija je trajala dva radna dana u ožujku 2018. godine.

Mjerenja su provedena od ožujka do rujna 2018. godine. Testove niže razine (dnevne i mjesečne) provodili su radiološki tehnolozi i studentice radiološke tehnologije pod kontrolom tehnologa i medicinskih fizičara. Testovi niže razine obuhvaćaju: detekciju šuma, provjeru homogenosti CT brojeva, točnosti CT brojeva, detekciju artefakata i točnosti topograma te vizualnu provjeru. Za izvođenje navedenih testova upotrebljava se jednostavna oprema (fantom koji isporučuje proizvođač – dvodijelni polimetilmetakrilat – PMMA fantom s umecima). Kompleksnije, godišnje testove: CT dozni indeks ($CTDI_w$); CT dozni indeks u zraku ($CTDI_{air}$); debljina sloja; nagib ležaja za pacijenta; artefakte; razlučivost i kontrast provodili su medicinski fizičari. Za izvođenje kompleksnih testova upotrijebljeni su: modularni fantom za provjeru kvalitete slike, fantom za ispitivanje CT doznog indeksa ($CTDI_{phantom}$), fantom s umecima različitih gustoća (za simulaciju gustoće pojedinih tkiva u ljudskom tijelu), multimetar, $CTDI$ ionizacijska komora, radiokromski filmovi te ravvalo ili mjerna traka. Učestalost ispitivanja pojedinih parametara prikazana je u tablici 1.

Mjerenja su provedena na jednoslojnom uređaju za kompjutoriziranu tomografiju (jednoslojni CT uređaj, Shimadzu SCT 7800 TX, Kyoto, Japan, 2004.), a prema protokolu su provedeni sljedeći testovi⁴:

1. CT dozni indeks ($CTDI_w$)⁴

Provjerom CT doznog indeksa procjenjivana je doza u središnjem dijelu skeniranog volumena. Godišnje ispitivanje obavio je medicinski fizičar, pri čemu su upotrijebljeni multimetar, ionizacijska komora duljine 100mm i PMMA fantom za dozimetriju glave, promjera 16cm te PMMA fantom za dozimetriju tijela, promjera 32cm. Fantom za dozimetriju glave postavlja se na stalak za glavu

Tablica 1. Učestalost ispitivanja parametara uređaja za kompjutoriziranu tomografiju (CT)²

PARAMETAR	GRANICE DOPUŠTENIH ODSUPANJA	Učestalost ispitivanja			Napomene
		Godišnje	Mjesečno	Dnevno	
Dozimetrijske karakteristike					
CTDI _{HEAD}	±20% od proizvođačke specifikacije	X			Kod prihvatnog ispitivanja, najmanje za dvije različite kombinacije kV, debljine sloja i broja slojeva
CTDI _{BODY}	±0% od proizvođačke specifikacije	X			
CTDI _{AIR}	±20% ispitivanja prihvaćanja	X			
Verifikacija DLP, CTDI _{VOL}	±20% indicirane vrijednosti	X			
CTDI _{VOL} za odabrane kliničke protokole	Standardna glava, odrasli <80mGy Abdomen, odrasli <30mGy Abdomen, djeca starosti do 5 g <25mGy	X			
Debljina sloja (klinički korištene vrijednosti)					
Debljina sloja	Odstupanje: <0,5mm za debljinu sloja <1mm <1mm za debljinu sloja >2mm	X			
Kvaliteta slike					
Šum	±15% od referentne vrijednosti	X	X	X	
Homogenost CT brojeva	Odstupanje od centralne vrijednosti	X	X	X	Druge vrijednosti za druge materijale
Točnost CT brojeva	Voda: ±10HU za vodu do promjera 30cm	X			Druge vrijednosti za druge materijale
Točnost lasera	Odstupanje manje od 5mm	X	X		
Točnost topograma	Odstupanje manje od 2mm	X	X		
Prostorna rezolucija	Odstupanje od proizvođačke specifikacije <10 % ili 0,5lp/mm, ovisno što je veće	X			Mora se koristiti metodologija mjerenja koju je specificirao proizvođač

ležaja za pacijenta, ionizacijska komora u središnji otvor fantoma, dok se u rubne otvore postavljaju pripadajući umetci. Mjerenja su provedena za centralni i sve rubne položaje komore, a zatim je slijedilo računanje indeksa CTDI₁₀₀ u centralnoj i rubnim otvorima zasebno, računanje indeksa CTDI_w i odstupanja vrijednosti prikazanih na konzoli u odnosu na izračunane vrijednosti. Rezultati su upisivani u ispitni obrazac (Prilog 1), a dozvoljeno odstupanje za ovaj je parametar manje od 20%.

