

Napredne CT metode za redukciju doze zračenja i optimizaciju kvalitete slike u pedijatrijskoj radiologiji

Matoš, Ana

Master's thesis / Diplomski rad

2023

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

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:176:122178>

Rights / Prava: [In copyright](#) / [Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2025-02-01**

Repository / Repozitorij:



Sveučilišni odjel zdravstvenih studija
SVEUČILIŠTE U SPLITU

[Repository of the University Department for Health Studies, University of Split](#)



UNIVERSITY OF SPLIT



SVEUČILIŠTE U SPLITU

Podružnica

SVEUČILIŠNI ODJEL ZDRAVSTVENIH STUDIJA

DIPLOMSKI SVEUČILIŠNI STUDIJ

RADIOLOŠKA TEHNOLOGIJA

ANA MATOŠ

**NAPREDNE CT METODE ZA REDUKCIJU DOZE
ZRAČENJA I OPTIMIZACIJU KVALITETE SLIKE U
PEDIJATRIJSKOJ RADIOLOGIJI**

Diplomski rad

Split, 2023. godine

SVEUČILIŠTE U SPLITU

Podružnica

SVEUČILIŠNI ODJEL ZDRAVSTVENIH STUDIJA

DIPLOMSKI SVEUČILIŠNI STUDIJ

RADIOLOŠKA TEHNOLOGIJA

Ana Matoš

**NAPREDNE CT METODE ZA REDUKCIJU DOZE
ZRAČENJA I OPTIMIZACIJU KVALITETE SLIKE U
PEDIJATRIJSKOJ RADIOLOGIJI**

**ADVANCED CT METHODS FOR RADIATION DOSE
REDUCTION AND IMAGE QUALITY OPTIMIZATION IN
PEDIATRIC RADIOLOGY**

Diplomski rad/Master's Thesis

Mentor:

Izv.prof. dr.sc. Sanja Lovrić Kojundžić

Split, 2023. godine

TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

DIPLOMSKI RAD

Sveučilište u Splitu
Sveučilišni odjel zdravstvenih studija
Diplomski studij radiološke tehnologije

Znanstveno područje: Biomedicina i zdravstvo
Znanstveno polje: Kliničke medicinske znanosti

Mentor: Izv.prof.dr.sc. Sanja Lovrić Kojundžić

NAPREDNE CT METODE ZA REDUKCIJU DOZE ZRAČENJA I OPTIMIZACIJU KVALITETE SLIKE U PEDIJATRIJSKOJ RADIOLOGIJI

Ana Matoš, 66178

Sažetak: Ovaj diplomski rad je prikaz različitih metoda u kompjuteriziranoj tomografiji koje se koriste u svrhu redukcije doze zračenja i optimizacije kvalitete slike u pedijatrijskoj radiologiji. Brojne studije su dokazale štetnost ionizirajućeg zračenja u djetinjstvu koje može utjecati na nastanak malignih bolesti u odrasloj dobi. Razvojem tehnologije u medicini nastali su niskodozni CT protokoli koji su pokazali mogućnost zadovoljavanja navedenih kriterija.

Naprednim radiološkim metodama poput kolimacije snopa, mogućnosti automatske kontrole ekspozicije, odabira sklopivih detektora te automatske cijevi koje pružaju noviji CT uređaji, omogućeno je niskovoltažno snimanje koje je najsigurnije i najučinkovitije za djecu koje se prilagođava snimanju različitih anatomskih regija. U radu je istaknuta važnost ispravne komunikacije s djecom koja također doprinosi optimizaciji kvalitete snimanja i smanjenju doze ionizirajućeg zračenja.

Ključne riječi : Niskodozni CT; ionizirajuće zračenje; djeca; karcinom

Rad sadrži: 47 stranice, 25 slike, 0 tablica, 46 literaturne reference

Jezik izvornika: hrvatski

BASIC DOCUMENTATION CARD

MASTER THESIS

University of Split
University Department for Health Studies
Graduate study of radiological technology

Scientific area: Biomedicine and health care

Scientific field: Clinical medical sciences

Supervisor: Izv.prof.dr.sc. Sanja Lovrić Kojundžić

ADVANCED CT METHODS FOR RADIATION DOSE REDUCTION AND IMAGE QUALITY OPTIMIZATION IN PEDIATRIC RADIOLOGY

Ana Matoš, 66178

Summary: This thesis is a presentation of different methods computerized tomography that are used for the purpose of reducing radiation dose and optimizing image quality in pediatric radiology. Numerous studies have proven the harmfulness of ionizing radiation in childhood, which can affect the development of malignant diseases in adulthood. With the development of technology in medicine, low-dose CT devices were created that showed the possibility of meeting the above criteria.

Advanced radiological methods such as beam collimation, the possibility of automatic exposure control, the selection of collapsible detectors and automatic tubes provided by newer CT devices, low-voltage imaging that is the safest and most effective for children and is adapted to imaging different anatomical regions. The paper highlights the importance of proper communication with children, which also contributes to optimizing the quality of imaging and reducing the dose of ionizing radiation.

Keywords: Low dose CT; ionizing radiation; children; carcinoma

Thesis contains: 47 pages, 25 figures, 0 tables, 46 literature references

Original in: Croatian

SADRŽAJ

1.UVOD	1
1.1.Doze zračenja	3
2.Cilj rada	7
3.Materijali i metode	8
4.Rasprava	9
4.1.Povijest CT uređaja	9
4.1.1.Ključni CT pojmovi za optimalniju upotrebu	12
4.1.2.Napredne CT metode	14
4.2. Različiti CT protokoli za pojedine anatomske regije u pedijatrijskoj radiologiji	20
4.2.1.Niskodozni CT glave i vrata u pedijatriji	20
4.2.2.Niskodozni CT pregledi torakalnih organa	22
4.2.3.Niskodozni CT pregledi abdomena	24
4.2.4.Niskodozni CT pregled muskuloskeletnog sustava	25
4.3.Fetalna dozimetrija na CT-u	26
4.3.1.Metode procjene fetalne doze	28
4.3.2.Primjer izračuna fetalne doze	31
4.4.Dijete u ulozi pacijenta	32
4.5.Usporedba metoda procjene doze zračenja organa CT-om u djece i odraslih	34
4.5.1.Izloženost zračenju u djece – kancerogeni učinak	35
4.6.Komunikacija radiološkog tehnologa sa djetetom i roditeljem	38
5.Zaključak	40
6.Popis kratica	41
7.Literatura	42
8.Životopis	47

1. UVOD

Radiološka tehnologija od davne 1895.godine kada je Wilhelm Conrad Röntgen prvi puta otkrio rendgenske zrake pa sve do danas svakim danom se sve više razvija i napreduje usavršavanjem novih tehnika snimanja. Zahvaljujući stalnom napretku i razvitku radiologije danas postoje različite tehnike snimanja ovisno o dijagnostičkim potrebama. Kada se konvencionalnim radiološkim metodama snimanja ili ultrazvukom ne može postaviti dijagnoza koriste se kompjuterizirana tomografija (CT) ili magnetska rezonancija (MR), a u određenim slučajevima i hibridne tehnike snimanja.

CT je tehnika slojevnog snimanja koja koristi kolimirani (suženi) rendgenski snop usmjeren okomito na uzdužnu os tijela što rezultira aksijalnim presjekom odabrane debljine sloja (1). Jedna od najčešće korištenih pretraga općenito u populaciji, a pogotovo u hitnim slučajevima, je kompjuterizirana tomografija. No to nije prva metoda izbora u algoritmu pretraga u pedijatrijskoj populaciji zbog ionizirajućeg zračenja koje ima štetan utjecaj na zdravlje. Često indikacije za snimanje CT-om nisu medicinski opravdane, a ponekad se do dijagnoze može doći i neškodljivim pretragama poput ultrazvuka i magnetske rezonancije.

Djeca su posebno osjetljiva skupina u radiologiji jer ionizirajuće zračenje može imati najviše štetnih učinaka na mladi organizam u razvoju što se ne očituje samo kao akutno djelovanje, već i kao kumulativni dugoročni učinak na zdravlje. Stoga je vrlo važno koju vrstu uređaja koristimo za snimanje, koje protokole izvodimo jer time kontroliramo količinu ionizirajućeg zračenja koju primi pacijent. Zbog značajno veće osjetljivosti djece na ionizirajuće zračenje u odnosu na odrasle nastoji se značajno smanjiti, odnosno u potpunosti izbjeći korištenje kompjuterizirane tomografije kao dijagnostičke metode. Jedna od važnih činjenica koja snimanje u pedijatrijskoj radiologiji čini kompleksnijim je potreba za sedacijom pri snimanju djece u svrhu izbjegavanja nastanka artefaktia pomicanja koji smanjuju dijagnostičku kvalitetu snimke.

U hitnim stanjima se i dalje koristi kompjutorizirana tomografija kao metoda izbora u pedijatrijskoj radiologiji jer je najbrža i najdostupnija dijagnostička metoda koja daje precizan i pouzdan prikaz patoloških promjena što je važno u akutnom zbrinjavanju. Upravo zbog toga, razvoj znanosti u radiološkoj tehnologiji je išao putem nastanka protokola snimanja koji bi najbolje zadovoljili kriterije smanjenja doze ionizirajućeg zračenja i zadržavanja kvalitetnog prikaza za postizanje dijagnostički vrijedne informacije. Jedan od načina smanjenja doze zračenja je preporuka korištenja *low dose* CT koji se prilagođava individualno svakom pacijentu ovisno o sastavu tijela, dobi, te anatomskej regiji koja se snima.

1.1. DOZE ZRAČENJA

Postoje četiri doze zračenja u radiologiji

1. ekspozicijska doza
2. apsorbirana doza
3. ekvivalentna doza
4. aktivnost radioaktivnih izotopa

Ekspozicijska doza predstavlja količinu zračenja kojoj je čovjek izložen. Definira se kao broj iona oslobođenih pri zračenju neke mase tkiva. Stara jedinica je rentgen, a sada se upotrebljava jedinica C/kg (1).

