Vrijednost "low dose" MSCT protokola u dijagnostici urolitijaze - sustavni pregled

Mandarić, Stipan

Master's thesis / Diplomski rad

2016

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Split / Sveučilište u Splitu**

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:176:892610

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-03-28**

Sveučilišni odjel zdravstvenih studija
SVEUČILIŠTE U SPLITU

Repository / Repozitorij:

Repository of the University Department for Health Studies, University of Split

zir.nsk.hr

UNIVERSITY OF SPLIT

dabar
DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJI

SVEUČILIŠTE U SPLITU

Podružnica

SVEUČILIŠNI ODJEL ZDRAVSTVENIH STUDIJA

DIPLOMSKI SVEUČILIŠNI STUDIJ

RADIOLOŠKE TEHNOLOGIJE

Stipan Mandarić

VRIJEDNOST „LOW DOSE“ MSCT PROTOKOLA U DIJAGNOSTICI UROLITIJAZE - SUSTAVNI PREGLED

Diplomski rad

Split, 2016.

SVEUČILIŠTE U SPLITU

Podružnica

SVEUČILIŠNI ODJEL ZDRAVSTVENIH STUDIJA

DIPLOMSKI SVEUČILIŠNI STUDIJ

RADIOLOŠKE TEHNOLOGIJE

Stipan Mandarić

VRIJEDNOST „LOW DOSE“ MSCT PROTOKOLA U DIJAGNOSTICI UROLITIJAZE – SUSTAVNI PREGLED

The value of "low dose" MDCT protocols in the diagnosis of urolythiasis - a sistematic review

Diplomski rad / Bachelor's Thesis

Mentor:

Doc. dr. sc. Krešimir Dolić, dr. med.

Split, 2016.

Zahvala

Veliko hvala mome mentoru doc. dr. sc. Krešimiru Doliću na pomoći i savjetima pri izradi ovog diplomskog rada. Hvala Vam za utrošeno vrijeme, pristupačnost i nesebičan trud.

Veliku zahvalnost dugujem i svojoj obitelji koja mi je pružala beskompromisnu podršku i pomoć.

POPIS I OBJAŠNJENJE KORIŠTENIH KRATICA

- **SDCT,** od engl. single detector computed tomography (jednoredni CT uređaj)
- **MDCT**, od engl. multi detectors computed tomography (višeredni CT uređaj)
- **ALARA**, od engl. as low as reasonably achievable (najniža doza koju je razumno moguće postići)
- **RSNA**, od engl. Radiological Society of North America (Društvo radiologa Sjeverne Amerike)
- **AUA**, od. engl. American urological association (Američko društvo urologa)
- **ATCM**, od engl. automated tube current modulation (uređaj za automatsku regulaciju zračenja)
- **S. T.**, od engl. slice thikness (tanki presjeci)
- **CTDI**, od engl. computed tomography index dose (indeks doze pri CT skeniranju)
- **DLP**, od engl. dose length product (umnožak doze i duljine)
- **CARE DOSE**, od engl. automatic exposure control system called (uređaj za automatsko reguliranje ekspozicije)
- **IR,** od engl. iterative reconstruction method (iteraktivna rekonstrukcijska metoda)
- **FBP**, od engl. filtered back projection (filter povratna projekcija)
- **maS**, miliamper sekunde
- **KVP**, kilovolti(napon)
- **MDCTU**, od engl. computerized tomography urography (više detektorska urografija kompjutoriziranom tomografijom)
- **HU**, od engl. Hounsfield unit (Hounsfield jedinica)
- **IVU**, intravenska urografija

- **CTDR-CT,** digital radiography (digitalna radiografija kod kompjuterizirane tomografije)

- **VRT,** od engl. volume rendering technique (virtualna tehnika rekonstrukcije)

- **MIP,** od.engl. maximum intensity projection (projekcije maksimalnog intenziteta)

- **MPR**, od engl. multiplanar reconstruction (multiplanarne rekonstrukcije)

- **ESUR**, od engl. European Socitey of Urogenital Radiology (Europsko društvo za urogenitalnu radiologiju)

- **3D SSD**, od engl. 3-D Surface Shaded Display (trodimenzionalna rekonstrukcija)

S A D R Ž A J

1. U V O D 1
2. C I L J R A D A 4
3. R A S P R A V A 4
3.1. Kliničke indikacije primjene CT-a u dijagnostici urinarnog sustava 4
3.2. Strategije za mjerenje i smanjenje CT doza zraèenja – ATCM sustav 7
3.3.Tehnika smanjenja zraèenja pomoæu simulirane doze 10
3.4. Algoritmi utjecaja na sliku smanjenjem šuma 12
3.5. Učinak niske doze zračenja na slikovni prikaz 15
3.6. Utjecaj indeksa tjelesne mase na smanjenje doza zračenja 16
3.7. Smanjenje broja faza kod MDCTU-a 16
3.8. Optimizacija protokola skeniranja 20
4. Z A K L J U Č A K 21
5. L I T E R A T U R A 22
6. S A Ž E T A K 27
7. SUMMARY 28
8. Ž I V O T O P I S 29

1. U V O D

Urolitijaza je problem zastupljen širom svijeta, javlja se kod ljudi svih dobnih skupina, u svim kulturama i rasama. Na stopu incidencije i prevalencije bubrežnih kamenaca mogu utjecati genetski, prehrambeni i okolišni čimbenici [1]. Smatra se da oko 0,1 do 0,4 % stanovništva SAD-a i Europe ima bubrežne kamence. Odnos muškaraca i žena je 3:1, a najčešće se javlja u dobi između trideset i pedeset godina života [3]. Bubrežni kamenci imaju tendenciju recidiviranja i to kod 75 % pacijenata tijekom perioda od dvadeset godina [4].

Intravenozna urografija dugo je godina bila referentna metoda za procjenu bubrežnih kolika u dijagnostici bubrežnih kamenaca. Međutim, čak se ni kod pacijenata s potpunom opstrukcijom uretera, uzrok ne može potpuno detektirati ovom metodom. Osim ovog ograničenja, bolnost izaziva eliminacija kontrastnog urina, što ovu metodu čini limitirajućom. Stopa detekcije konkremenata intravenoznom urografijom je od 70 do 90%. Za konvencionalnu radiografiju osjetljivost metode je 57%, a specifičnost 71%, te ima jako lošu stopu detekcije konkremenata, svega oko 50 do 70 % [5].

Ultrazvučna metoda koristi se za prikaz bubrega i proksimalnih dijelova mokraćovoda. Kvaliteta slike ultrazvuka ovisi o brojnim čimbenicima na koje ne može utjecati radiolog, kao što su: zrak u crijevima, pretilost, veličina i lokacija konkrementa. Ultrazvukom se može detektirati tek 50 do 60 % konkremenata u mokraćovodima [6].

U posljednjih desetak godina, razvoj kompjuterizirane tomografije (CT), posebno višeslojne kompjuterske tomografije (MDCT/MSCT), promijenio je dijagnostičku procjenu analize mokraćnog sustava. Omogućen je bolji prikaz kanalnog sustava bubrega uz korištenje tankih presjeka, izuzetno brzo skeniranje, zadovoljavajuću prostornu rezoluciju, mogućnost naknadne obrade slike, poglavito kada se koristi koronarni prikaz. Osjetljivost i specifičnost CT metode za otkrivanje kamenaca u ureterima je oko 94 do 100 %, ukoliko se koriste uobičajeni protokoli snimanja. Alternativne metode koriste kod svega 10 do 24 % bolesnika s akutnim bolovima u slabinama. CT-om se može mjeriti veličina kamenca te definirati njegov sastav (mokraćna kiselina, kalcij, urati). Metoda se sve učestalije koristi i pri planiranju liječenja i nadzora radi mogućeg recidiva bolesti. Zbog svih navedenih prednosti, MDCT je zamijenio standardnu radiografiju, intravenoznu urografiju i klasičnu tomografiju za mnoga

patološka stanja, kao što su: urolitijaza, tumorske mase i abnormalnosti bubrežnog sustava, uretera i mokraćnog mjehura [7, 8].