2. CT dozni indeks u zraku (CTDI_{air})⁴

Ispitivanje CT doznog indeksa u zraku provedeno je za sve klinički korištene napone na cijevi uz standardnu kolimaciju snopa i za sve klinički korištene kolimacije uz standardni napon u cijevi. Ova provjera također je u

nadležnosti medicinskog fizičara i izvedena je u sklopu godišnjih ispitivanja. Oprema uključuje multimetar, CT ionizacijsku komoru duljine 100mm i nosač ionizacijske komore. Ionizacijska komora postavlja se u središte kućišta tako da horizontalne i vertikalne laserske zrake prolaze njezinom sredinom. Područje skeniranja ionizacijske komore odabire se na jednak način kao i kod CT doznog indeksa, dakle središte komore postavlja se u sredinu područja skeniranja, nakon čega slijedi ispitivanje uz promjenjive vrijednosti napona na cijevi i fiksnu vrijednost kolimacije snopa (1x10mm). Ležaj za pacijenta mora biti u nultom položaju, odabire se aksijalni način rada i jedna rotacija. Po tri mjerenja izvode se za svaku vrijednost napona te se računaju srednje vrijednosti izmjerenih doznih indeksa u zraku. Računa se i odstupanje srednje vrijednosti od temeljne vrijednosti dobivene na

prihvatnim mjeranjima koje ne smije biti veće od 20%. Drugi dio ispitivanja obavljan je uz promjenjive vrijednosti kolimacije snopa, a fiksnu vrijednost napona na cijevi (120kV). Jedina je razlika u odnosu na prvi dio ispitivanja dodatno računanje srednje vrijednosti doznog indeksa u zraku, između dvaju navedenih izračuna. Svi su podaci upisivani u odgovarajući ispitni obrazac, a odstupanje također ne smije biti veće od 20%.

3. Debljina sloja⁴

Za ispitivanje debljine sloja upotrijebljen je *Pro – CT phantom geometry module*. Ispitivanje provodi medicinski fizičar jednom godišnje. Stalak s modulima postavljen je na ležaj za pacijenta. Kućište mora biti u vertikalnom položaju, a obje horizontalne laserske zrake moraju prolaziti gornjim rubom stalka. Modul za provjeru debljine sloja skeniran je u aksijalnom načinu rada kroz najčešće korišten protokol za glavu. Određeni su najveći CT broj žičane rampe (CT_{max}) i CT broj okoline (CT_b). CT_{max} dobiven je smanjenjem širine prozora sive skale na najmanju moguću vrijednost i pomicanjem središta tog prozora do mjesta na slici gdje rampa gotovo nestaje te je na tom mjestu očitana vrijednost CT broja izražena u Hounsfieldovim jedinicama (engl. *Hounsfield Unit – HU*). CT_b određen je računanjem srednje vrijednosti CT broja blizu rampe. Dobivenim CT brojevima izračunana je vrijednost CT broja na polovici maksimuma (CT_{half}), nakon čega je središte prozora sive skale postavljeno na dobivenu vrijednost te je širina prozora smanjena na najmanju moguću vrijednost. Slijedilo je mjerenje duljine rampe za dobivanje pune širine na polovici maksimuma (engl. *Full Width Half Maximum – FWHM*). Izračunana je debljina sloja te su rezultati uspoređivani s nominalnom debljinom sloja. Rezultati ispitivanja upisivani su u odgovarajući ispitni obrazac. Prihvaćena odstupanja razlikuju se za pojedine nominalne debljine slojeva. Za debljinu sloja manju od 1mm maksimalno odstupanje iznosi $\pm 0,5$ mm, za debljinu od 1 do 2mm odstupanje ne smije biti veće od 50%, dok je za nominalne debljine veće od 2mm maksimalno dozvoljeno odstupanje ± 1 mm.

4. Nagib ležaja za pacijenta⁴

Ispitivanje nagiba ležaja za pacijenta provodi medicinski fizičar jednom godišnje upotrebljavajući *Pro – CT phantom geometry module*. Postupak je bio jednak ispitivanju debljine sloja sve do skeniranja modula koji sadrži četiri žičane rampe, odnosno dva seta nasuprotnih rampi. Nakon dobivenog skena, označene su glavne

osi modula tako da se kroz sredine nasuprotnih rampi povukla horizontalna i vertikalna linija te je zatim mjerena udaljenost središta svih četiriju rampi od povučene linija i određena srednja vrijednost uz primjenu apsolutnih vrijednosti pojedinih udaljenosti. Podaci su upisivani u odgovarajući ispitni obrazac. Maksimalno dopušteno odstupanje iznosi 2mm.