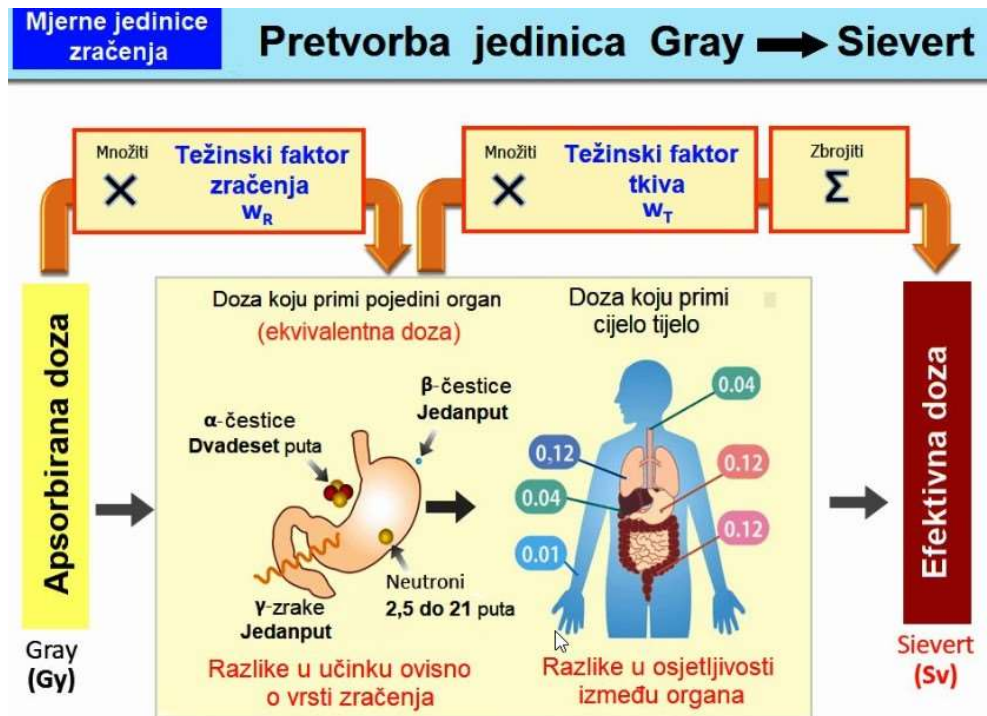
Apsorbirana doza predstavlja količinu primljene energije na određenu masu tkiva. Stara jedinica za ovu dozu bila je rad, a sada se upotrebljava jedinica Gray. Ekspozicijske doze se izravno mjere dozimetrima (1).

Ekvivalentnom dozom naziva se umnožak apsorbirane doze i RBE (relativne biološke efikasnosti zračenja). Jedinica za ekvivalentnu dozu je sievert, a stara jedinica bila je rem (1).

Aktivnost radioaktivnog zračenja izotopa označava broj raspada atoma izotopa u jedinici vremena. Stara jedinica bila je curie, a nova je becquerel. 1 Bq označava jedan raspad u 1 sekundi (1) .

Doza zračenja mjeri se u jedinicama apsorbirane doze, što je količina apsorbirane energije po jedinici mase i ima jedinicu gray (1 J/kg). Budući da su neka tkiva osjetljivija na zračenje od drugih, ponekad je korisno odrediti efektivnu dozu (E) koja ima jedinicu sievert (Sv) za procjenu stohastičkog rizika od zračenja. E se procjenjuje iz apsorbirane doze za kritični organ (mGy) i množi s faktorom pretvorbe specifičnim za organ (k) koji ovisi o radioosjetljivosti organa i dobi osobe koja se skenira. Iako E nije prava mjera doze, ona omogućuje usporedbu bioloških učinaka između različitih vrsta dijagnostičkih pregleda ili različitih parametara. Osim toga, usporedba efektivne doze CT skeniranja s prirodnom pozadinskom dozom (~3 mSv/godina) može pomoći pacijentima u procjeni relativnog rizika prilikom CT skeniranja (2) (Slika 1) .

Doza CT zračenja mjeri se pomoću parametra koji se naziva indeks volumenske CT doze koji se izražava u miliGrayima (mGy).



Slika 1 : Prikaz razlike u učinku i osjetljivosti ovisno o vrsti zračenja između organa

Izvor: <http://prirodopolis.hr/Sievert.html>

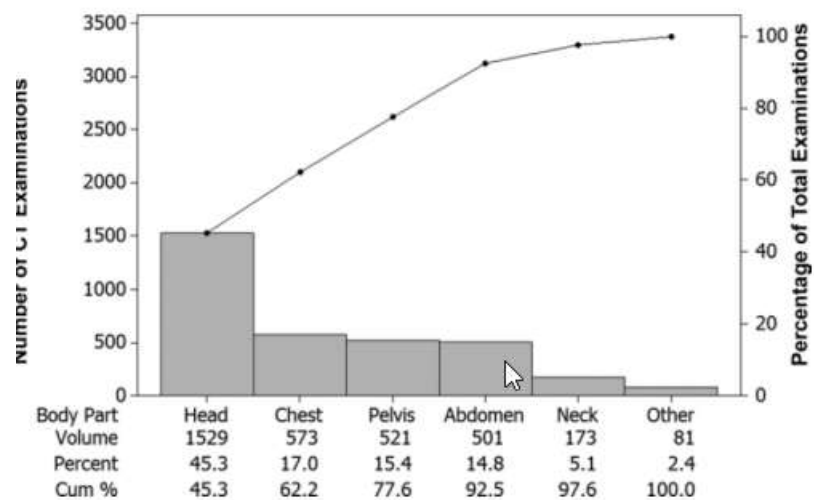
Zračenje ima različit učinak na djecu u odnosu na odrasle osobe, prvenstveno zbog specifičnosti građe tijela, s većim postotkom vode, kao i aktivnijim metaboličkim procesima kod djece koja rastu i razvijaju se (Slika 2). Osim toga, veća osjetljivost djece proizlazi u većoj zastupljenosti krvotvorne koštane srži koja je prisutna u većini djece gdje su dijelovi tijela različitih dimenzija u odnosu na odrasle (Slika 3). Zbog stohastičkih ili nedeterminističkih učinaka postoji veći rizik nastanka karcinoma kod djece. Posljedice takvih učinaka mogu se vidjeti kao promjena na genima. Kako organizam djeteta sadrži ne samo veći postotak vode, nego i aktivnije fiziološke procese rasta i razvoje karakterizirane brojnim stanicama koje se brzo dijele i obnavljaju, kao i veći postotak aktivne koštane srži, zato je važno optimizirati protokole skeniranja kako bi se smanjila doza zračenja. Učinci zračenja se mjere kao kumulativni učinci te se svakom novom dozom povećava rizik koji može nastupiti zbog negativnog utjecaja zračenja na organizam.

Oblik i proporcije dječjeg tijela neizbježno znače da će veliki dio tijela biti izložen primarnom snopu rendgenskog zračenja te stoga i više izložen djelovanju raspršenog zračenja. Naposljetku, slabija suradnja i nemir djeteta pri izvođenju radioloških postupaka, što je uobičajeno u toj dobi često znači veći broj ponavljanih snimanja, a time i veću sveukupnu dozu zračenja (3).

Fetus	0 – 2 mjeseca	- žumančana vreća
	2 – 7 mjeseci	- jetra, slezena
	5 – 9 mjeseci	- koštana srž
Djeca		koštana srž (sve kosti)
Odrasli		- kralješci, rebra, sternum, kosti lubanje, sakrum, zdjelica, proksimalni dijelovi femura

Slika 2: Mjesta stvaranja krvotornog tkiva

Izvor : <https://repo.ozs.unist.hr/islandora/object/ozs%3A307/datastream/PDF/view>



Slika 3: Pareto dijagram prikazuje distribuciju CT pregleda po dijelovima tijela.

Izvor: Brenner DJ, Hall EJ. Computed tomography: an increasing source of radiation exposure. *N Engl J Med*

2. CILJ RADA

Cilj ovog diplomskog rada je:

- Opisati napredne metode za redukciju doze zračenja u pedijatrijskoj radiologiji
- Objasniti optimizaciju kvalitete slike pri redukciji doze zračenja koja se koristi u pedijatrijskoj radiologiji

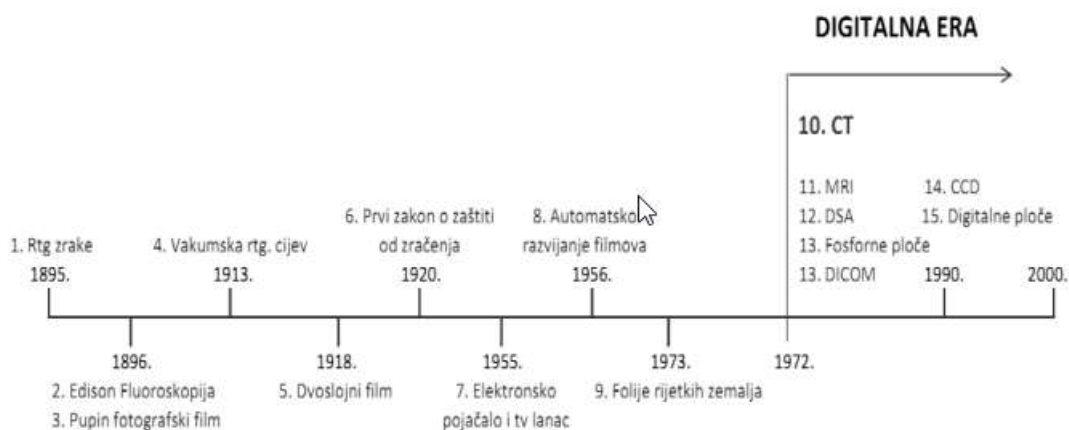
3. MATERIJALI I METODE

Ovaj diplomski rad koji govori o naprednim CT metodama za redukciju zračenja i optimizaciju i optimizaciju kvalitete slike u pedijatrijskoj radiologiji temelji se na raznim znanstvenim člancima koji su pregledani u internetskom pregledniku a dostupni su javno. Korištena je i platforma Pubmed-a gdje je traženo CT reduction for children.