Eksponencijalni porast korištenja CT-a u proteklom desetljeću, rezultirao je značajnim povećanjem izloženosti pacijenata ionizirajućem zračenju. Ova metoda čini gotovo 50% kolektivne doze zračenja u medicinske svrhe, u razvijenim zemljama svijeta. Ponavljanje pregleda u svrhu praćenja urolitijaze dovodi do zabrinutosti zbog izloženosti velikim dozama zračenja koje povećavaju rizik nastanka raka. Srednja efektivna doza kod protokola za otkrivanje kamenaca, ako se koristi jednodetektorski sustav u odnosu na MDCT sustav, iznosi 6,5 i 8,5 mS. Međutim Kalz i suradnici [19] su objavili da je 4% pacijenata (176/4562) koji su bili podvrgnuti MDCT snimanju zbog bubrežnih kolika, imalo tri ili više pregleda ovom metodom što je rezultiralo dozom zračenja od 20 do 154 mSv. Osim toga, većina CT protokola za evaluaciju mokraćnog trakta kao što su MDCT urografija ili MDCT metoda procjene kvalitete donora bubrega koje zahtijevaju dvije ili više faza skeniranja pacijenata, značajno povećavaju dozu zračenja [9].

Nacionalno vijeće za mjerenje i zaštitu od radijacije SAD-a u izvješću za 2009. godinu procijenilo je da je oko 8 do 10 % svih obavljenih CT pregleda izvedeno kod djece, te je izrazilo zabrinutost zbog povećanja izloženosti zračenju kod pedijatrijskih pacijenata. Djeca koja u ranoj dobi imaju nefrolitijazu, bit će kroz odrastanje podvrgnuta brojnim CT pregledima što će rezultirati velikim kumulativnim dozama zračenja. Teoretski, povećan je rizik od maligniteta na razini populacije zbog medicinskih dijagnostičkih postupaka, te se kao prioritet nameće smanjivanje doze zračenja kod CT dijagnostike [9].

Metoda snimanja MDCT kod urolitijaze, bez korištenja kontrastnog sredstava, idealna je meta za smanjenje zračenja jer su pacijenti uglavnom mlađe životne dobi i pregledi se ponavljaju više puta tijekom mnogih godina. Osim toga, kemijska struktura kamenaca omogućava mnogo lakšu detekciju kamenaca u usporedbi s drugom patologijom u području abdomena (Slika 1). Protokoli snimanja su osmišljeni s ciljem smanjenja doze zračenja, na način da ne dolazi do značajnog utjecaja na kvalitetu slike. Procijenjena efektivna doza ide do 0,6 mSv, što nije dalo ni približno dobru sliku kao standardni CT protokoli, ali studije su pokazale dobru osjetljivost i točnost u detekciji kamenaca uropoetskog sustava. Glavni nedostatci uporabe protokola s niskim dozama su: slaba uočljivost sitnih kamenaca, manja preciznost pri mjerenju veličine kamenaca i neadekvatna slika kod pretilih pacijenata.

Međutim, novija istraživanja usmjerena su na smanjenje doze zračenja zadržavajući dijagnostičku kvalitetu slike te stavljajući naglasak na rekonstrukcijske CT parametre koji koriste prikupljene podatke pomoću malih doza zračenja. Nema precizne definicije što je to niska doza jer postoje varijacije od pacijenta do pacijenta, te softvera i hardvera, što obeshrabruje neke od autora da koriste ovaj pojam. Tako Američko udruženje radiologa (RSNA) pojam niske doze CT protokola smatra vrijednosti <3 mSv, dok Američko udruženje urologa (AUA) smatra da je gornji prag 4 mSv [8, 9].

Composition	Frequency of Occurrence	KUB Radiographic Appearance	CT Appearance/Attenuation (HU)	Associated Etiologic Factors
Calcium oxalate monohydrate and dihydrate (calcium oxalate dihydrate)	40%–60%	Radiopaque	Opacified/ 1700–2800	Underlying metabolic disorder (eg, idiopathic hypercalcuria or hyperoxaluria)
Hydroxyapatite (calcium phosphate)	20%–60%	Radiopaque	Opacified/ 1200–1600	Usually no metabolic abnormality
Brushite	2%–4%	Radiopaque	Opacified/ 1700–2800	. . .
Uric acid	5%–10%	Radiolucent	Opacified/ 200–450	Idiopathic hyperuricemia or hyperuricosuria
Struvite	5%–15%	Radiopaque	Opacified/ 600–900	Renal infection
Cystine	1%–2.5%	Mildly opaque	Opacified/ 600–1100	Renal tubular defect

Slika 1. Najčešće vrste kamenaca mokraćnog trakta i njihove istaknute značajke

(KUB = bubrega, mokraćovoda, mjehura)

Izvor: Sung MK, Singh S, Kalra MK. Current status of low dose multi-detector CT in the urinary tract. World J Radiol. 2011 Nov 28; 3(11): 256–265.

2. C I L J R A D A

Cilj rada je prikaz rezultata dosadašnjih istraživanja u pogledu opravdanosti primjene niske doze zračenja u dijagnostici urolitijaze u svakodnevnoj kliničkoj praksi.

3. R A S P R A V A

3.1. Kliničke indikacije primjene CT-a u dijagnostici urinarnog sustava

Kako bi se zadržala dijagnostička korist i smanjio rizik zračenja, postavljene su kliničke indikacije za izvođenje CT metode urinarnog sustava. U Tablici 1. prikazan je sažetak kliničkih indikacija za CT pregled urinarnog sustava [10]. Kada je CT metoda opravdana, treba zadržati najmanju dozu zračenja koja se može postići (ALARA načela), a da pruža mogućnost radiologu za interpretaciju slike. Postoje dvije mogućnosti smanjenja doze zračenja kod CT mokraćnog sustava. Prva mogućnost je prisutnost visoke inherentne kontrastnosti između slabo vidljivih bubrežnih kamenaca i mokraćnog sustava mekih tkiva, a koja omogućava radiologu dijagnosticiranje bubrežnih kamenaca koristeći niske doze zračenja uz relativno visoki šum na CT slici. Visoki kontrast između opacifiranog mokraćnog sustava i okolnih struktura omogućava otkrivanje raznih lezija pomoću niskih doza i niskog šuma na slici. Druga mogućnost uključuje korištenje niskih doza u procjeni stanja organa kod mlađih donora organa.

Kalra i suradnici, 2005. godine, skenirali su fantom i stvarne pacijente koji su imali bubrežne kamence uz korištenje ATCM sustava. Koristili su razne indekse šuma i standardne vrijednosti struje grijanja cijevi (mAs). Koristeći indekse šuma od 20 do 25 nisu dobili značajno lošije rezultate u detekciji kamenaca, a dozu zračenja uspjeli su reducirati, na fantomima za 56 do 77 %, a na pacijentima za 43 do 66 %. Rezultati nedavno provedenih studija simulacije šuma, pokazali su sličnu osjetljivost i specifičnost u otkrivanju urolitijaze u dozama nižim za 25 % od konvencionalnih skenera [11].

Ciaschin i suradnici, 2009. godine, proveli su istraživanje u kojem su simulirali struju cijevi koristeći samo 25 % mAS od standardnih protokola (a time i doze zračenja), te su dokazali

značajne razlike u osjetljivosti i specifičnosti za uspješno detektiranje kamenca većih od 3 mm [12]. U studiji iz 2010. godine, koju su proveli Jin i suradnici, dokazano je uspješno otkrivanje bubrežnih kamenaca kod osoba s kadaveričnim bubrezima sa smanjenjem doze za 70 % [13].

Uspoređujući senzitivnost, specifičnost i osjetljivost u dijagnostici bubrežnih kamenaca većih od 2 do 3 mm pokazalo se da se doza kod pretilih pacijenata može smanjiti za 51 – 81 %. Niske doze CT zračenja su također bile demonstrirane i kod alternativnih dijagnoza kao što su upala slijepog crijeva i upala divertikla debelog crijeva. Dobiveni su slični rezultati i kod pretilih pacijenata [7].

Tack i suradnici te Poletti i suradnici, u svojim studijama prikazuju analizu niske doze zračenja od svega 30 mA za analizu konkremenata u urinarnom sustavu. Imali su 90 – 97 % osjetljivost i 94 - 100% specifičnost, slično kao i standardni protokoli koji su koristili vrijednosti struje grijanja od 120 do 180 mAs, kao i kod alternativnih dijagnoza [14]. Rezultati studije Klunera i suradnika pokazuju 97% specifičnost i 95% osjetljivost, koristeći minimalne doze struje grijanja od svega 6,9 mA [15]. Jellison i suradnici objavili su 2013. korištenje protokola vrlo niske doze od svega 7,5 mA i to za detekciju konkremenata u distalnom dijelu urinarnog sustava, kadaveričnih karakteristika. Smanjili su ekvivalentnu dozu zračenja za 95% ako se računa samo nativna faza snimanja bubrega i mokraćnog mjehura.