5. Artefakti⁴

Artefakti su nepoželjne karakteristike koje ometaju interpretaciju medicinskih slika. Ovo ispitivanje svakodnevno provodi radiološki tehnolog, a jednom godišnje provodi ga medicinski fizičar. Za mjerenje je upotrijebljen *Pro – CT phantom homogeneous module* (vodeni fantom). Postupak je bio jednak ispitivanju debljine sloja sve do skeniranja modula. Zatim je bilo potrebno vizualno evaluirati snimke pri čemu bi znatniji artefakti i izobličenja trebali biti odsutni. Rezultati su bilježeni u odgovarajući ispitni obrazac, a neprihvatljivih artefakata nije smjelo biti.

6. Šum⁴

Šum se na medicinskim slikama očituje u obliku zrnatosti. Temeljna vrijednost šuma određuje se poslije instalacije, popravka ili zamjene bitnih dijelova uređaja. Ovo ispitivanje također dnevno i mjesečno provodi radiološki tehnolog, a godišnje ispitivanje provodi medicinski fizičar. Fizičar primjenjujući *Pro – CT phantom homogeneous module* provodi postupak identičan ispitivanju debljine sloja, samo što je nakon skeniranja modula odabrano područje interesa u centru slike (površine oko 500mm² ili promjera oko 25mm) te je u tom području očitana standardna devijacija CT broja koja je uspoređena s temeljnom vrijednošću. Izračunano je odstupanje šuma koje ne smije biti veće od 15%, a sve vrijednosti ispitivanja upisivane su u odgovarajući ispitni obrazac.

7. Homogenost CT broja⁴

Temeljna vrijednost razlike srednje vrijednosti CT broja pojedinog rubnog područja interesa ($ROI_{1,2,3,4}$) od srednje vrijednosti CT broja za centralno područje (engl. *Region of Interest – ROI_{central}*) određena je nakon instalacije, popravka ili zamjene bitnih dijelova uređaja. Test svakodnevno provodi radiološki tehnolog, dok ga godišnje provodi medicinski fizičar. Postupak godišnjeg ispitivanja bio je jednak ispitivanju debljine sloja, a nakon skeniranja *Pro – CT phantom homogeneous modu-*

lea, očitana je srednja vrijednost CT broja u područjima interesa površine oko 500mm² ili promjera oko 25mm (odabranima u centru i na četirima mjestima uz rub slike). Slijedilo je računanje razlike srednje vrijednosti srednjih vrijednosti CT broja područja interesa za svako rubno područje interesa i područja interesa u centru slike. Rezultati su upisivani u odgovarajući ispitni obrazac. Odstupanje razlike rubnog i središnjeg CT broja ne smije biti veće od $\pm 4HU$ u odnosu na temeljnu vrijednost. Dozvoljeno odstupanje CT broja u rubnim područjima od CT broja u središtu slike iznosi $\pm 20HU$.

8. Točnost CT brojeva⁴

Temeljna vrijednost CT broja u području interesa za svaki senzimetrijski objekt (akril, politetrafluoretilen – PTFE, polietilen, poliamid, zrak) određena je poslije instalacije, popravka ili zamjene bitnih dijelova uređaja. Provjeru je u sklopu godišnjih ispitivanja proveo medicinski fizičar. Za provedbu ispitivanja potreban je *Pro – CT phantom sensitometric module*, a postupak je bio jednak provjerama prethodnih parametara. Nakon skeniranja modula, očitana je srednja vrijednost CT broja u područjima interesa u centru svakog senzimetrijskog objekta, kao i bilo gdje u modulu građenom od ekvivalenta vodi. Nakon toga izračunano je odstupanje srednje vrijednosti CT broja u područjima interesa svakog senzimetrijskog objekta i modula u odnosu na temeljne vrijednosti. Podaci su upisivani u odgovarajući ispitni obrazac. Prihvatljiva odstupanja iznose $\pm 10HU$ za vodu, $\pm 30HU$ za zrak, $\pm 30HU$ za ostalo, dok odstupanje od temeljne vrijednosti za senzimetrijske objekte mora biti manje od 4HU.