4. RASPRAVA

4.1. POVIJEST CT UREĐAJA

Od prvog otkrića rendgenskih zraka pa sve do danas radiologija se svakim danom sve više razvija. (Slika 4) Kako medicina napreduje tako rastu i potrebe za razvitkom radiološke dijagnostike. Konvencionalna radiologija stvara potrebu svog daljnjeg razvitka te prve matematičke temelje za CT postavlja 1917. godine austrijski fizičar Radon koji je zaključio da se svako dvodimenzionalno ili trodimenzionalno tijelo može rekonstruirati iz velikog broja njegovih projekcija.



Slika 4: Prikaz razvoja radiologije kroz povijest

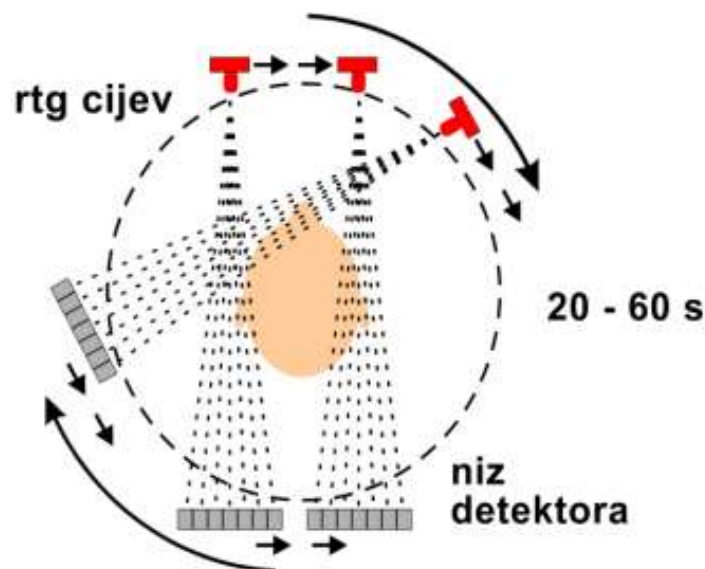
Izvor: prezentacija „Računala u radiologiji“

Nakon njega prvi algoritam za kompjutersku obradu podataka na detektoru postavlja 1962. godine Amerikanac Alen Mac Cormack s izumom prvog „softwara“ budućih CT pretraga. Uz Cormacka glavni dobitnik Nobelove nagrade je bio Godfrey Newbold Hounsfield po kojem su jedinice za mjerenje gustoće tkiva na CT uređaju dobile naziv Hounsfieldlove jedinice tkiva je bio Hounsfield (4).

Prvi CT uređaj je bio namijenjen snimanju glave i postavljen je u bolnici Atkinson Morley Hospital 1971. godine. 1974. je snimljen CT tijela, a 1990. godine je izumljen prvi spiralni CT uređaj.

Svaka generacija CT uređaja je donijela poboljšanje prethodne generacije uređaja s ubrzanjem vremena skeniranja i tehnološkim usavršavanjem te je tako nastalo 7 generacija CT uređaja koje su se razlikovala po načinu gibanja cijevi i položaju detektora (4).

Prva i druga generacija imaju i sličnosti i različitosti. Obe generacije su koristile kombinaciju translacijsko- rotacijski pomak rendgenske cijevi (5). Različito im je bilo vrijeme skeniranja koje je kod prve generacije iznosilo 3-5 minuta dok je kod druge generacije vrijeme snimanja bilo 10-90 sekundi. Iako su obje generacije koristile istu kombinaciju pomaka cijevi kod druge generacije snop RTG zraka je bio širi te je to omogućilo kraće vrijeme snimanja. (Slika 5)

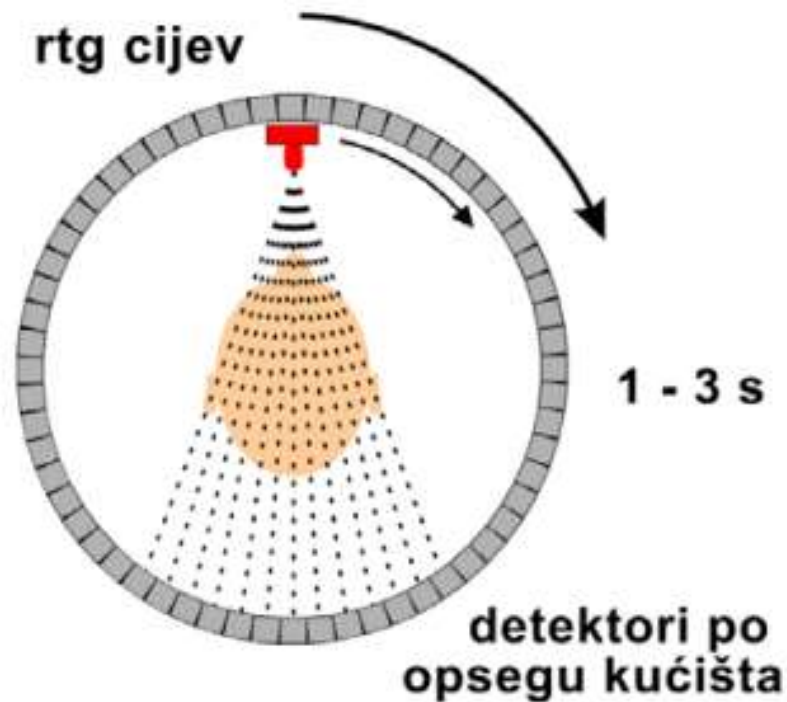


Slika 5: Shema CT uređaja 2 generacije

Izvor : Borić I. Multiplanarni prikaz strukture glave i vrata , Zagreb 2003.

Kod treće generacije postoji veliki napredak u pomaku cijevi koja je sada za 360 stupnjeva. Kao što postoje sličnosti i razlike kod prve i druge generacije tako postoje i kod treće i četvrte

generacije. Vrijeme skeniranja kod treće generacije je 1 do 10 sekundi dok je kod četvrte generacije manje od dvije sekunde. Zajednička im je rotacija cijevi i lepezast snop. Ono što ih razlikuje su detektori koji su kod četvrte generacije nepomični a kod treće pomični. (Slika 6)



Slika 6: Prikaz 4 generacije CT uređaja

Izvor: Borić I. Multiplanarni prikaz strukture glave i vrata , Zagreb 2003.

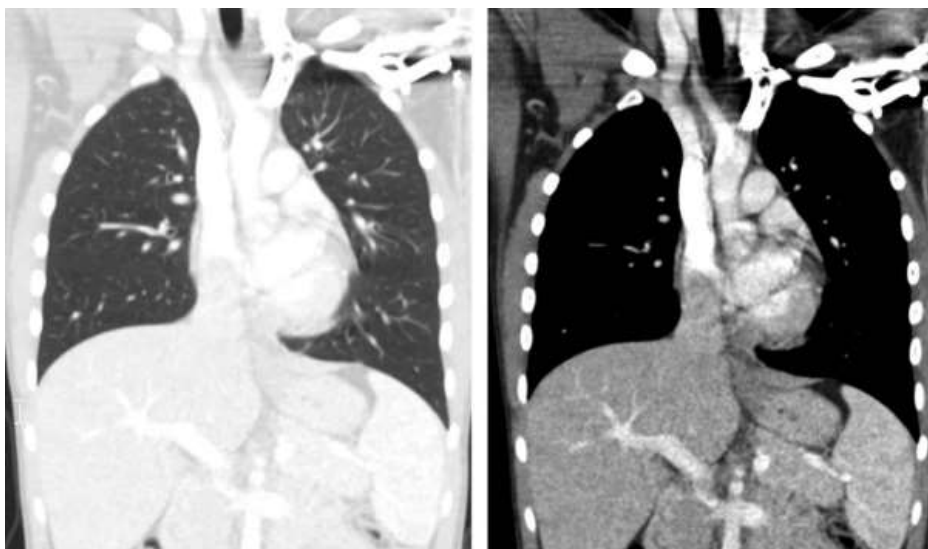
Peta generacija više ne koristi RTG cijev već akcelerator elektrona. Peta generacija je dovela do napretka u pojedinim granama medicine jer su se slojevi mogli snimati pojedinačno i prikazivati sve točnije i sitnije strukture. Nakon pete generacije dolazi do razvoja spiralnog CT-a ili nove šeste generacije Razvojem spiralnog CT-a razvija se i mogućnost različitih rekonstrukcija koje opet pridonose još kraćem vremenu skeniranja, smanjenu zračenja.

4.1.1. KLJUČNI CT POJMOVI ZA OPTIMALNIJU UPOTREBU

Upotreba CT-a u medicini dolazi s odgovornosti njegove primjene kako bi na mudar i siguran način dobili potrebne dijagnostičke informacije s najnižom mogućom dozom zračenja. CT omogućuje razne korisne medicinske informacije koje nisu dostupne s drugim modalitetima snimanja u mnogim kliničkim situacijama..

Tehnološke inovacije u računalnoj tomografiji, uključujući mogućnost spiralnog i višedetektorskog niza, proširile su primjenu CT-a u suvremenoj medicini (6). Tehnološki napredak doveo je uvođenja mnogih čimbenika koji suprotkole snimanja učinile kompleksnijim, ali su ključne za optimizaciju doze i prilagodbu pregleda kliničkim indikacijama.

U članku o ključnim CT pojmovima navedena je glavna značajka pedijatrijskih protokola. Zbog velikih rizika kod djece potrebno je strogo se pridržavati količine doze, uz odgovarajuće podešavanje napona i struje cijevi (Slika 7). Slika prikazuje kako je moguće uz nisku dozu zračenja kod djeteta dobiti prihvatljivu kvalitetu slike.