Tablica 1: Radijacijske doze, parametri skeniranja i dijagnostički protokoli CT kod niskih doza u dijagnostici urolitijaze

Authors	Yr	„Lowe dose“ CT protokol					Dijagnostičke performanse			Efektivna doza (mSv)
		CT skener	kVp	mA (mAs)	Pitch	S.T. (mm)	Osjetljivost (%)	Specifičnost (%)	Preciznost (%)	
Liu i sur.	2000	SDCT	120	(280)	2	7	97	96	97	2.8
Meagher i sur.	2001	SDCT, 4MDCT	120-130	63-130	1.4-1.8	5	93	NA	NA	3.5 (2.8-4.5)
Hamm i sur.	2002	4MDCT	120	70	2	5	96	97	NA	1.5
Heneghan i sur.	2003	SDCT	140	100 (76)	1.5	5	NA	NA	90 - 94	6.4
		4MDCT			0.75					11
Tack i sur.	2003	4MDCT	120	(30)	1.5	3	90-95	94-100	93-98	1.2-1.9
Knöpfle i sur.	2003	4MDCT	120	70	2	5	98	97	NA	0.97 (muškarci)/ 1.35 (žene)
Kluner i sur.	2006	16MDCT	120	20 (6.9)	1.43	5	97	95	NA	0.5-0.7
Poletti i sur.	2007	4MDCT	120	74 (30)	1.25	5	86-96	97-100	NA	NA

CT: kompjutorska tomografija; SDCT: jednoredni detektor CT; MDCT: višeslojni CT; NA: nije primjenjivo; S.T.: Slice thickness; mSv: debljina.

Izvor: Sung MK, Singh S, Kalra MK. Current status of low dose multi-detector CT in the urinary tract. World J Radiol. 2011 Nov 28; 3(11): 256–265.

3.2. Strategije za mjerenje i smanjenje CT doza zračenja – ATCM sustav

Kako bi se doza zračenja kod CT-a optimizirala, potrebno je poznavati osnovnu terminologiju o mjerenju doze zračenja. Na smanjenje doze zračenja utječu mnoge postavke uređaja za skeniranje. Neki od najvažnijih su umnožak struje rtg cijevi i vremena (miliamper sekunde - mAs), napon rtg cijevi (KVP) i pomak stola tijekom rotacije cijevi (pitch, nema jedinice). Postoje razlike među pacijentima kod izloženosti dozama zračenja i one se ne mogu standardno definirati. CT indeks doza (CTDI, mGy) mjera je za specifičnost doze CT zračenja i neovisna je od ukupne duljine skeniranja. Ponderirani prosjek CTDI mjerenja u centru i na periferiji fantoma (objekt koji se skenira za analizu i podešavanje CT parametara) smanjuje se kao CTDIw. Volumen CTDI (CTDI vol) računa se za različita područja spiralnog skeniranja (CTDIw/područje snimanja). Konačno, količina doze zračenja (DLP, mGy/cm) proizvod je CTDI vol i duljine skeniranja, a dobar je pokazatelj ukupne količine zračenja pacijenta. Efektivna doza (mSv) pokazuje ukupnu dozu i mogućnost nastanka štetnih utjecaja kod CT skeniranja. Efektivna doza se može izračunati iz DLP-a pomoću faktora pretvorbe (k-faktora) koji postoje u referentnim publikacijama, a procjenjuju se pojedinačno za svaki organ [16, 17, 18, 19].

Najvažniji parametar za smanjenje doze zračenja kod CT skenera je struja grijanja katode rtg cijevi. Postoji izravni linearni odnos između struje cijevi i doze zračenja. Smanjenje struje grijanja cijevi za polovicu smanjuje i dozu zračenja, a samo smanjenje doze može se podesiti ručno, smanjenjem mAs ili pomoću AEC uređaja za automatsku kontrolu ekspozicije. Moderni uređaji imaju sustav koji se automatski prilagođava debljini snimanog objekta koji prolazi kroz skener dok se vrši rotacija cijevi i detektora (Automated tube current modulation - ATCM) [20, 21].

ATCM sustav podržavaju skoro svi skeneri, a oslanja se na korisnički definirane parametre koji se razlikuju ovisno o vrsti skenera, kao što je indeks šuma ili referanca koja pokazuje mAs cijevi uređaja. Koristeći ATCM sustav kod pregleda abdomena i zdjelice u odraslih ljudi, doza zračenja se može smanjiti za 40 – 50 %. Također i indeks šuma koji se standardno koristi iznad razine 10 - 15 može se smanjiti na 6, a da ne utječe značajno na kvalitetu slike. Duljina skeniranja anatomske regije, važna je odrednica za dozu zračenja kod pacijenata podvrgnutih CT skeniranju. Veća duljina skeniranja znači veću dozu zračenja na veće dijelove tijela, čime se povećava ukupna doza zračenja za pacijente.

Doza zračenja može se reducirati smanjenjem područja od interesa, npr. skeniranje od vrha bubrega umjesto od početka jetre za skeniranje u svrhu otkrivanja bubrežnih kamenaca ili kod urografije [14, 16, 21].
Postoje studije koje nisu potvrdile adekvatnost niskih doza u detekciji kamenaca, niti kod alternativne dijagnoze kod pretilih pacijenata. Međutim, uvođenjem modernog sustava – ATCM, ovaj problem uspješno se kompenzira.
Tehnike modulacije struje grijanja cijevi se prilagođavaju obliku, veličini, ateunaciji i geometriji tjelesne regije koja se skenira, čuvajući kvalitetu slike. Postoje tri standardne metode modulacije struje grijanja: kardijalni CT skener na temelju projekcija kutnih baza modulacije (kutni ili XY os modulacija), zatim modulacija u uzdužnom smjeru ili duž duljine pacijenta (z-osi ili uzdužna modulacija) ili u oba kutna položaja i uzdužnom smjeru (u kombinaciji ili XYZ-os modulacija).

Kalra i suradnici su utvrdili da uporaba tehnike z-osi modulacuje (Auto mA, GE Healthcare, Milwaukee, Wisconsin, SAD, indeksa šuma 10,5 - 12, struje grijanja 10 - 380 mA) rezultira smanjenjem doze zračenja za 43 – 66 %, bez utjecaja na kvalitetu slike u usporedbi sa standardnim tehnikama struje grijanja 200 - 300 mA [11].

Mulkens i suradnici izvijestili su o postignuću niske doze zračenja kombinacijskom tehnikom (CARE DOSE 4D, Siemens Medical Solutions, Forcheim, Njemačka) u otkrivanju kamenaca u urinarnom sustavu čak i kod jako pretilih pacijenata. Za 6MDCT koristili su 51mA i 110 kV, za 16MDCT koristili su 70 mA i 120 kV te su postigli 96 – 99 % osjetljivost, 92 – 94 % specifičnost i 92 – 95 % točnost uz redukciju doze za 51 – 64 % u usporedbi sa standardnim protokolima (za 6MDCT 95 mA i 130 kV , za 16MDCT 120 mA i 120 kV) [22].
Sahani i suradnici u svojoj studiji nisu zamijetili razliku u kvaliteti slike između uporabe 120 - 140 kVP napona cijevi, no pri skeniranju dozom od 100 kVP, šum slike bio je značajno veći, a kvaliteta slike i dalje je bila zadovoljavajuća za dijagnostiku procjene davatelja bubrega [23].

Yanaga i suradnici u svom istraživanju procjenjivali su kombinaciju niskog napona rtg cijevi MDCT uređaja koristeći napon od 80 KV i adaptacijsko sniženje šuma slike pomoću filtera. Kada su uspoređivali te slike s onima koje su skenirane uz napon od 120 KV, zaključili su da su slike zadovoljavajuće, ali samo za gornji dio abdomena, tj. urotrakta. Ovom su tehnikom uspjeli smanjiti srednju efektivnu dozu za 59 %. Također, rezultati su pokazali da procjena

zdjeličnih organa, mokraćovoda i mjehura nije bila zadovoljavajuća, već je protokol snimanja potrebno kompenzirati povećanjem struje grijanja cijevi ako se zadržava napon od 80 KV. Na takav način se doza zračenja na područje zdjeličnih organa može smanjiti za 20 – 45 %, bez kompromitiranja kvalitete slike. S druge strane, slike dobivene smanjenjem napona cijevi uz povećanje šuma slike mogu biti prihvatljive za dijagnostičku analizu. Smanjenje napona cijevi treba provoditi jako oprezno, posebno kad se radi o pacijentima krupnije tjelesne građe jer povećanje šuma i nastanak artefakata na slikama može imati negativan utjecaj na dijagnostičku analizu slike uropoetskog sustava [24] .