9. Razlučivost⁴

Prostorna razlučivost sposobnost je vizualizacije visokokontrastnih objekata koji se nalaze na malim udaljenostima. Temeljna vrijednost određena je poslije instalacije, popravka ili zamjene bitnih dijelova uređaja. Provjeru je u sklopu godišnjih ispitivanja proveo medicinski fizičar. Za ispitivanje je upotrijebljen *Pro – CT phantom high contrast module*, a postupak je identičan postupcima u opisima prethodnih parametara, sve do skeniranja modula, nakon čega se očitava broj vidljivih linijskih parova po milimetru (lp/mm). Dozvoljeno odstupanje iznosi $\leq 10\%$ vrijednosti koju propisuje proizvođač, odnosno 0,5lp/mm (u obzir se uzima veća od ovih dviju opcija), s time da se broj vidljivih linijskih parova ne smije razlikovati od temeljne vrijednosti. Rezultati su upisivani u odgovarajući ispitni obrazac.

10. Kontrast⁴

„Rezolucija niskog kontrasta definirana je kao najmanji vidljivi objekt za dani kontrast i različite parametre cijevi uređaja (kV, mAs).” Temeljni broj vidljivih objekata za svaku skupinu određen je nakon instalacije, popravka ili zamjene bitnih dijelova uređaja. Provjeru je u sklopu godišnjih ispitivanja proveo medicinski fizičar. Za ispitivanje je upotrijebljen *Pro – CT phantom low contrast module*, a postupak je bio jednak ispitivanjima prethodnih parametara, sve do skeniranja. Nakon toga je u odgovarajući ispitni obrazac bilježen broj vidljivih objekata u pojedinoj skupini, a taj se broj ne smije razlikovati od temeljnih vrijednosti.

11. Vizualna provjera⁴

Vizualna provjera odnosi se na utvrđivanje eventualnih vanjskih oštećenja na upravljačkoj konzoli, stativu, ležaju za pacijenta, kabelima ili ostalim dijelovima uređaja. Tijekom provođenja ispitivanja provjerena je ispravnost zatvaranja vrata, kao i postojanje upozorenja o ionizirajućem zračenju i upozorenja za trudnice na vratima, dostupnost zaštitnih pregača u prostoriji s CT uređajem te je utvrđena ažurnost provođenja dnevnih i mjesečnih ispitivanja. Provjeru su provodili radiološki tehnolozi. Podaci su upisivani u odgovarajući ispitni obrazac.

12. Debljina ozračenog sloja⁴

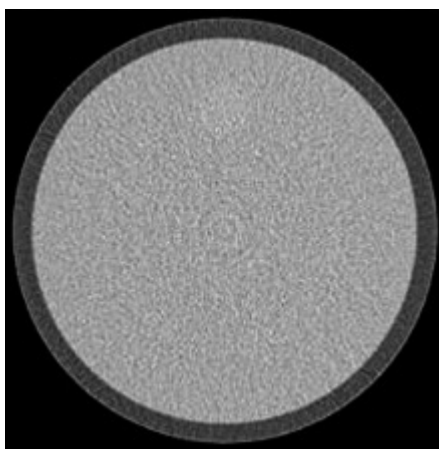
Debljina sloja CT uređaja, odnosno širina kolimiranog snopa rendgenskog zračenja po osi z, ispitivana je filmom *GafChromic*. Ispitivanje je proveo medicinski fizičar kao godišnju provjeru. Film je postavljen na ležaj za pacijenta, a ležaj u izocentar. Odabran je protokol u aksijalnom načinu rada i jedna od ponuđenih kolimacija. Nakon skeniranja, mjerena je debljina ozračenog dijela filma, nakon čega je vršen izračun za svaku moguću postavku kolimacije na uređaju.

Radiološki tehnolozi i medicinski fizičari bili su dužni voditi evidencije o provedenim ispitivanjima i ispravnosti rada uređaja te su o rezultatima izvijestili nadležne osobe i ustanove. Ispitne obrasce svaka ustanova koja koristi električne uređaje za proizvodnju ionizirajućeg zračenja dužna je čuvati najmanje pet godina u prostoriji gdje se nalazi izvor zračenja, dok se zapisi o provedenim ispitivanjima čuvaju najmanje deset godina od dana prestanka upotrebe uređaja².

Istraživanje je odobrilo Etičko povjerenstvo Klinike za infektivne bolesti „Dr. Fran Mihaljević”, kao i Etičko povjerenstvo Zdravstvenog veleučilišta u Zagrebu.