Slika 7: Koronarni presjek u djevojčice od 9 godina sa sarkomom mekog tkiva plućnog parenhima sa naponom od 100 Kv i 25 mAs

Izvor: Mannudeep K. Kalra, MD Aaron D. Sodickson, MD, PhD William W. Mayo-Smith, MD

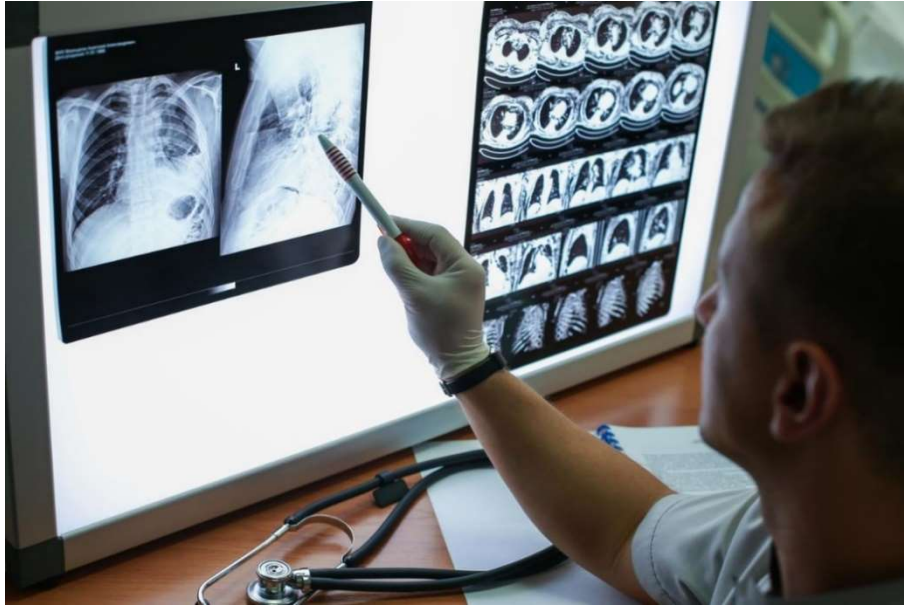
Postoji 10 koraka koje je potrebno proći kako bi došli do optimalnog korištenja CT protokola:

1. Potrebno je utvrditi opravdanost ili prikladnost smjernica za CT skeniranje.
2. Napraviti CT specifičan za kliničku indikaciju, te protokole za različita anatomska područja koji pomažu u prilagođavanju CT doze i kvalitete slike na temelju specifičnih kliničkih indikacija.
3. Treba osigurati da se pacijent nalazi u centru snimanja.
4. Korištenje AEC tehnike za prilagodbu struje cijevi.
5. Koristiti podešavanje napona na temelju kliničke indikacije i veličine pacijenta.
6. Odabir odgovarajućeg detektora i kolimacije snopa na temelju kliničkih indikacija
7. Izbjegavati nepotrebno skeniranje izvan anatomije područja interesa
8. Ograničiti korištenje višefaznih CT protokola i primijeniti pametne strategije za smanjene doze
9. Koristiti IR tehnike za poboljšanje kvalitete slike i smanjene doze zračenja
10. Odrediti određeni tim osoblja odgovoran za pregled protokola i praćenje doze.

Postoji nekoliko komercijalnih softverskih paketa za praćenje doza prema dobi (8). Ovi softverski programi automatski izdvajaju izmjerenu dozu CT iz CT pregleda i stavljaju ih u datoteku koja se može pretražiti i analizirati (9).

Mogu se postaviti upozorenja za doze izvan očekivanog raspona za određeni CT protokol.

(Slika 8)



Slika 8: CT softver za pluća

Izvor: <https://www.vecernji.hr/vijesti/softver-za-ocitavanje-ct-a-pluca-ustedjet-ce-radiolozima-tisuce-sati-1373413>

4.1.2. NAPREDNE CT METODE

Napredovanjem medicine i medicinskih uređaja dolazi do smanjenja štetnog utjecaja ionizirajućeg zračenja na ljude, a pogotovo na najosjetljiviju skupinu pacijenata, a to su djeca. Napredak je prilagođavanje kolimacije snopa, mogućnost automatske kontrole ekspozicije, odabir sklopivih detektora te automatska cijev.

Postoje 3 napredne tehnike snimanja:

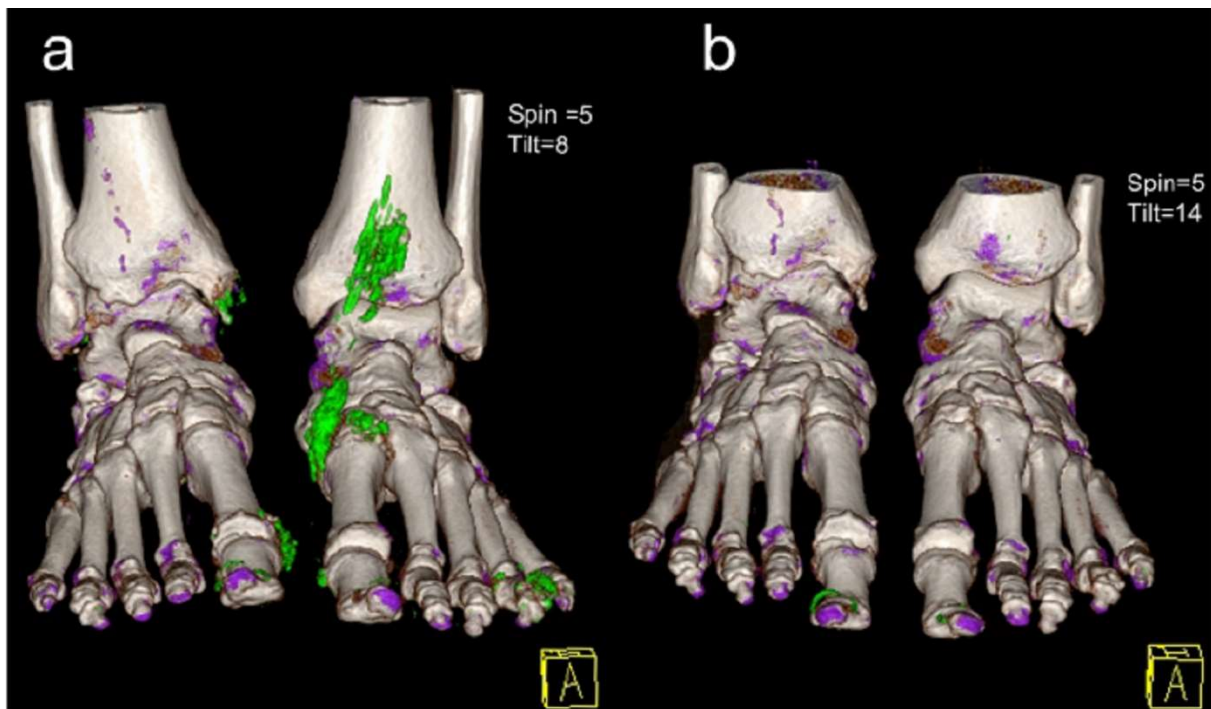
- DECT (engl. *Dual Energy CT*)
- SNIMANJE S NISKIM POTENCIJALOM CIJEVI
- BRZO SKENIRANJE

DECT se odnosi na CT skeniranje istog volumena tkiva i na visokim i na niskim razinama energije fotona, iskorištavajući nastale razlike u tkivu za različite kliničke primjene (Slika 9). Da bi se koristile oslabljene rendgenske zrake mora doći do interakcije Comptonovog raspršenja i fotoelektrične apsorpcije. Dok je Comptonovo raspršenje ovisno samo o gustoći

atenuacijskog materijala, fotoelektrična apsorpcija je ovisna i o gustoći elektrona i o atomskom broju materijala za prigušivanje.

Ukoliko se primjene dva različita energetska spektra na tkiva koja sadrže visoki atomski broj tada meka tkiva pokazuju slabljenje u cijelom rasponu CT energija fotona. Na ovom načelu radi DECT. Vrsta hardverske konfiguracije DECT-a ovisi o proizvođaču. DECT ima mogućnost naknadne obrade slike. Iako je većina takvih snimki provedena na odraslima, kao primjer može poslužiti CT urografija kod djece primjenom virtualnog snimanja bubrežnog parenhima, pri čemu se bubrežni parenhim, gornji i donji dijelovi mokraćnog trakta mogu procijeniti u jednom skeniranju. U tom slučaju, jednim aktom snimanja se izbjegava uobičajeni višefazni protokol što je vrlo važno za zaštitu djece od nepotrebnog zračenja. Višefazno snimanje DECT-om je tako odrađeno u samo jednom aktu snimanja (10).

Ono što je nedostatak je činjenica da DECT trenutno nema dovoljno ocijenjenih i provjerenih postupaka za kliničku primjenu i smanjenje doze zračenja kod djece jer je većina studija provedena na odrasloj populaciji. Znanstvenik Siegel i sur. su dokazali da je doza zračenja primjenom DECT-a za snimanje abdomena i toraksa u djece bila slična ili malo niža u usporedbi sa jednoenergetskim CT-om (11).



Slika 9: Prikaz DECT-a u snimanju kostiju

Izvor: <https://www.cureus.com/articles/5705-role-of-dual-energy-computed-tomography-imaging-in-the-diagnosis-of-gout#!/>

Niskovoltazno snimanje se smatra najsigurnijim i najučinkovitijim za snimanje djece. Pri ovom snimanju mora se zadovoljiti međudjelovanje potencijala cijevi, struje cijevi, kontrasta slike, šuma slike i doze zračenja (12). Kada se održava konstantna struja u cijevi tada je doza približno proporcionalna kvadratu napona cijevi. Doza varira linearno jedino u slučaju modifikacija u struji cijevi, no u tim slučajevima modifikacija daje veću korist od doze. Za povećanje kvalitete slike potrebno je zadovoljiti sve parametre ovisno o dijelu tijela koje se snima, njegovoj gustoći i veličini. Tako nećemo imati jednake optimalne parametre kod male djece i kod odraslih ljudi. Naprimjer, kod niskog potencijala cijevi od 70-80 kV povećanje struje cijevi kod djece je veće nego kod odraslih. Vrlo važan parametar je i povećanje kvalitete šum (te omjer kontrasta i šuma - CRN-a) kod niskovoltaznih snimanja (13). Za niskovoltazno snimanje kao zaključak se navodi da je vrlo važna veličina pacijenta i indikacija za snimanje.