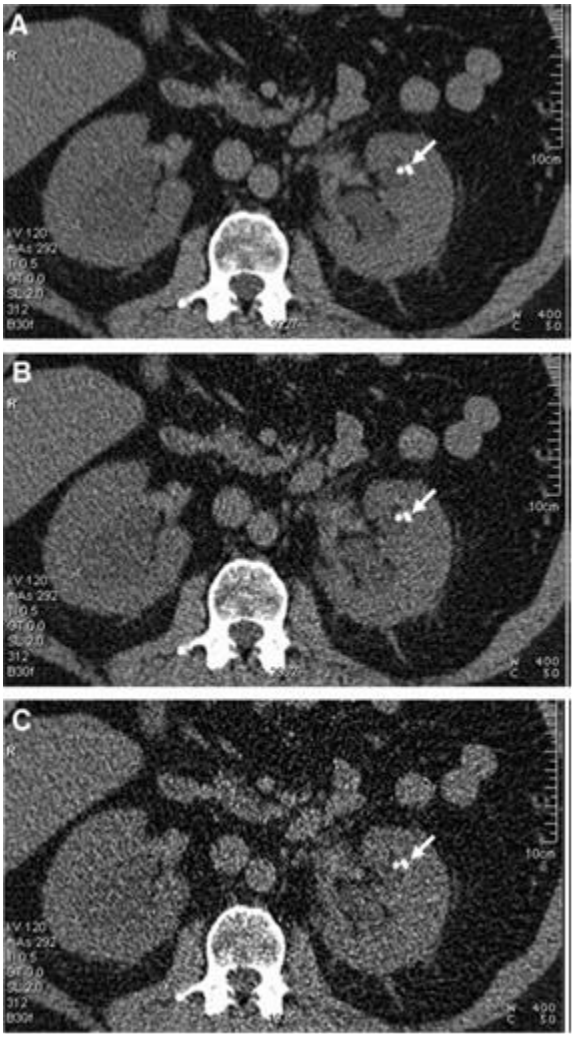
Deil i suradnici objavili su rezultate gdje su povećavali pitch (pomak stola tijekom rotacije) kod spiralnog CT uređaja, dakle kod jednoslojnog uređaja, u rasponu od 2,5:1 ili 3,0:1. Dobili su značajno smanjenje doze zračenja uz veoma visoku dijagnostičku pouzdanost slike kada je u pitanju skeniranje u svrhu detektiranja kamenaca kod bubrežnih kolika. Moderni CT skeneri uzimaju obnovljene slikovne podatke za obradu pacijenta. Kada je pich povećan, podatci se uzimaju iz manjih projekcija, uskih presjeka, i tako se smanjuje šum slike. Da bi se kompenziralo povećanje picha, većina modernih skenera automatski povećava struju cijevi kako bi se održala kvaliteta slike, a time i relativno konstantna doza zračenja. Kada se pitch smanjuje, automatski se smanjuje i struja cijevi. Većina proizvođača uređaja automatski je prilagodila veličinu picha struji grijanja cijevi kako bi kvaliteta slike bila kontinuirana, a šum slike i količina zračenja realni [25].

3.3. Tehnika smanjenja zračenja pomoću simulirane doze

Većina studija, koje prikazuju CT protokole koristeći niske doze zračenja u procjeni smanjenja struje grijanja cijevi, navode smanjenje dijagnostičke točnosti, ali se zbog etičkih razloga ne preporuča dodatna serija skeniranja jer ona značajno povećava ukupnu dozu zračenja. Rezultati nekih studija pokazuju smanjenje doze zračenja na više razina za istog pacijenta uporabom simulirane tehnike smanjenja doze zračenja smanjenjem struje grijanja cijevi. Ova tehnika pomaže da se izbjegne ponavljanje skeniranja kod istog pacijenta.
Mayo i suradnici su uveli korištenje simulirane tehnike smanjenja doze zračenja smanjenjem struje grijanja cijevi, za smanjenje šuma slike kod sirovih podataka koji sudjeluju u dobivanju CT slike [26].
Frush i suradnici primijenili su ovu tehniku kod skeniranja trbuha pedijatrijskih bolesnika i dokazali da primjena kompjutorske simulirane tehnike kod urinarnog sustava može smanjiti dozu zračenja za 33 – 67 % [27].

Karmazyn i suradnici pokazali su korisnost primjene kompjuterski simulirane doze kod djece u svrhu ranog otkrivanja bubrežnih kamenaca koristeći MDCT uređaje. U studiji su koristili sljedeće postavke: 80 mA struju grijanja cijevi za svu djecu i 40 mA za djecu tjelesne težine manje od 50 kg što signifikantno nije utjecalo na dijagnozu kod djece s bubrežnim kamencima [28].

Ciaschini i suradnici objavili su 2009. studiju u kojoj su koristili softverski simuliranu dozu od 100 % (177 mA), 50 % (88 mA) i 25 %(44 mA) od realne vrijednosti struje grijanja cijevi. Nije bilo značajne razlike u dijagnostičkoj vrijednosti slika koje su rađene sa stvarnom dozom u odnosu na one koje su rađene pomoću reducirane doze za 50 % i 25 % kada su u pitanju konkrementi veći od tri milimetra. Međutim, kada su u pitanju kamenci manji od tri milimetra, koji su smatrani klinički nebitnima radi mogućnosti spontanog prolaska kroz urinarni trakt, smanjenje od 25 % zračenja također je bilo dijagnostički pouzdano [12].



Slika 2: Aksijalni skenovi pokazuju veæi šum slike smanjenjem progresivne doze. Strelice upuæuju na 3mm i 5 mm velik bubrežni kamenac koji se nalazi na prednjoj strani èašice lijevog bubrega, i to:

a) uporaba 100 % doze
b) smanjenje doze za 50 %
c) smanjenje doze za 75 %.

Izvor: Reprinted fromMW Ciaschini, EM Remer, ME Baker, et al. Urinary calculi:Radiation dose reduction of 50 % and 75 % at CT–effect onsensitivity. Radiology 2009 251:105–111, with permissionfrom the Radiological Society of North America (RSNA)

3.4. Algoritmi utjecaja na sliku smanjenjem šuma

Postprocesorsko smanjenje šuma podrazumijeva uporabu konvencionalnih filtara i iteracijskih postupaka rekonstrukcije (IR) na temelju rekonstrukcijskih algoritama za obradu slike. Prva generacija komercijalno dostupnih IR za smanjenje doze zračenja između ostalog uključuje adaptivnu statističku iterativnu rekonstrukciju (Asir, GE Healthcare). Asir je pokazala da ima potencijala za smanjenje doze zračenja i to za 25 – 40 % [2]. IR je alternativna algoritam rekonstrukcija u odnosu na tradicionalnu filtar povratnu projekciju algoritma (FBP). Dugo korištenje računalne tehnologije u početku je bilo dosta ograničeno, ali se razvilo nekoliko generacija IR algoritama od strane raznih proizvođača . Novi rekonstrukcijski algoritmi, od kojih neki još u fazi ispitivanja, primjenjuju se u prostornoj rezoluciji slike i tako postaju stvarnost u rutinskoj primjeni kod obrade slike. Ako promatramo fiksne doze, IR poboljšava objektivnu i subjektivnu kvalitetu slike u usporedbi s FBP (Slika 3). Ova strategija je neizravno omogućila smanjenje CT doze zračenja uz poboljšanje kvalitete slike.

Smanjenje šuma na slici pomoću kompenzacijskih filtara(FBP) imalo je za posljedicu smanjenje šuma na razini svih piksela (elemenata slike). Sustav je jeftiniji i brži od IR algoritama, ali smanjuje kontrastnost slike. Filteri se također mogu koristiti sinergistički u kombinaciji s IR [29].

Mnoge novije studije su pokazale da se niske doze kod CT skeniranja uporabom IR algoritama mogu usporediti sa standardnim dozama pomoći FBP. Studija koju su 2009. godine proveli May i suradnici pokazuje da nije bilo značajnije razlike u šumu slike, oštrini i dijagnostičkoj prihvatljivosti u smislu uočavanja lezija između pune doze kod uporabe kontrastnog sredstva pomoću FBP algoritama i polovine doze pomoću IR algoritama u bolesnika sa sumnjom na urolitijazu [25].