Rezultati

Medicinski fizičari u izvješću o mjerenjima provedenima na uređaju prikazali su rezultate koji nisu bili unutar kriterija prihvatljivosti. Bila je riječ o kružnim artefaktima (slika 1) koji su bili vidljivi na homogenom dijelu fantoma kod višestrukih ponavljanja testa. Fizičari su preporučili „kalibraciju u zraku” svako jutro prije početka upotrebe CT uređaja. Ako bi kružni artefakti i dalje bili prisutni, preporuka je bila da se pozove ovlaštenu tehnički servis koji održava i popravljiva uređaj. Svi ostali rezultati bili su unutar kriterija prihvatljivosti, a radiološki tehnolozi redovito su provodili dnevne testove kontrole kvalitete.



Slika 1. **Kružni artefakti na homogenom dijelu fantoma**

Preporuke medicinskih fizičara: preporučuje se „kalibracija u zraku” uređaja svako jutro prije početka upotrebe. Ako kružni artefakti i dalje budu prisutni, preporučuje se pozvati servis. Svi su ostali rezultati unutar kriterija prihvatljivosti. Radiološki tehnolozi redovito provode dnevne testove kontrole kvalitete.

Radiološki tehnolozi prikupili su podatke o ekspozicijskim parametrima pregleda na temelju kojih su izračunane dijagnostičke referentne razine (engl. *Diagnostic Reference Level – DRL*), i to volumnog CT doznog indeksa (engl. *Computed Tomography Dose Index_{volume} – CTDI_{vol}*) u mGy te produkta duljine i doze (engl. *Dose Length Product – DLP*) izraženog u mGycm za CT preglede glave, vrata, prsnog koša, abdomena i abdomena sa zdjelicom. U izvješću su fizičari naveli da je, usporedbom dobivenih vrijednosti s preporučenim vrijednostima iz Pravilnika o uvjetima za primjenu izvora ionizirajućeg

zračenja u svrhu medicinskog i nemedicinskog ozračenja (NN 42/2018)³ Zakona o radiološkoj i nuklearnoj sigurnosti (NN 141/13, 39/15, 130/17 i 118/18)¹, utvrđeno da nijedan pregled koji je analiziran ne premašuje preporučene vrijednosti. Izračunane vrijednosti, kao i preporučene nacionalne i europske vrijednosti, prikazane su u tablicama 2 i 3.

Tablica 2. **Volumni CT dozni indeks (engl. *Computed Tomography Dose Index – CTDI_{vol}*); vrijednosti izražene u mGy**

	KIBFM*	HR**	EZ***
CT glave	48,4	60	60
CT vrata	20,2	22	NA#
CT prsnog koša	9,0	10	10
CT abdomena	9	20	25

* Klinika za infektivne bolesti „Dr. Fran Mihaljević” u Zagrebu
 ** Preporučene vrijednosti za Republiku Hrvatsku³
 *** Preporučene vrijednosti za zemlje Europske zajednice^{5,6}
 #NA – (engl. *Not Applicable*) – nije primjenjivo

Tablica 3. **Produkt duljine doze (engl. *Dose Length Product – DLP*) vrijednosti izražene u mGycm**

	KIBFM*	HR**	EZ***
CT glave	NA#	1050	1000
CT vrata	333,3	600	500
CT prsnog koša	267,8	450	400
CT abdomena	207,9	1000	800

* Klinika za infektivne bolesti „Dr. Fran Mihaljević” u Zagrebu
 ** Preporučene vrijednosti za Republiku Hrvatsku³
 *** Preporučene vrijednosti za zemlje Europske zajednice^{5,6}
 #NA – (engl. *Not Applicable*) – nije primjenjivo

Rasprava

Vrijednosti doznih indikatora – DRL-ovi predstavljaju smjernice za optimizaciju pregleda koji primjenjuju ionizirajuće zračenje. Uspostava lokalnih DRL-ova može uvelike pridonijeti kvaliteti dijagnostičke procedure te je ključan dio programa osiguranja kvalitete⁵. Za CT uređaje, DRL-ovi se definiraju za dva dozna indikatora: CTDI_{vol} i DLP (tablice 2 i 3). Naime, CTDI_{vol} pruža informaciju o pravilnom odabiru parametara snimanja. DLP daje informaciju o pravilnom odabiru duljine područja snimanja te broja faza snimanja.

Izračunane lokalne DRL vrijednosti za DLP predstavljaju ukupne DLP vrijednosti cijelog pregleda, tj. zbroj DLP vrijednosti svih faza⁵. U svrhu optimizacije, korisno je pratiti i DLP vrijednost svake pojedine faze. $CTDI_{vol}$ vrijednost bilježi se za svaku fazu odvojeno i ne smije se zbrajati ni uprosječiti.