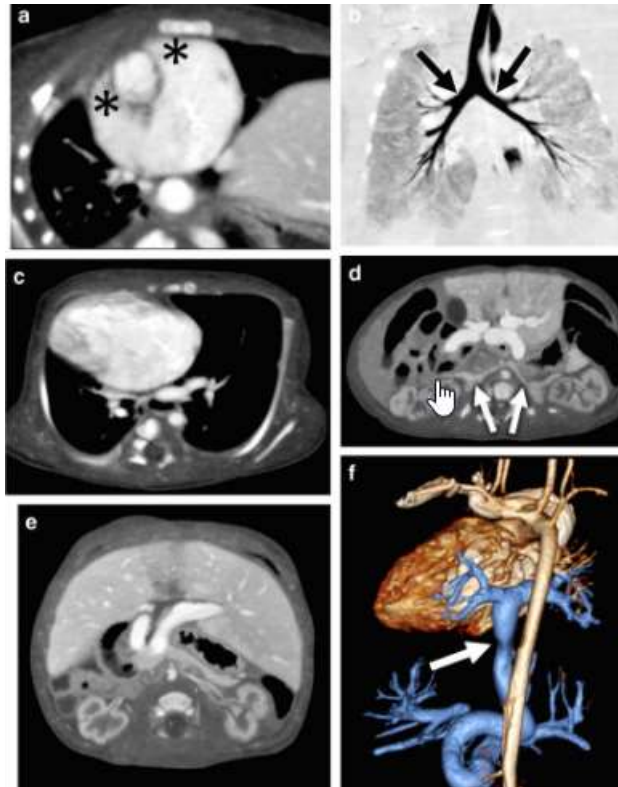
Kako djeca prilikom snimanja ne mogu uvijek mirovati, nastaju artefakti pomicanja te je u tim situacijama iznimno važno brzo skeniranje kako bi se artefakti smanjili na minimum. Djeca mlađa od 5 godina nisu sposobna razumjeti upute koje im se daju za vrijeme snimanja poput toga da je potrebno mirno ležati ili zadržati dah prilikom skeniranja dijela tijela. To vrijedi i za djecu s posebnim potrebama koja također nisu u stanju razumjeti upute za snimanje. S obzirom da je u ovim slučajevima potrebna sedacija koja nosi i neke neželjene učinke, nastala je potreba za razvijanjem brze CT tehnike snimanja. Cilj brze tehnike snimanja je smanjiti artefakte uzrokovane pomicanjem djeteta te ubrzati samo snimanje.

Postoje dva dostupna tehnička pristupa za brzo skeniranje:

- Uporaba ultravisokog nagiba
- Korištenje detektora širokog područja

CT uređaji koji imaju mogućnost brzog skeniranja omogućuju upotrebu brzog ultravisokog skeniranja i niskovoltažne postavke (70-80 kV). Na taj način se izbjegava potreba za sedacijom male djece i smanjuje se doza zračenja, a da se pritom zadržava kvaliteta slike. Izbjegavanjem potrebe za sedacijom umanjuju se mogući štetni učinci samog anestetika na dijete.

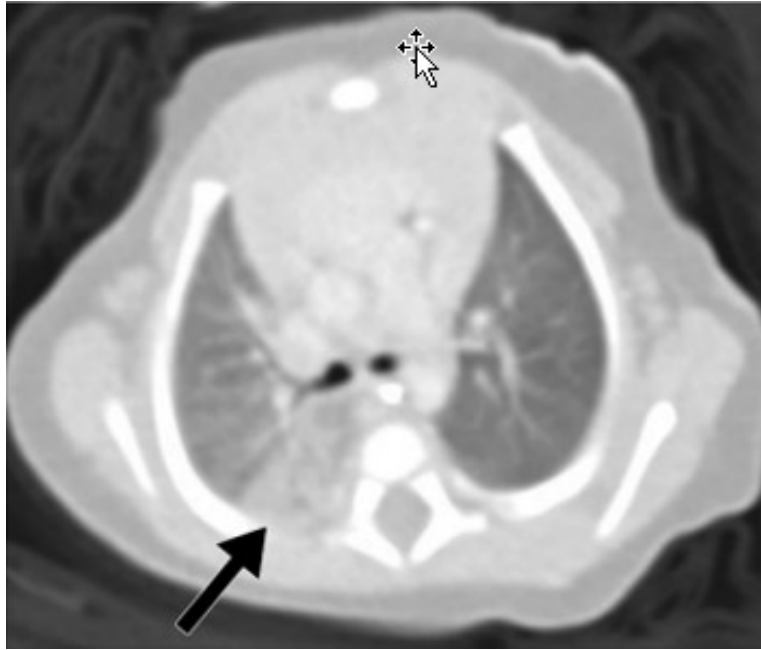
Tehnika ultravisokog skeniranja je dostupna isključivo uz DECT skenere. Uspon od 0,5-1,5 je standard za većinu CT skenera, no da bi pomicanje stola bilo brže potreban je veći uspon od preko 1. DSCT detektori prevladavaju ograničenje zbog geometrijske prednosti koja postoji zahvaljujući dvjema ortogonalnim spiralama. Tako je omogućeno brzo pokretanje stola uz smanjeno vrijeme skeniranja. Najveće prednost s DSCT snimanjem postoje kod CT angiografije gdje su istaknuti artefakti kretanja i gdje je važno vremensko ograničenje za izvođenje pretrage (Slika 10) .



Slika 10: CT angiografija kod 14-godišnjaka

https://www.researchgate.net/figure/CT-angiography-in-a-14-day-old-boy-with-right-isomerism-a-The-atrial-appendages-are_fig2_333646315

Kod djece učinkovitost ultravisokog CT-a je važna kod snimanja prsnog koša jer je potrebno smanjiti disanje i artefakte koji nastaju prilikom disanja. (Slika 11). Rađena je usporedba DSCT-a s CT-om s jednim izvorom te je kod DSCT – a bila bolja temporalna razlučivost. Nedostatak je bio kod djece od 10 godina gdje je područje snimanja bilo veće i gdje je aksijalno skeniranje bilo ograničeno na određenu širinu detektora. Kada je duže polje skeniranja potrebno je dinamičko spiralno skeniranje jer ono uključuje početak i kraj udaha i izdaha (14).



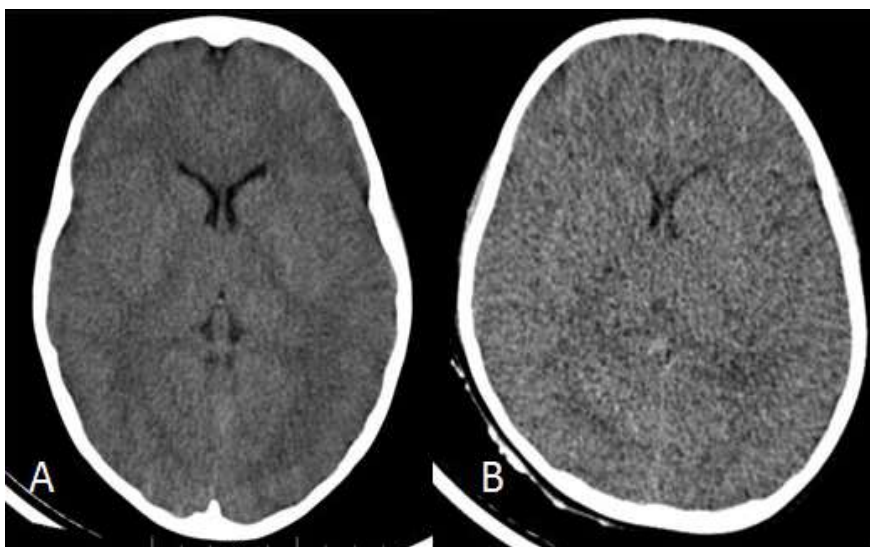
Slika 11: prikaz novorođenčeta starog 3 tjedna s artefaktima disanja

Izvor: knjiga : Bodelle B, Fischbach C, Booz Cz.

4.2. RAZLIČITI CT PROTOKOLI ZA POJEDINE ANATOMSKE REGIJE U PEDIJATRIJSKOJ RADIOLOGIJI

4.2.1. NISKODOZNI CT GLAVE I VRATA U PEDIJATRIJI

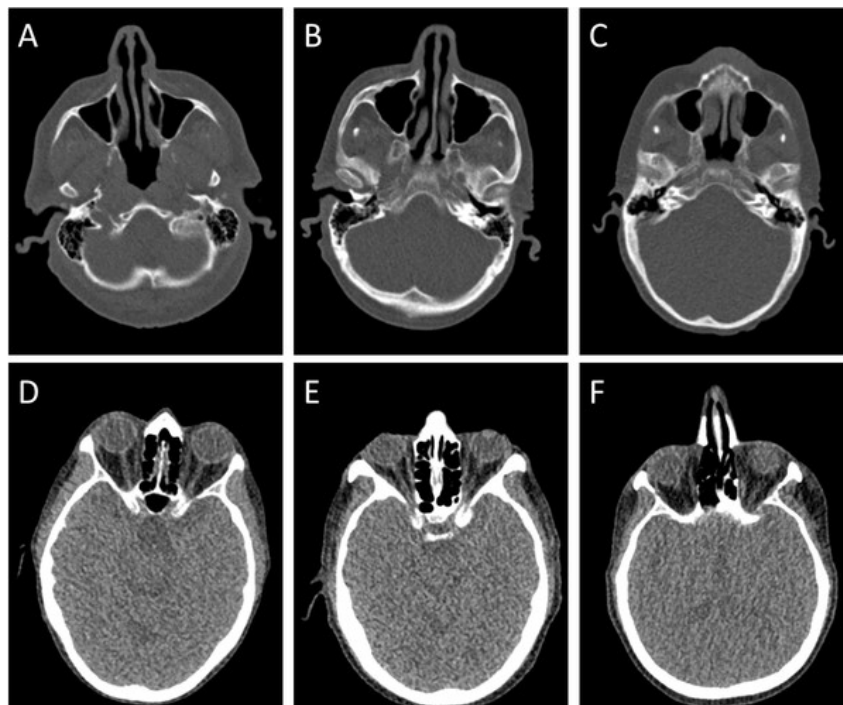
Postoji nekoliko epidemioloških studija koje istražuju djelovanje zračenja u dječjoj dobi kao uzrok nastanka raznih karcinoma. Tako je studija znanstvenika Pearce i suradnika iz 2012. uključila 180 000 ispitanika mlađih od 22 godine, među kojima je u razdoblju od 17 godina učinjeno 280 000 CT pregleda. Za svakog pacijenta utvrdila se posebno doza zračenja koja je utjecala na koštanu srž i mozak. Rezultati su pokazali značajnu povezanost između zračenja i rizika od nastajanja leukemije i tumora mozga (15). Postoji još par studija koje su dovele do istog zaključka. Tome su uvelike pomogle i različite matematičke rekonstrukcije koje se koriste za dobivanje dodatnih slika te zahvaljujući kojima je smanjeno zračenje na pacijentu. Studija iz Seattla na pedijatrijskim pacijentima kojima su rađeni CT-ovi u svrhu praćenja položaja katetera pri ventrikuloperitonealnoj drenaži ili kod postoperativne kontrole nakon operacije kraniosinostoze, je pokazala da CT pretraga s LDCT (low dose CT) - je dijagnostički zadovoljavajuća u navedene svrhe (Slika 12). Broj skeniranja je bio značajno manji ovim načinom snimanja, a time i izloženost zračenju (16).