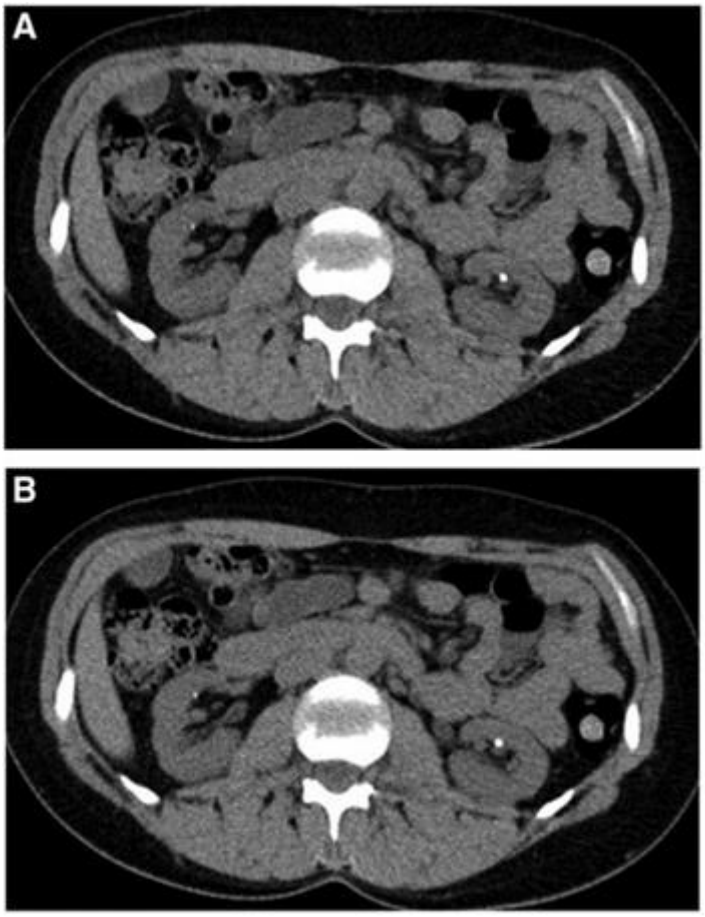
Mc Laughlin i suradnici proveli su prospektivnu studiju 2014. godine koristeći niske i konvencionalne doze za CT skeniranje kod pacijenata koji su imali renalne kolike, a podatci su rekonstruirani pomoću FBP i IR tehnike. Rezultati su pokazali da se skeniranjem uz uporabu IR, može standardna doza zračenja smanjiti i do 90 %, a da se još uvijek mogu dijagnosticirati bubrežni kamenci veći od 3mm i to s osjetljivošću od 87 % i specifičnošću od 100 % [30].

Studija u kojoj su se komparirali rezultati od 100 pacijenata koji su bili izloženi 100 % dozi pomoću FBP algoritama i zatim 50 % dozi pomoću IR algoritama, potvrdila je dijagnostičku

kvalitetu slike kod 99 pacijenata kada su u pitanju CT skeniranja namijenjena otkrivanju konkremenata u urinarnom sustavu. Također, nisu uočene razlike između ovih tehnika kada su u pitanju veličina i struktura kamenaca. Primjena IR algoritama rekonstrukcije omogućila je da CT s jako niskim dozama zračenja, manjima od 1 mSv, pokaže sličnu osjetljivost i posebnost za identifikaciju kamenaca većih od 3 do 4 mm u usporedbi s konvencionalnim CT niskim dozama (4,4 - 6,5 mSv) pomoću FBP algoritama.

Međutim, tehnika koja koristi male doze (3 - 4 mSv) za skeniranje kamenaca manjih od 3 mm uz dodatne sekundarne znakove, kod čitača slika se pokazala pouzdanom. Osjetljivost i specifičnost bila je 0,996 i 0,949.

Niske doze (<3 mSv) bez parenteralne primjene kontrastnog sredstava preporučuju se kao referentne u bolesnika s akutnim bolovima u području slabinskog dijela abdomena te kod sumnje na postojanje bubrežnih kamenaca. Takve kriterije preporučuju i American College of Radiology za uropoetski sustav [30].



Slika 3: Aksijalni presjeci kroz bubrege uz:

a) smanjenje doze za 50 % uz uporabu IR rekontrukcije
b) 100 % doza skeniranja uz rekonstrukcijsku uporabu standardnih filtera povratne projekcije(FBP).

Izvor: Reprinted fromMW Ciaschini, EM Remer, ME Baker, et al. Urinary calculi:Radiation dose reduction of 50 % and 75 % at CT–effect onsensitivity. Radiology 2009 251:105–111, with permissionfrom the Radiological Society of North America (RSNA)

3.5. Učinak niske doze zračenja na slikovni prikaz

Klinička vrijednost CT dijagnostike pomoću niskih doza u otkrivanju kamenaca u području urinarnog trakta upravo se počela proučavati u medicinskoj literaturi. Studija koju su 2014. godine objavili Alsyouf i suradnici prikazuje rezultate gdje su korišteni protokoli smanjene doze zračenja s promjenjivim mAs, što je rezultiralo sličnim vrijednostima atenuacije kao i kod primjene standardnih doza uz tek blagi porast varijabilnosti [31] .

Sohn i suradnici 2013. godine podržali su ovakva opažanja pokazujući da nema značajne razlike između mjerenja veličine kamena, šuma, MPR, VRT ili SSD tehnike mjerenja između smanjenja doze i konvencionalne doze zračenja kod CT skeniranja, uz izrazito smanjenje vrijednosti doze zračenja i to do 73 % (smanjenje od 23 do 6 mAs) [32].

Nova tehnika snimanja, takozvana „dual energy“ CT tehnologija koja ima izvanredne mogućnosti detektiranja strukture bubrežnih kamenaca, također radi pomoću jako niskih vrijednosti struje grijanja rtg cijevi (ima dva izvora).

Thomas i suradnici, 2010. godine, koristili su tehniku „dual energy“ kako bi utvrdili strukturu bubrežnih kamenaca. Kod 38 od 40 pacijenata ispravno su utvrdili strukturu kamenaca, koristeći pri tome niske doze zračenja od svega 2,7 mAs. Kvaliteta slike bila je lošija jedino kod izrazito pretilih pacijenata [33].

3.6. Utjecaj indeksa tjelesne mase na smanjenje doza zračenja

Učinci smanjenja CT doze kod pretilih pacijenata ostaju nejasni. Početne studije koje su rađene sa smanjenim dozama zračenja kod pretilih pacijenata bile su veoma ograničene jer se već u fazi ispitivanja smatralo da će kvaliteta slike biti značajno smanjena. Nekoliko naknadnih studija koje su uključivale ispitanike manje tjelesne težine, ali i one pretile s indeksom tjelesne mase (BMI >30 – 35), pokazale su smanjenu osjetljivost za detekciju kamenaca u području mokraćovoda. Istraživači su predložili da se kod ove populacije bolesnika (pretili) koriste konvencionalni protokoli s višim dozama zračenja kako bi se postigla zadovoljavajuća kvaliteta slike.
Trenutno, AUA (engl. American urological association) predlaže protokole s niskim dozama zračenja (<4 mAs), ali samo za bolesnike s BMI od 30kg/m^2 ili manje. Nekoliko novijih studija koje ispituju vrijednosti niskih doza zračenja dovele su u pitanje ove rezultate [34].

Mulkens i suradnici pokazali su da nema značajne razlike u osjetljivosti, specifičnosti i preciznosti kod primjene standardnih doza u odnosu na primjenu niskih doza CT skeniranja ako se koristi 4D struja modulacije čak i kod pacijenata s prekomjernom tjelesnom težinom. Studija iz 2014. godine, autora Gervaise i suradnika, pokazala je da je niska doza zračenja (pomoću ATCM pored IR i niskih KVP) korisna kod svih bolesnika s renalnim kolikama, ali i kod onih koji su imali BMI <25 i BMI > 25 [21].
Studije pokazuju da se pomoću smanjene doze zračenja može dobiti odgovarajuća dijagnostička kvaliteta koristeći ATCM u svih bolesnika [35].