$CTDI_{vol}$ vrijednost verificirana je u sklopu programa osiguranja kvalitete. Za analizu su odabrani najčešći pregledi koji se provode na ovom CT uređaju. Lokalni DRL-ovi izračunani su kao medijan vrijednosti prikupljenih podataka u skladu s međunarodnim preporukama⁵.

Usporedba lokalnih vrijednosti izmjerenih u Klinici za infektivne bolesti „Dr. Fran Mihaljević” u Zagrebu s preporučenim vrijednostima za Republiku Hrvatsku i Europsku zajednicu (EZ) pokazala je da su lokalne vrijednosti niže od preporučenih nacionalnih vrijednosti i vrijednosti za EZ, što je svakako povoljno i zadovoljavajuće.

Zakon nas obvezuje da dozne indikatore u obliku tablica imamo jasno istaknute na svakom uređaju¹. Jedan je od razloga da pacijent bude upućen u vrijednosti doznih indikatora na pojedinom uređaju za osobu prosječne mase i visine. Osim toga, svrha je da kliničari budu upoznati s doznim indikatorima svojih pacijenata te da radiološki tehnolozi mogu odmah uočiti odstupanja vrijednosti doznih indikatora tijekom pregleda.

Kružni artefakti ne moraju nužno biti vidljivi na kliničkoj snimci, a samo u rijetkim slučajevima mogu biti zamijenjeni za patološku promjenu (slika 1). Unatoč tome, ovi artefakti mogu narušiti dijagnostičku kvalitetu te ih smatramo nedopuštenim odstupanjem⁷. Osim očito i jasno vidljivih artefakata, koji čine snimke klinički neprihvatljivima, mogući su i artefakti koje radiolozi ne uočavaju, ali mogu negativno utjecati na interpretaciju snimke. U istraživanju američkih stručnjaka o prepoznavanju i izbjegavanju artefakata na CT-u, navodi se da se prstenasti artefakti tek rijetko mogu zamijeniti s patologijom⁷. Međutim, mogu smanjiti oštrinu i rezoluciju snimke, osobito u središnjim dijelovima gdje se stvaraju zatamnjena područja koja otežavaju pravilnu kliničku interpretaciju⁷. U našem slučaju liječnici na snimkama nisu vidjeli artefakte. Upravo iz tog razloga, a prema preporuci medicinskih fizičara, radiološki tehnolozi svako su jutro prije početka korištenja uređaja ponovili „kalibraciju u zraku”. Prisutnost artefakata tako nije uklonjena pa su pročelnica Zavoda za radiologiju i ultrazvuk i glavni radiološki tehnolog Klinike za infektivne bolesti u Zagrebu stupili u kontakt s ovlaštenim servisom čiji su inženjeri promijenili određene parametre protokola. Na taj je način uzrok artefakata uklonjen.

Svi ostali mjereni parametri bili su u granicama prihvatljivosti te nije bilo potrebe za poduzimanjem daljnjih mjera, već je preporuka medicinskih fizičara da radiološki tehnolozi nastave s provođenjem dnevnih testova kontrole kvalitete.

Sudjelovanje studentica treće godine studija radiološke tehnologije ostvareno je njihovim uključivanjem u dvodnevne radionice pod vodstvom medicinskih fizičara te prisustvovanjem vršenju dnevnih i mjesečnih te godišnjih testova koje su obavljali radiološki tehnolozi i medicinski fizičari. Studentice su imale priliku i samostalno obavljati testove niže razine uz superviziju radioloških tehnologa i medicinskih fizičara. Osim toga, dobile su smjernice kako se koristiti literaturom, koju opremu upotrebljavati i koje obrasce treba ispunjavati. Usvojile su znanja o provođenju godišnjih testova te o načinu i metodama provođenja dnevnih ispitivanja, za čije će provođenje kao budući radiološki tehnolozi postati odgovorne. Osim toga, u cijelom razdoblju ispitivanja, studentice su pod nadzorom i kontrolom radioloških tehnologa i fizičara prikupljale podatke o medicinskom ozračenju pacijenata. Kao dio multidisciplinarnog tima, dobile su jasne zadatke i shvatile su važnost suradnje svih članova tima. Upoznale su sve korake u cjelokupnom procesu kontrole kvalitete CT uređaja i stekle znanja i vještine za mogućnost samostalnog rada.