Slika 12: Prikaz LDCT skeniranja mozga kod djeteta od 6 godina

Izvor : https://biomedpharmajournal.org/wp-content/uploads/2020/03/Vol13No1_Opt_Jul_Fig3.jpg

Zacharias i suradnici su istražili utjecaj LDCT na kosti lubanje dok su Wuest i sur. analizirali LDCT na paranazalnim sinusima (17). Kod paranazalnih sinusa radila se studija na 64 pacijenta koji su imali standardni protokol (100 Kv, 150 mAs, 192x0,6-mm kolimacija snopa) i 65 pacijenata sa LDCT protokolom (100 Kv, 510 mAs, 128 x 0,6 mm kolimacija snopa). Iako su bili različiti parametri u snimanju, nije bilo razlike kvaliteti slike. Studija je pokazala smanjenje doze zračenja kod LDCT uz jednaku kvalitetu slike(17). Za neke anatomske regije poput paranazalnih sinusa i kostiju lubanje, zbog preciznijeg prikaza koštanih struktura metoda izbora je CT. S obzirom da je štitnjača obuhvaćena poljem snimanja potrebno ju je zaštititi. Kao primjer uspješnog smanjivanja doza ionizirajućeg zračenja prilikom izvođenja CT pregleda može se navesti primjer pedijatrijska bolnica Saint Louis u Missouriju u Sjedinjenim Američkim Državama(17). Kroz međuodjelnu suradnju, povećanu dostupnost alternativnih dijagnostičkih metoda te uvođenje LDCT protokola tijekom sedmogodišnjeg razdoblja od 2005. do 2012. godine, u toj bolnici je za 50 % smanjena ukupna doza ionizirajućeg zračenja primljenog tijekom CT pregleda pedijatrijskih pacijenata. Istodobno je uvođenjem prilagođenih protokola te zbog svojih malih doza ionizirajućeg zračenja LDCT postao zlatni standard u pedijatrijskoj radiologiji u njihovoj bolnici.

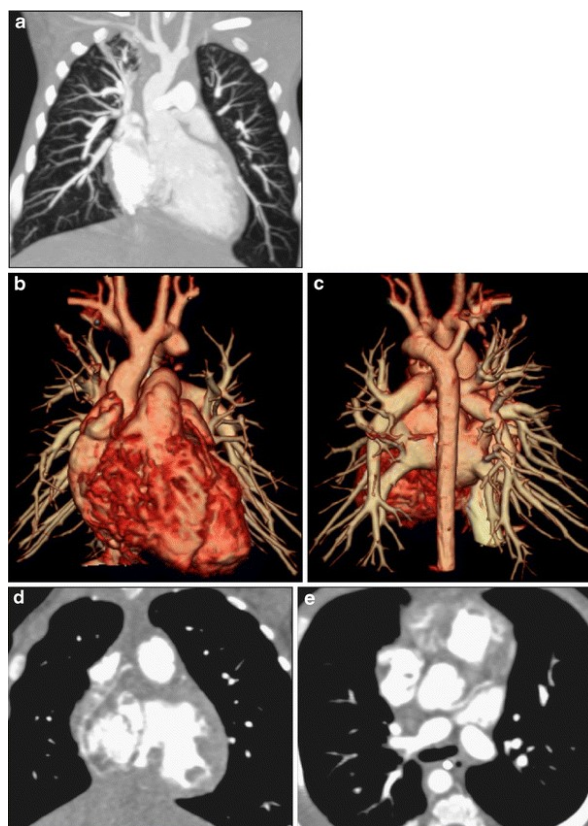


Slika 13: Paranazalni sinusi snimljeni LDCT tehnikom

Izvor: <https://storage.googleapis.com/plos-corpus-prod/10.1371/journal.pone>

4.2.2. NISKODOZNI CT PREGLEDI TORAKALNIH ORGANA

Budući da djeca imaju veću frekvenciju srca u odnosu na odrasle, Zacharius i suradnici su prikazali neke od protokola za CT torakalnih organa kod djece (Slika 14). Prepostavili su da je upravo zbog toga za skeniranje djece potreban brzi CT skener kako bi se zadovoljila kvaliteta slike u uvjetima brže frekvencije. U tim slučajevima koristili su spiralni CT koji je ispunjavao sve kriterije uz osnovni nedostatak - velika doza zračenja. Tako su Habib i sur. u svom istraživanju doveli do zaključka da LDCT angiografija može zadovoljiti i brzinu, a da pri tom smanji i dozu zračenja (18).

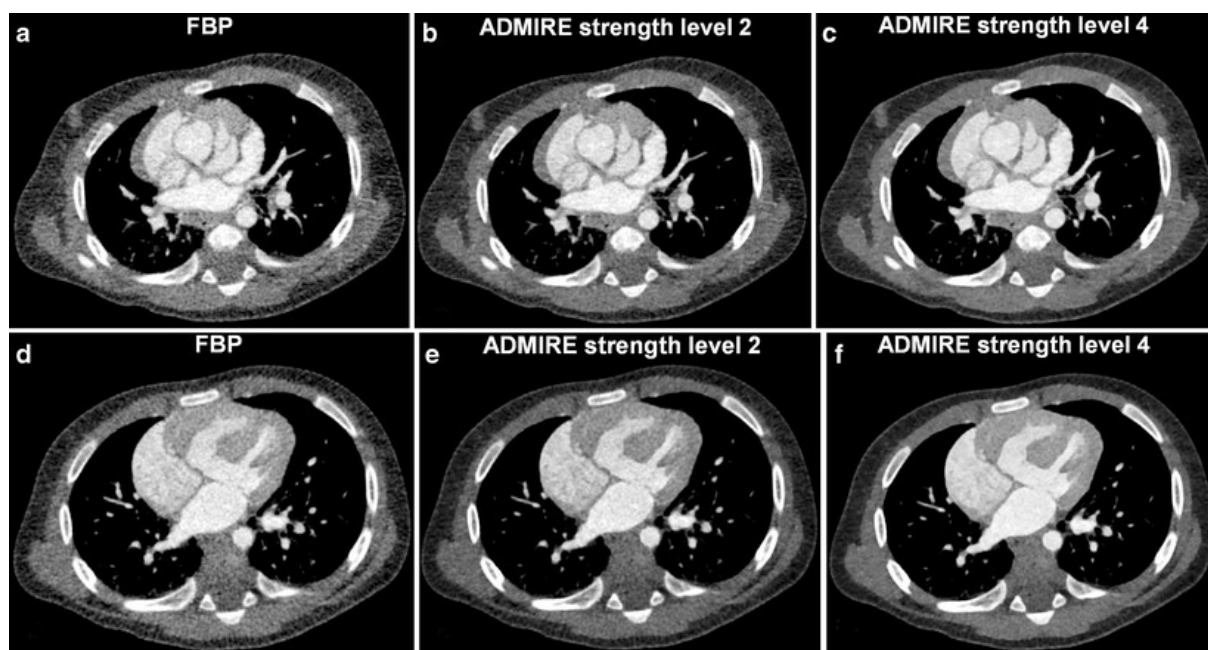


Slika 14: Prikaz kompjuterizirane tomografije srca: pregled tehnika snimanja i razmatranje doze zračenja

Izvor: https://media.springernature.com/lw685/springer-static/image/art%3A10.1007%2Fs00330-010-2036-8/MediaObjects/330_2010_2036_Fig1_HTML.gif

Zbog specifičnosti histološke građe plućnog parenhima u analizi patoloških promjena pluća i intersticija metoda izbora je CT dok. Se ultrazvuk i MR rjeđe koriste. U jednoj studiji su analizirali mogućnost kvalitetnog prikaza različitih parenhimskih bolesti pluća korištenjem LDCT tehnike. U tu svrhu su snimili 18-godišnju djevojku s reumatoidnim artritismom i 9-godišnju djevojčicu s multifokalnim osteomijelitisom. Obje bolesti se obično dijagnosticiraju standardnim protokolom, a u ovom slučaju su korištenjem LDCT dobivene slike prihvatljive dijagnostičke kvalitete (18).

Ono što govori samo za sebe je činjenica da se pri standardnom snimanju koriste jakosti struje između 100 i 200 mAs dok je kod niskodoznog CT-a dovoljna jakost od 50 mAs da bi bio kvalitetan slikovni prikaz i to kod nesuradljivih pacijenata, dok kod suradljivih je to smanjeno na čak 34 mAs. Ovo samo pokazuje kako bi niskodozni CT uređaj sa svim svojim protokolima trebao biti prva metoda izbora za snimanje plućnog parenhima kod pedijatrijskih pacijenata (Slika 15).