3.7. Smanjenje broja faza kod MDCTU-a

Ne postoji konsenzus o optimizaciji protokola kod MDCT urografija (MDCTU). Prethodne studije izvijestile su o faznim skeniranjima za MDCTU kao različite komponente opacifikacije mokraćnog sustava s parenteralnom primjenom kontrastnog sredstva u različitim vremenskim intervalima (Tablica 2).

Tablica 2: Smanjenje doze zračenja pomoću CT protokola

Autori	God.	CT skener	Stjecanje faze	kVp	mA (mAs)	Pitch	Elektivna doza (mSv)	Dodatak
Standardni CT urografski protokol								
Caoili i sur.	2002	4MDCT	Unenhanced	120	150-240	0.75	25-35	
			Nephrographic		100-280	0.75		
			Excretory		150-280	1.5		
Nawfel i sur.	2004	4MDCT	Unenhanced	120	155-200	1.0-1.25	6.4 ± 1.3	
			Nephrographic		155-200	1.0-1.25	2.5 ± 0.34	
			Excretory		165-185	0.65-1.0	5.9 ± 1.5	
Low dose CT urographic protocols								
Coppenrath i sur.	2006	4MDCT	Excretory	90	15-100	0.875-1.75	0.78 (muškarci)/1.08 (žene)	
		16MDCT		100	17-100	1-1.5	1.06-1.19 (muškarci) 0.76-0.86 (žene)	
Kemper i sur.	2007	4MDCT	Excretory	120	70	1.25	2.7 (muškarci)/4.1(žene)	
Yanaga i sur.	2009	40MDCT	Excretory	80	300	0.781	2.9	Filter smanjenja šuma
Kekelidze i sur.	2010	16MDCT	Unenhanced	120	55	0.75	3.4	AEC
			Enhanced		165	1.25	9.8	Split-bolus tehnika

CT: kompjutorizirana tomografija; MDCT: višeslojni CT; AEC: automatska kontrola eksopzicije.

Izvor: Sung MK, Singh S, Kalra MK. Current status of low dose multi-detector CT in the urinary tract. World J Radiol. 2011 Nov 28; 3(11): 256–265.

Najčešće opisivani protokol kod MDCTU-a je onaj od tri faze snimanja, a sastoji se od:

1) nativna faza - služi za detekciju kamenaca

2) nefrografska faza – služi za za procjenu perenhimske evaluacije bubrega
3) ekskrecijska faza – služi za procjenu protočnosti mokraćovoda i mokraćnog mjehura.

Kada se koristi protokol dviju faza, pored nativne faze radi se tzv. kortikomedularna faza umjesto nefrografske. Neke studije pokazale su potrebu izvođenja arterijske faze, posebno kod pacijenata kod kojih bi mogao biti izveden operacijski zahvat. Kao što neki CT protokoli za procjenu bubrežnog ili mokraćnog sustava zahtijevaju dvije ili više serija skeniranja, oni podrazumijevaju i značajno veće doze zračenja. U takvim okolnostima, promjenama u odnosu na protokol, smanjenjem serija skeniranja i ubrizgavanja kontrastnog sredstva može se utjecati na smanjenje doze zračenja. Na primjer, za određeni niz skeniranja, dužina anatomske regije koja se snima može se skratiti na uže područje interesa [36, 37, 38].
Glavni nedostatak tehnike višefaznih skeniranja je visoka izloženost zračenju kao i predugo vrijeme za interpretaciju nalaza zbog radiološke analize svih napravljenih serija.
U studiji koja se bavi tim problemima, a koju su izradili Chai i suradnici, preporuča se korištenje split-bolus tehnike skeniranja kojom se mogu smanjiti doze zračenja, i to smanjenjem serija skeniranja uz parenteralnu primjenu kontrastnog sredstva. Autori preporučuju sljedeći protokol snimanja:

1) nativno skeniranje u svrhu detekcije kamenaca
2) parenteralno davanje bolusa kontrastnog sredstva (30 ml, 2 ml/sec)
3) pauza 5 - 10 minuta
4) davanje 100 ml kontrastnog sredstva, brzinom injiciranja od 2 ml/sec kroz period od 100 sec. i onda skeniranje od vrha bubrega do kraja mjehura.

Split-bolus tehnika omogućila je kombinaciju dvije faze informacija, tj. nefrogradsku i izlučnu fazu s jednim skeniranjem [19].

Raptopoullos i suradnici u svojoj studiji predlažu modifikaciju split-bolus tehnike s više detektorskim CT urografskim pristupom. Taj protokol sugerira da nakon nativnog skeniranja uslijedi davanje bolusa kontrastnog sredstva od 30 ml/sec i skeniranje arterijske faze uz prikaz opacifikacije mokraćnih putova. Zatim slijedi faza parenteralnog davanja kontrastnog sredstva 70 - 100 ml (cca nakon 2 - 3 min) i skeniranje za kortikomedularnu fazu sa zadrškom od 60 sekundi od davanja kontrasta [40].
U institutu Princeton u New Yorku, USA, split-bolus tehnika koristi se za MDCTU; u bolusu se primjenjuje 40 ml Jopamidol 370 mgJ/ml. Kontrastno sredstvo se ubrizgava u količini od 3 ml/sec. nakon nativne serije skeniranja. Nakon toga se daje 250 ml fiziološke otopine (0,9 %

NaCl) u infuziji kroz 10 minuta. Zatim se primjenjuje 80 ml kontrastnog sredstava brzinom od 3 ml/sec, te slijedi ponovno skeniranje od vrha bubrega do dna mjehura [40]. Iako je split-bolus tehnika dovela do smanjenja serija skeniranja, ova tehnika se kritizira i smatra se da opacifikacija bubrega i mokraćnog sustava može biti kvalitetno prikazana i uz smanjenje količine kontrastnog sredstva.

Kekelidz i suradnici su objavili triple-bolus protokol koji kombinira davanje svih faza kontrasta uz jedno skeniranje. Autori su koristili protokol po kojem se 30 ml kontrasta injektira kroz jednu minutu, nakon čega slijedi injiciranje 50 ml kontrasta nakon 7 minuta, potom 65 ml kontrasta nakon 8 minuta, a skeniranje kreće nakon 8,5 minuta. U ovom istraživanju vizualizirao se bubrežni parenhim, ali dobiven je i vaskularni prikaz i to sve u jednoj fazi. Doza zračenja kod ove triple-bolus faze bila je oko 9,8 mSv što je za 44 % manje u odnosu na konvencionalne protokole kod MDCTU gdje iznosi oko 23,4 mSv)[40].

Hibridna tehnika također podrazumijeva smanjenje doze zračenja, posebno u ekskrecijskoj fazi jer se u jednoj seriji skeniranja prikaže potpuna opacifikacija mokraćnog sustava. Ova tehnika je kombinacija CT skeniranja s konvencionalnom intravenoznom urografijom. To zahtijeva injektiranje samo jedne intravenozne injekcije kontrastnog sredstva za oba dijela hibridne tehnike snimanja. Samo CT skeniranje može se obaviti nakon konvencionalne urografije ili se konvencionalno snimanje obavlja nakon nekog vremena od CT skeniranja. Sudakoff i suradnici izvijestili su da hibridna tehnika koja se provodi u tri konvencionalne snimke nakon CT skeniranja smanjuje dozu zračenja na svega 1,6 mSv [40].

3.8. Optimizacija protokola skeniranja

Pokušaji da se smanji doza zračenja kod predloženih protokola rezultirali su mijenjanjem parametara snimanja za pojedine faze u otkrivanju urolitijaze.

Kemper i suradnici u svojoj studiji pokazali su da niska doza kod MSCTU, koja koristi parametre od 70 mA i 120 KVP, može osigurati prihvatljivu kvalitetu slike za izlučnu fazu sa smanjenjem doze za 64 % u odnosu na standardne doze CT skeniranja na 75 kg teškom svinjskom modelu [41]. Jedna od strategija za smanjenje doze zračenja tijekom MDCTU uključuje napon na rtg cijevi. Primjena niskog napona cijevi kod CT skeniranja smanjuje dozu zračenja proporcionalno kvadratu napona cijevi. Osim toga, veća koncentracija joda u sastavu kontrastnog sredstva također doprinosi boljoj ateunaciji rtg zračenja, a time i smanjenju doze jer je potreban manji napon cijevi. Primjena niskog napona cijevi se preporuča kod CT pregleda kao što su: CT urografija i CT angiografija. Također, smanjenje napona cijevi dovodi do povećanja šuma na slici.