Zaključak

Kompjutorizirana tomografija predstavlja jedan od najvećih doprinosa medicinskom ozračenju. U cilju postizanja maksimalne sigurnosti i dijagnostičke kvalitete pretrage, a uz minimalno ozračenje pacijenta, vrlo je važno redovito provoditi kontrolu kvalitete. Kao rezultat ovog istraživanja jasno su definirani i redovito provedeni dnevni i mjesečni testovi kontrole kvalitete CT uređaja koje obavljaju radiološki tehnolozi Zavoda za radiologiju i ultrazvuk Klinike za infektivne bolesti „Dr. Fran Mihaljević” u Zagrebu. Medicinski fizičari bili su uključeni u sve aspekte kontrole kvalitete, a servisni inženjeri povezani s medicinskim fizičarima. Odstupanja ispitivanih parametara bila su svedena unutar kriterija prihvatljivosti te su utvrđene lokalne dijagnostičke referentne vrijednosti doznih indikatora.

Studentice studija radiološke tehnologije Zdravstvenog veleučilišta u Zagrebu bile su dio istraživačkog tima. Od medicinskih fizičara i radioloških tehnologa dobile su edukaciju o načinu izvođenja testova niže i više razine, o važnosti provođenja programa osiguranja i kontrole kvalitete CT-a te visoku razinu znanja potrebnu za samostalan rad na uređajima.

Prikazani rezultati dio su projekta koji je financiralo Zdravstveno veleučilište u Zagrebu 2018. godine (Klasa: 003-08/18-01/03): Provođenje kontrole i osiguranja kvalitete električnih uređaja koji proizvode ionizirajuće zračenje i procjena medicinskog zračenja pacijenata na Zavodu za radiologiju i ultrazvuk Klinike za infektivne bolesti „Dr. Fran Mihaljević” u Zagrebu; voditeljica prim. dr. sc. Klaudija Višković, dr. med.

Referencije

1. Hrvatski sabor. Zakon o radiološkoj i nuklearnoj sigurnosti NN 141/13, 39/15, 130/17, 118/18, Narodne novine (Zagreb); 2019. Dostupno na: <https://www.zakon.hr/z/289/Zakon-o-radiolo%C5%A1koj-i-nuklearnoj-sigurnosti> (pristupljeno 7.5.2019.)
2. Pravilnik o uvjetima za primjenu izvora ionizirajućeg zračenja za obavljanje djelatnosti s izvorima ionizirajućeg zračenja [internet] NN 53/18. Narodne novine (Zagreb); 2018. Dostupno na: https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2018_06_53_1062.html (pristupljeno 5.02.2019.)
3. Pravilnik o uvjetima za primjenu izvora ionizirajućeg zračenja u svrhu medicinskog i nemedicinskog ozračenja [internet] NN 42/18, Narodne novine (Zagreb); 2018. Dostupno na: https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2018_05_42_813.html (pristupljeno 16.04.2019.)
4. Državni zavod za radiološku i nuklearnu sigurnost. Upute za izradu priručnika za provjeru kvalitete rendgenskih uređaja za kompjutoriziranu tomografiju [internet]. Zagreb; 2014. Dostupno na: <https://civilna-zastita.gov.hr/podrucja-djelovanja/radioloska-i-nuklearna-sigurnost/sluzba-za-radiolosku-sigurnost/kontrola-kvalitete/129> (pristupljeno 7.5.2019.)
5. Vaňó E, Miller DL, Martin CJ, Rehani MM, Kang K, Rosenstein M. et al. International Commission on Radiological Protection. Diagnostic Reference Levels in Medical Imaging. Ann ICRP. 2017 Oct;46(1):1-144.
6. Study on European Population Doses from Medical Exposure (Dose Datamed 2, DDM2). DDM2 Project Report Part 1: European Population Dose. Dostupno na: http://dd-med.eu/_media/news/ddm2_project_report_part_1_19_may_2014_final.pdf (pristupljeno 16.04.2019.)
7. Barrett J., Keat N. Artifacts in CT: Recognition and Avoidance. RadioGraphics; 2004. 1679-1791.