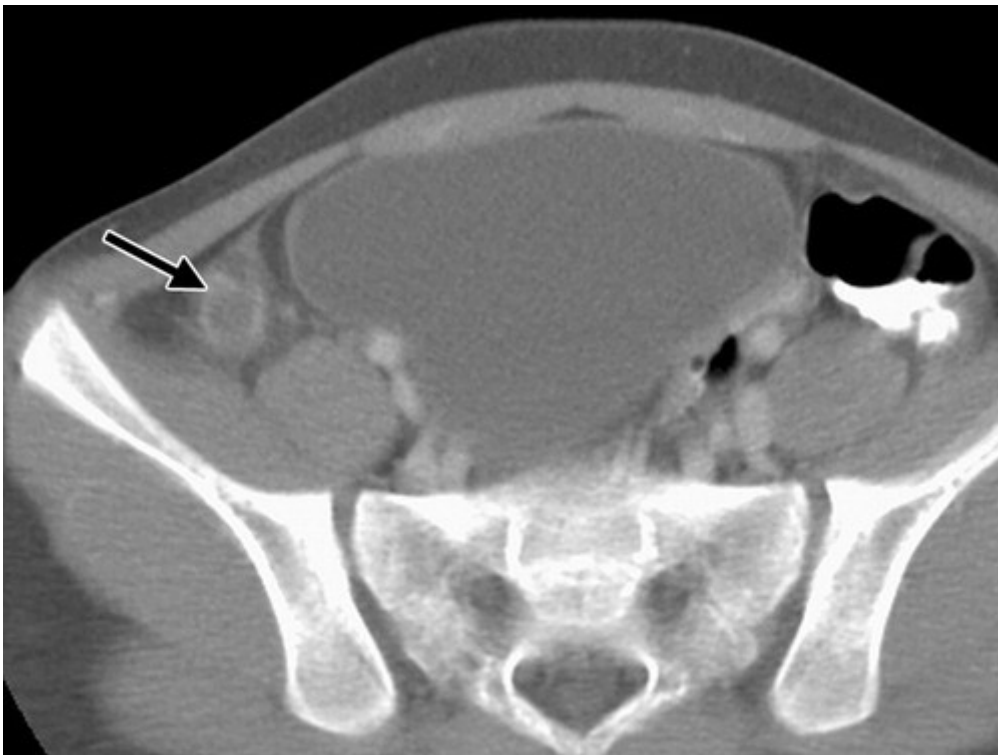


Slika 15: CT angiografija pluća kod 6-mjesečnog dječaka sa dvostrukom izlaznom desnom klijetkom, defektom ventrikularnog septuma, opstrukcijom desnog dijela izlazne klijetke i hipoplastičnim stanjem plućne valvule

Izvor: https://www.researchgate.net/figure/Pediatric-chest-CT-angiography-of-a-6-month-old-boy-with-double-outlet-right-ventricle_fig2_289535793

4.2.3 NISKODOZNI CT PREGLEDI ABDOMENA

Bol u trbuhu je čest simptom u djece, a uzrok tome može biti neka infektivna bolest ili upala slijepog crijeva. Kako je ponekad teško utvrditi etiologiju nastalih boli, potrebno je napraviti dijagnostičku obradu. U tu svrhu mogu se koristiti različite dijagnostičke metode poput ultrazvuka ili kompjutorizirane tomografije. Budući da mala djeca ne mogu ili ne znaju uvijek jasno pokazati mjesto boli, a to ponekad može biti i hitno stanje poput apendicitisa, potrebno je napraviti brzu dijagnostičku obradu koja najčešće uključuje CT abdomena. Znanstvenicima je bio cilj procijeniti koja pretraga donosi najbolje rezultate prikaza upalnog procesa slijepog crijeva, a da pri tom zadovolje sve parametri poput kvalitete slike i smanjenja doze zračenja djeteta. Tim napredovanjem i istraživanjem došlo se opet do zaključka da je niskodozni CT uređaj najoptimalniji za snimanje djeteta i dijagnostiku apendicitisa (Slika 16). Moglo bi se čak i reći da je *zlatni standard* u odnosu na ultrazvuk i standardni CT uređaj (19).



Slika 16: Upala slijepog crijeva u djeteta : LDCT tehnika simulacije na temelju fantoma

Izvor: <https://pubs.rsna.org/cms/10.1148/radiol.2372041642/asset/images/medium/r05nv02g03a.jpeg>

4.2.4. NISKODOZNI CT PREGLEDI MUSKULOSKELETNOG SUSTAVA

U današnje vrijeme ultrazvučna dijagnostika je temeljna pretraga u praćenju trudnoće i fetalnog razvoja. Ultrazvukom se mogu pravovremeno uočiti fetalne malformacije i abnormalnosti skeleta. Ukoliko se posumnja na mogućnosti postojanja anomalije skeleta u djeteta, potrebno je trudnicu poslati na dodatne dijagnostičke pretrage koje će pomoći u postavljanju dijagnoze poput kompjuterizirane tomografije protiv koje su ginekolozi bili zbog posljedica koje mogu nastati djelovanjem ionizirajućeg zračenja na plod. Kako je rano prenatalno postavljanje dijagnoze od iznimnog značaja za daljnje liječenje i mogućnost izlječenja, CT je unatoč zračenju postao metoda izbora u dijagnostici muskuloskeletnih abnormalnosti. Imai i sur. (20) su predložili prenatalni protokol za dijagnosticiranje skeletne displazije koji uključuje smanjivanje doze ionizirajućeg zračenja te su došli do rezultata da je moguće obaviti kvalitetne dijagnostičke preglede sa dozom od 0,7 mSv.

4.3. FETALNA DOZIMETRIJA NA CT-u

CT skeniranje trudnice često predstavlja posebno područje u radiologiji zbog zabrinutosti za štetno djelovanje zračenja na majku i na plod. Medicinski fizičari koriste nekoliko metoda za procjenu apsorbirane količine zračenja na fetus. Liječnik bi trebao poznavati potencijalne biološke učinke zračenja na fetusa te pragove doze zračenja pri kojima nastaju pojedina oštećenja. Upravo o temi vezanoj za fetalnu dozimetriju postoji znanstveni članak koji objašnjava relevantne činjenice (21).

Ponekad je izlaganje trudnice zračenju CT-om nužno i neizbježno, a također postoje situacije kada žena i ne znajući da je trudna bude izložena zračenju. Prema tome, važno je provjeriti mogućnost trudnoće u pacijentice analiziranjem β -HCG u krvi prije snimanja i naravno odabirom alternativne dijagnostičke metode metodu bez zračenja

U svrhu minimaliziranja mogućeg štetnog djelovanja ionizirajućeg zračenja postoji stalna potreba z apreciznim kvantificiranjem doze zračenja. . Studije provedene na životinjama i promatrane u ljudi su dokazale da izlaganjem fetusa in utero postoji povezanost s povećanim raka u djetinjstvu, prenatalne smrti, smanjenja kvocijenta inteligencije, mikrocefalije, oligofrenije, malformacije organa ili zastoja u razvoju (22). (Slika 17).

Fetal Effect	Period of Highest Risk (weeks)	Fetal Dose Threshold (mGy)
Prenatal death	0–1	50
Growth retardation	1–8	200
Organ malformation	2–8	250
Small head size	2–15	100
Loss of IQ	8–15	100
Intellectual disability	8–15	100
Cancer induction	2 to term	...

Slika 17: Bioučinci fetalne doze zračenja

Izvor : William F. Sensakovic, PhD Ivey Royall, MD Matthew Hough, PhD Peter Potrebko, PhD Vincent Grekoski Rebecca Vicenti

Navedeni učinci ovise o gestacijskoj dobi u kojoj je djelovalo zračenje te imaju prag doze, osim rizika za razvoj karcinoma koji predstavlja stohastički učinak neovisan o dozi.

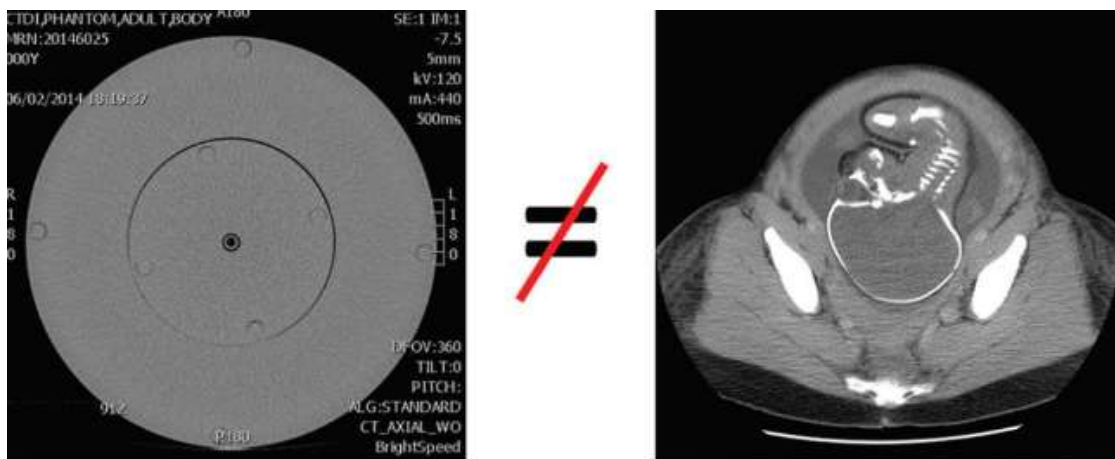
Svaki od rizika ima svoju krivulju praga doze i nastanka štetnog djelovanja u pojedinim fazama razvoja fetusa. Tijekom prvog tjedna kada embrij raste i implantira se, izloženost zračenju može rezultirati ili gubitkom trudnoće ili biti bez ikakvog utjecaja na trudnoću. Do 8 tjedna kada embrij raste do otprilike 1,5 cm duljine, rizici su nastanak malformacije pojedinih organa te zastoj u rastu. Najosjetljivije razdoblje za nastanak mikrocefalije je u periodu od 2.-15. tjedna kada se formira središnji živčani sustav. Od 8.-15. tjedna fetus je osjetljiv na nastanak kongnitivnih poremećaja. Svi fetalni bioučinci izazvani zračenjem, osim raka su deterministički učinci te imaju prag doze do koje se ne pojavljuju. Međutim, teško je odrediti pragove doza jer su provedene studije kombinacije promatranja na životinjama i ljudima. Prag niži od 100 mGy imao je učinak u obliku prenatalne smrti, dok prag od 50 mGy predstavlja studije koje su napravljene isključivo na eksperimentalnim životinjama. Zbog navedenog, Američko društvo radiologa (*American College of Radiology-ACR*) (23), Američko udruženje fizičara u medicini (*American Association of Physicists in Medicine- AAPM*) (24), Međunarodna komisija za radiološku zaštitu (*International Commission on Radiological Protection- ICRP*) (25), Državno vijeće za zaštitu od zračenja i mjerenja (*the National Council on Radiation Protection and Measurements-NCRPM*) (26) i Američki koledž opstetričara i ginekologa (*American College of Obstetricians and Gynecologists-ACOG*) (27) savjetuju oprez kod pripisivanja rizika i kod raspravljanja fetalnim dozama ispod ovih vrijednosti.