Yanaga i suradnici procijenili su izvedivost MDCTU za ocjenu gornjeg mokraćnog sustava koristeći kombinaciju niskog napona cijevi od oko 80 KVP i smanjenja šuma slike pomoću adaptacijskih filtera. U ovom istraživanju kvaliteta post procesnog filtriranja uz napon od 80 KVP bila je usporediva sa slikom napravljenom pomoću 120 KVP napona uz redukciju srednje efektivne doze za 59 %. Autori su izvijestili da dijagnostika zdjelice, mokraćovoda i mokraćnog mjehura nije bila adekvatna, već da je potreban kompenzacijski porast struje grijanja cijevi da bi se mogao koristiti napon od 80 KVP. Nadalje, tehnika automatske kontrole ekspozicije pomaže u smanjenju doze zračenja za 20 – 45 % bez kompromitiranja kvalitete slike u području abdomena i zdjelice [24].

4. Z A K L J U Č A K

Protokoli niske doze mogu se koristiti kao alat za snimanje i biti prvi izbor u kliničkoj obradi bolesnika sa sumnjom na bubrežne kolike. Kliničari i radiolozi su svjesni ograničenosti metode u slučaju smanjenja parametara snimanja kao što su napon i struja grijanja cijevi, poglavito kod pretilih pacijenata u odnosu na standardne parametre snimanja. Protokoli niskih doza za otkrivanje urolitijaze najvrjedniji su u bolesnika koji zahtijevaju praćenje i ponovno skeniranje kako bi se osigurala najviša dijagnostička točnost.

U daljnjim istraživanjima potrebno je definirati pragove šuma slike za otkrivanje urolitijaze, a time i smanjenje cjelokupne doze korištenjem najnovijih postupaka kao što je automatska modulacija struje grijanja cijevi (ATCM). Potrebno je optimizirati dozu zračenja koja je potrebna za adekvatnu sliku kroz suradnju svih čimbenika, uključujući radiologa, medicinskog fizičara, radiološkog tehnologa i proizvođača uređaja.

5. L I T E R A T U R A

1. Curhan GC. Epidemiology of stone disease. Urol Clin North Am 2007;34:287–293.

2. Pak CY. Kidney stones. Lancet 1998; 351:1797–1801

3. Stamatelou KK, Francis ME, Jones CA, et al. Time trends in reported prevalence of kidney stones in the United States: 1976–1994. Kidney Int 2003;63:1817–1823.

4. Coursey CA, Casalino DD, Remer EM, et al. ACR Appropriateness Criteria acute onset flank pain—suspicion of stone disease. Ultrasound Q 2012;28:227–233.

5. Smith RC, Rosenfield AT, Choe KA, et al. Acute flank pain: comparison of non-contrast-enhanced CT and intravenous urography. Radiology 1995;194:789–794

6. Johnson CM, Wilson DM, O'Fallon WM, et al. Renal stone epidemiology: A 25-year study in Rochester, Minnesota. Kidney Int 1979;16:624–631.

7. Chen MY, Scharling ES, Zagoria RJ, Bechtold RE, Dixon RL, Dyer RB. CT diagnosis of acute flank pain from urolithiasis. Semin Ultrasound CT MR 2000; 21:2–19

8. Smith RC, Rosenfield AT, Choe KA, et al. Acute flank pain: Comparison of non-contrast-enhanced CT and intravenous urography. Radiology 1995;194:789–794.

9. Kambadakone AR, Eisner BH, Catalano OA, Sahani DV. New and evolving concepts in the imaging and management of urolithiasis: Urologists' perspective. Radiographics 2010;30:603–623

10. Sung MK, Singh S, Kalra MK. Current status of low dose multi-detector CT in the urinary tract. World J Radiol. 2011 Nov 28; 3(11): 256–265.

11. Kalra MK, Maher MM, D'Souza RV, et al. Detection of urinary tract stones at low-radiation-dose CT with z-axis automatic tube current modulation: phantom and clinical studies. Radiology 2005; 235:523–529.

12. Ciaschini MW, Remer EM, Baker ME, Lieber M, Herts BR. Urinary calculi: radiation dose reduction of 50% and 75% at CT--effect on sensitivity. Radiology. 2009 Apr;251(1):105-11.

13. Kim BS, Hwang IK, Choi YW, et al. Low-dose and standard-dose unenhanced helical computed tomography for the assessment of acute renal colic: prospective comparative study. Acta Radiol 2005; 46:756–763.

14. Tack D, Sourtzis S, Delpierre I, de Maertelaer V, Gevenois PA. Low-dose unenhanced multidetector CT of patients with suspected renal colic. AJR 2003; 180:305–311

15. Kluner C, Hein PA, Gralla O, et al. Does ultra-lowdose CT with a radiation dose equivalent to that of KUB suffice to detect renal and ureteral calculi? J Comput Assist Tomogr 2006; 30: 44–50.

16. Becker C, Schätzl M, Feist H, et al. Assessment of the effective dose for routine protocols in conventional CT, electron beam CT and coronary angiography [in German]. Rofo 1999; 170:99–104.

17. Spielmann AL, Heneghan JP, Lee LJ, Yoshizumi T, Nelson RC. Decreasing the radiation dose for renal stone CT: a feasibility study of single- and multidetector CT. JR 2002; 178:1058–1062.

18. Gurung J, Khan MF, Maataoui A, et al. Multislice CT of the pelvis: dose reduction with regard to image quality using 16-row CT. Eur Radiol 2005;15:1898–1905.

19. Katz DS, Scheer M, Lumerman JH, et al. Alternative or additional diagnoses on unenhanced helical computed tomography for suspected renal colic: Experience with 1000 consecutive examinations. Urology 2000;56:53–57.

20. Rogalla P, Klüner C, Taupitz M. Ultra-low-dose CT to search for stones in kidneys and collecting system [in German]. Aktuelle Urol 2004; 35:307–309.

21. Poletti PA, Platon A, Rutschmann OT, Schmidlin FR, Iselin CE, Becker CD. Low-dose versus standard- dose CT protocol in patients with clinically suspected renal colic. AJR 2007; 188:927–933.

22. Mulkens TH, Daineffe S, De Wijngaert R, et al. Urinary stone disease: comparison of standarddose and low-dose with 4D MDCT tube current modulation. AJR 2007; 188:553–562.

23. Sahani DV, Kalva SP, Hahn PF, Saini S. 16-MDCT angiography in living kidney donors at various tube potentials: impact on image quality and radiation dose. AJR Am J Roentgenol 2007; 188: 115-120.

24. Yanaga Y, Awai K, Funama Y, Nakaura T, Hirai T, Roux S, Yamashita Y. Low-dose MDCT urography: feasibility study of low-tube-voltage technique and adaptive noise reduction filter. AJR Am J Roentgenol 2009; 193: W220-W229.

25. Diel J, Perlmutter S, Venkataramanan N, Mueller R, Lane MJ, Katz DS. Unenhanced helical CT using increased pitch for suspected renal colic: an effective technique for radiation dose reduction? J Comput Assist Tomogr 2000; 24: 795-801.

26. Mayo JR, Whittall KP, Leung AN, Hartman TE, Park CS, Primack SL, Chambers GK, Limkeman MK, Toth TL, Fox SH. Simulated dose reduction in conventional chest CT: validation study. Radiology 1997; 202: 453-457.

27. Frush DP, Slack CC, Hollingsworth CL, Bisset GS, Donnelly LF, Hsieh J, Lavin-Wensell T, Mayo JR. Computer-simulated radiation dose reduction for abdominal multidetector CT of pediatric patients. AJR Am J Roentgenol 2002; 179: 1107-1113.

28. Karmazyn B, Frush DP, Applegate KE, Maxfield C, Cohen MD, Jones RP. CT with a computer-simulated dose reduction technique for detection of pediatric nephroureterolithiasis: comparison of standard and reduced radiation doses. AJR Am J Roentgenol 2009; 192: 143-149.

29. Cohnen M, Poll LJ, Puettmann C, Ewen K, Saleh A, Modder U. Effective doses in standard protocols for multi-slice CT scanning. Eur Radiol 2003; 13:1148–1153.

30. McLaughlin PD, Murphy KP, Hayes SA, et al. Noncontrast CT at comparable dose to an abdominal radiograph in patients with acute renal colic; impact of iterative reconstruction on image quality and diagnostic performance. Insights Imaging 2014;5:217–230.