Popis skraćenica

- ALADA – engl. As Low As Diagnostically Acceptable – najniže koliko je dijagnostički prihvatljivo
- CT – engl. Computed Tomography – kompjutorizirana tomografija
- CTDI – CT dozni indeks
- DLP – engl. Dose Length Product – produkt duljine i doze
- DRL – engl. Diagnostic Reference Level– dijagnostička referentna razina
- EZ – Europska zajednica
- FWHM – engl. Full Width at Half Maximum – puna širina na polovici maksimuma
- HU – engl. Hounsfield Units – Hounsfieldove jedinice
- KBC – Klinički bolnički centar
- NN – Narodne novine
- PMMA – polimetilmetakrilat

CT DOZNI INDEKS (CTDI_w)**1.1. STANDARDNI FANTOM ZA DOZIMETRIJU GLAVE (PMMA, promjera 16cm)****UVJETI ISPITIVANJA**

Vrsta fantoma _____ Veličina fantoma _____
 Odabrani protokol _____

IZMJERENE I IZRAČUNANE VRIJEDNOSTI

	kV	mA	s	mAs	mm	kolimacija
Postavljeni parametri						
Položaj komore u fantomu	središte		3	6	9	12
Izmjereni CTDI _{100M} , mGy*cm						
Izračunani CTDI ₁₀₀ , mGy						
Izračunani CTDI _{wrač} , mGy						
Očitani CTDI _{wmonitor} , mGy						
Odstupanje %						

1.2. STANDARDNI FANTOM ZA DOZIMETRIJU TIJELA (PMMA, promjera 32cm)**UVJETI ISPITIVANJA**

Vrsta fantoma _____ Veličina fantoma _____
 Odabrani protokol _____

IZMJERENE I IZRAČUNANE VRIJEDNOSTI

	kV	mA	s	mAs	mm	kolimacija
Postavljeni parametri						
Položaj komore u fantomu	središte		3	6	9	12 1
Izmjereni CTDI _{100M} , mGy*cm						
Izračunani CTDI ₁₀₀ , mGy						
Izračunani CTDI _{wrač} , mGy						
Očitani CTDI _{wmonitor} , mGy						
Odstupanje %						

Prilog 1.
**Ogledni primjer
 ispitnog obrasca za
 upis rezultata kontrole
 kvalitete**

OUR EXPERIENCE IN THE IMPLEMENTATION OF COMPUTER TOMOGRAPHY QUALITY CONTROL PROGRAM – A MULTIDISCIPLINARY APPROACH

¹ Katrin Nedeljko

¹ Martina Paragi

¹ Ardita Jahaj

^{2,3} Slaven Jurković

² Ana Diklić

² Doris Šegota

^{1,4} Klaudija Višković

¹ University of Applied Health Sciences Zagreb, Croatia

² Department for Medical Physics and Radiation Protection, Clinical Hospital Center Rijeka

³ Faculty of Medicine, University of Rijeka, Croatia

⁴ University Hospital for Infectious Diseases, Zagreb, Croatia

Abstract

According to the Article 33 of the Act on Radiological and Nuclear Safety (Official Gazette 141/13; 39/15; 130/17; 118/18), Articles 14, 15 and 16 of the Ordinance on the conditions and measures of ionising radiation protection for performing activities involving ionising radiation sources (Official Gazette 53/18), radiological departments in Croatia that conduct diagnostic and interventional procedures in medicine using X-ray units should establish a Quality Assurance/Quality Control (QA/QC) programme for sources of ionizing radiation.

Parameters that should be measured are defined in the Annexes 3-12 of the Ordinance on the conditions and measures of ionising radiation protection for performing

activities involving ionising radiation sources (Official Gazette 53/18). Daily tests are performed by radiologic technologists, while more complex procedures are conducted by medical physicists, monthly or annually. While performing QC procedures, different scanning equipment is used to evaluate device parameters. In case of deviations from the recommended results, corrective measures for irregularity correction should be applied. All procedures must be registered and reported to the competent persons and institutions. The aim of this paper is to present a multidisciplinary approach in the QC program for the computed tomography (CT) scanner at the University Hospital for Infectious Diseases (UHID) in Zagreb, from March to September 2018. A multidisciplinary team consisted of radiologic technologists and a radiologist from UHID, radiologic technology students from the University of Applied Health Sciences in Zagreb and medical physicists from the Clinical Hospital Center Rijeka. Physicists advise radiologic technologists on the technical improvements in order to achieve the most efficient performance in their everyday QC procedures.

All tested parameters were acceptable except for the detection of ring artefacts. To eliminate ring artefacts the head of the Department of Radiology and Ultrasound of the UHID and the principal radiologic technologist contacted the company certified for CT technical service and maintenance. Service engineer performed detector calibration procedure (with CT calibration phantoms) for CT number adjustment and image ring artefacts correction.

Keywords: quality assurance, quality control, computed tomography, multidisciplinary approach, radiologic technologists, medical physicists, radiologic technology students