31. Alsyouf M, Smith DL, Olgin G, et al. Comparing stone attenuation in low- and conventional-dose noncontrast computed tomography. J Endourol 2014;28:704–707.

32. Sohn W, Clayman RV, Lee JY, et al. Low-dose and standard computed tomography scans yield equivalent stone measurements. Urology 2013;81:231–234.

33. Thomas C, Heuschmid M, Schilling D, et al. Urinary calculi composed of uric acid, cystine, and mineral salts: Differentiation with dual-energy CT at a radiation dose comparable to that of intravenous pyelography. Radiology 2010;257:402–409.

34. Gervaise A, Naulet P, Beuret F, et al. Low-dose CT with automatic tube current modulation, adaptive statistical iterative reconstruction, and low tube voltage for the diagnosis of renal colic: Impact of body mass index. AJR Am J Roentgenol 2014;202:553–560.

35. Mulkens TH, Daineffe S, De Wijngaert R, et al. Urinary stone disease: Comparison of standard-dose and low-dose with 4D MDCT tube current modulation. AJR Am J Roentgenol 2007;188:553–562.

36. Veldhoen S, Laqmani A, Derlin T, et al. 256-MDCT for evaluation of urolithiasis: Iterative reconstruction allows for a significant reduction of the applied radiation dose while maintaining high subjective and objective image quality. J Med Imaging Radiat Oncol 2014;58:283–290.

37. Remer EM, Herts BR, Primak A, et al. Detection of urolithiasis: Comparison of 100% tube exposure images reconstructed with filtered back projection and 50% tube exposure images reconstructed with sinogram-affirmed iterative reconstruction. Radiology 2014;272:749–756.

38. Kim SC, Burns EK, Lingeman JE, Paterson RF, McAteer JA, Williams JC Jr. Cystine calculi: correlation of CT-visible structure, CT number, and stone morphology with fragmentation by shock wave lithotripsy. Urol Res 2007; 35:319–324

39. Chai RY, Jhaveri K, Saini S, Hahn PF, Nichols S, Mueller PR. Comprehensive evaluation of patients with haematuria on multi-slice computed tomography scanner: protocol design and preliminary observations. Australas Radiol 2001; 45: 536-538

40. Raptopoulos V, McNamara A. Improved pelvicalyceal visualization with multidetector computed tomography urography; comparison with helical computed tomography. Eur Radiol 2005; 15: 1834-1840

41. Kemper J, Regier M, Bansmann PM, Begemann PG, Stork A, Nagel HD, Adam G, Nolte-Ernsting C. Multidetector CT urography: experimental analysis of radiation dose reduction in an animal model. Eur Radiol 2007; 17: 2318-2324

6. S A Ž E T A K

Vrijednost “low dose” MSCT protokola u dijagnostici urolitijaze - sustavni pregled

Urolitijaza je stručni medicinski izraz, a odnosi se na kamence koji se pojavljuju u urinarnom traktu. Problem je zastupljen u svim kulturama, obuhvaća sve rase i pojavljuje se na svim zemljopisnim područjima. Češće se pojavljuje kod muškaraca u mlađoj životnoj dobi i postoji sklonost recidivu.

S obzirom na učestalost bolesti javlja se potreba za brzom i efikasnom dijagnostikom. Tako se u našim ustanovama uglavnom primjenjuje nativno snimanje urotrakta te ultrazvučna dijagnostika. Također je i intravenska urografija dugo godina bila referentna metoda u dijagnostici bubrežnih kamenaca. Pokazalo se da se ovom metodom ne može detektirati uzrok opstrukcije poglavito u donjem dijelu urotrakta. Također se i ultrazvučna dijagnostika pokazala nedostatnom za analizu uretera i mjehura. Otkriva tek oko polovicu kamenaca u ureterima. Metoda je subjektivna i ovisna o mnogim čimbenicima koji je limitiraju.

U posljednjih desetak godina, razvoj CT-a, poglavito MDCT-a, promijenio je dijagnostičku procjenu analize mokraćnog sustava. Omogućen je bolji prikaz kanalnog sustava bubrega jer se koriste tanki presjeci, skeniranje se vrši izuzetno brzo, prostorna rezolucija je zadovoljavajuća, a omogućena je i dobra naknadna obrada slike koja omogućava 2D i 3D prikaz. Međutim, eksponencijalni porast korištenja CT-a zadnjih godina rezultirao je i povećanjem doza zračenja za pacijente. Smatra se da polovica svih medicinskih dijagnostičkih zračenja otpada na CT snimanja. Stoga su mnogi znanstvenici pokušali pronaći optimalna rješenja kako bi smanjili dozu zračenja, a da pritom značajno ne umanjuje dijagnostičku vrijednost pretrage. Tako se danas koriste brojne mogućnosti unutar samog protokola snimanja, ali i značajne tehnološke mogućnosti za primjenu „low dose“ protokola.

U ovom radu su prikazani rezultati autora koji su u svojim radovima analizirali mogućnost i vrijednost primjene “low dose“ protokola u dijagnostici urolitijaze korištenjem MDCT metode snimanja .

KLJUČNE RIJEČI: urolitijaza, MSCT, smanjenje doze zračenja, protokoli snimanja

7. SUMMARY

The Value of "low dose" MDCT protocols in diagnosing urolithiasis - a systematic review

Urolithiasis is a professional medical term used to describe stones occurring in the urinary tract. The problem is represented around the world, in all cultures, races and geographic location. It is more common in men at a younger age and there is a tendency to relapse.

Given the prevalence of the disease there is a need for rapid and efficient diagnosis. Thus, in our institutions, mainly are used X ray of urinary tract and ultrasound. Intravenous urography, for many years, has been the reference method in the diagnosis of kidney stones. It has been shown that this method cannot detect the cause of the obstruction particularly in the lower part of the urinary tract. Also, the ultrasound showed deficiencies to analyze the ureter and bladder because it reveals only about half of the stones in the ureters. The method is subjective and dependent on many factors that limit it.

In the past decade, the development of CT, particularly MDCT's, changed the diagnostic assessment analysis of the urinary tract. It is enabling better presentation channel system because they use a thin sections, scanning is done extremely quickly and spatial resolution is satisfactory. Also, it can enable good post-image processing that allows 2D and 3D view. However, the exponential increase in the use of CT in recent years has resulted in the increase of radiation dose to patients. It is believed that half of all medical diagnostic radiation is wasted on CT scans. Therefore, many scientists tried to find optimal solutions to reduce the radiation dose without significantly reducing the diagnostic value of exam using different protocols and softwer solutions.

This paper presents the results of authors who in their works analyzed the possibility and value of implementing a "low dose" protocol in the diagnosis of urolithiasis using MDCT imaging method.

KEY WORDS : urolithiasis , MDCT, dose reduction, protocols shooting

8. Ž I V O T O P I S

Osobni podatci

Ime i prezime:	Stipan Mandarić
Adresa:	Podstrana, Hercegovačka 36
E-mail :	stipe.mandaric@gmail.com
Datum rođenja:	11. rujna 1965.

Obrazovanje

2013. – 2016.	Diplomski studij radiološke tehnologije, Sveučilišni odjel zdravstvenih studija u Splitu
2013.	Upis i polaganje razlikovnog modula kao preduvjeta za upis na Diplomski studij radiološke tehnologije u Splitu
1989. – 1991.	Preddiplomski studij radiološke tehnologije, Sveučilište u Zagrebu
1981. – 1985.	Zdravstveni obrazovni centar Split, smjer medicinski tehničar
1972. – 1980.	Osnovna škola „I.G. Kovačić”, Cista Velika

Radno iskustvo

Radim na Zavodu za radiologiju KBC Split od 1991. na poslovima analognih i digitalnih dijagnostičkih i intervencijskih postupaka. Glavni sam inženjer Kliničkog odjela za intervencijsku radiologiju.

Radim kao vanjski suradnik u nastavi na Preddiplomskom studiju OZS, sudjelujem u praktičnom dijelu nastave. Sudionik sam brojnih kongresa i simpozija za radiološke tehnologe sa brojnim stručnim radovima i izlaganjima.

Nagrade i priznanja

Na Kongresu radioloških tehnologa u Opatiji 2010. godine dobio sam nagradu i priznanje za najbolji rad s temom: „Perfuzijski CT, naša iskustva”.

Dodatne informacije

- poznavanje rada na računalu u MS Officu
- osnovno znanje engleskog jezika u govoru i pismu
- sudionik sam Domovinskog rata (hrvatski branitelj)