Postoji razlika u zračenju ovisno o tome da li se fetus nalazi izvan ili unutar skeniranja. Doza zračenja kada se fetus nalazi izvan polja skeniranja prvenstveno je rezultat djelovanja raspršenog zračenja unutar majke (28), dok u slučaju kada je unutar polja skeniranja postoji djelovanje primarnog snopa zračenja i raspršenog zračenja. Zaštita od zračenja u smislu pregača se ne koristi ni u jednom od ova dva slučaja kako ne bi prekrila organ koji se snima. Takvi primjeri izravnog izlaganja fetusa/embrija zračenja nastaju kod indikacija poput sumnje na plućnu emboliju (kada je fetus izvan polja skeniranja) - te pri sumnji na upalu crvuljka (tada je fetus u primarnom snopu skeniranja) (29).

4.3.1. METODE PROCJENE FETALNE DOZE

Postoji nekoliko metoda za procjenu doze fetalnog zračenja nakon snimanja CT-a abdomena i zdjelice u majke. Metode se temelje na procjeni izravnog mjerenja korištenjem fantoma ili statistički (Monte Carlo) putem računalne simulacije.

Kod izravne fantomske procjene već desetljećima se koriste fantomi u procjeni zračenja (30). Fantomi su građeni od tvari na koje zračenje ima djelovanje slično kao i na ljudsko tkivo. Tako fantomi mogu biti kao jednostavni cilindri ili mogu biti oblikovani da simuliraju ljudski oblik. Antropomorfni fantom od 32 cm je najčešće korišteni CT fantom (Slika 18). Ovaj fantom je odličan za mjerenje fetalne doze, no ne odgovara ni približno ljudskom obliku te može doći do velikih pogrešaka u procjeni doze zračenja ukoliko je pacijent veći od fantoma. Za procjenu doze zračenja na gravidnu maternicu u koristi se fantom koji predstavlja trudnicu u prvom tromjesečju trudnoće.



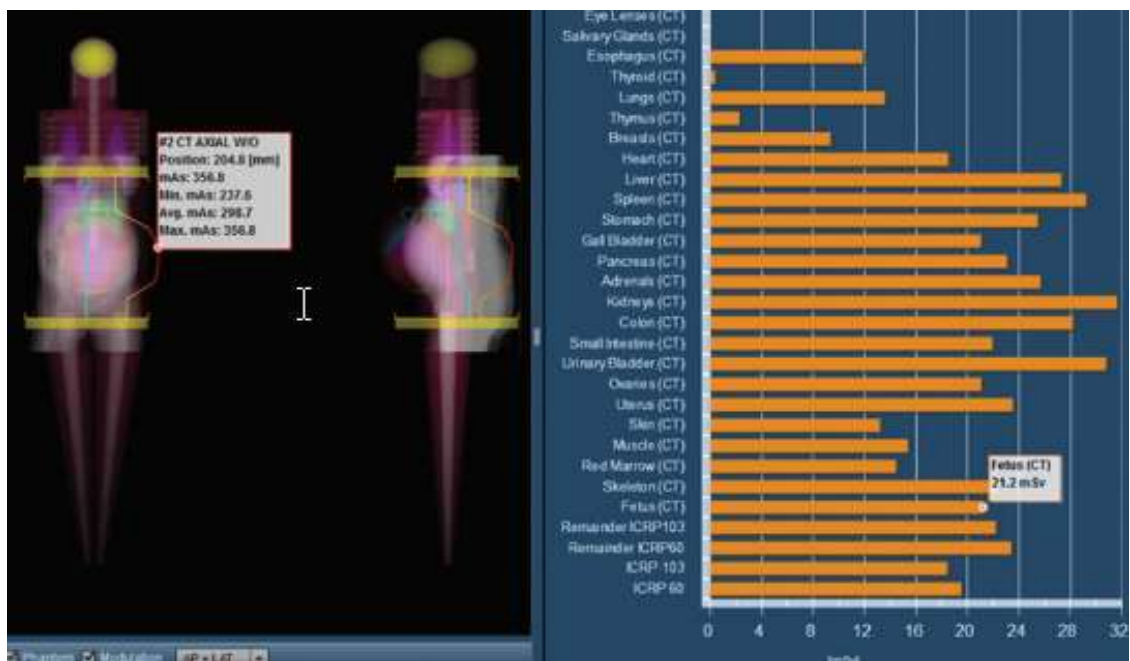
Slika 18: Usporedba slike fantoma i pacijenta

Izvor: Pubmed - Fetal Dosimetry at CT: A Primer

Monte Carlo metoda sastoji se od usporedbe fantoma i pacijenta, te aksijalne slike koja prikazuje varijaciju kostiju i tkiva pravog pacijenta, što fantomu nedostaje. Kod Monte Carlo metode algoritam prati fotone jedan po jedan, kakve interakcije imaju, koliko energiju talože i gdje je deponiraju. Ovisno o vrsti interakcija, matematičkoj sofisticiranosti programa, i željenoj točnosti i preciznosti simulacije mogu uključivati milijune ili milijarde simulacije fotona i sate

do mjeseca računalnog vremena. Monte Carlo simulacije se trenutno ne izvode zbog dugotrajnosti vremena i složenosti računanja. Umjesto toga, koriste se statističke simulacije s varijabilnim digitalnim fantomima u različitim uvjetima. Digitalni fantom je zapravo tro-dimenzionalni model koji je konstruiran u memoriji računala u obliku čovjeka i dodjeljena su mu svojstva koja oponašaju ljusko tkivo. Procjena fetalne doze može se grupirati prema vrsti digitalnih fantoma: stilizirani, voxel i hibridni fantomi. Stilizirani fantomi se koriste za jednostavne trodimenzionalne oblike za ograničenje kritičnih struktura (npr. pluća) unutar tijela (31). (Slika 19)

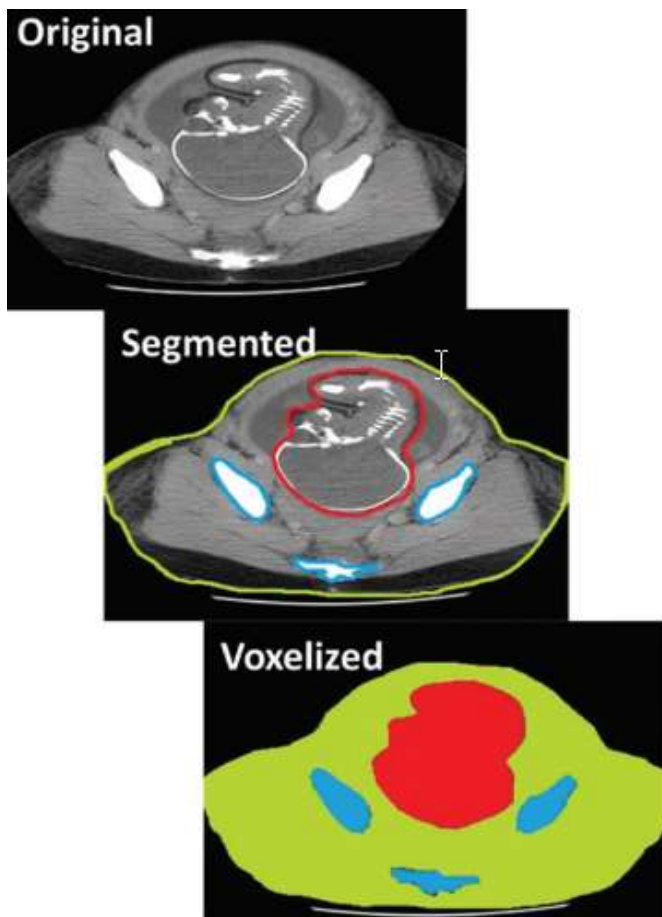
Takvi fantomi često temelje ukupnu veličinu pacijenta i veličinu organa antropološki.



Slika 19: Procjena fetalne doze uz stilizirani fantom

Izvor: Pubmed – Fetal Dosimetry at CT: A Primer

Fantomi temeljeni na voxelu koriste se za poboljšanje prikaza stiliziranih fantoma kako bi pregledi pacijenta bili prikazani u definiranom vremenu s preciznim izračunom (Slika 20). Ovi podaci se zatim ručno segmentiraju ocrtavanjem strukture od interesa. Ako je CT snimka dijagnostički materijal, tada fantomi dobivaju dodatnu točnost jer se faktori prigušenja mogu izravno temeljiti na skeniranju u Hounsfield jedinicama. Nekoliko studija su uspoređivali dozimetriju stiliziranih i voxel fantoma, te došli do zaključka da su voxel fantomi točniji u izračunu doze od stiliziranih fantoma (32).



Slika 20: Fantom temeljen na voxelu

Izvor: Pubmed - Fetal Dosimetry at CT: A Primer

Izrada hibridnog fantoma obično počinje segmentiranjem jednog ili više fantoma temeljenih na voxelu. Hibridni fantomi temelje se na ljudima u realnoj veličini, obliku organa i položaju. Ti se fantomi mogu spojiti s drugim podatcima te stvoriti fantome koji se kreću (disanje pluća i otkucaja srca) (33).

4.3.2 PRIMJER IZRAČUNA FETALNE DOZE

Angel i suradnici (34) napravili su procjenu fetalne doze temeljenu na Monte Carlo simulacijama na 24 voxel fantoma. Ograničenje studije je bilo to što se radilo samo na jednom modelu CT uređaja, no prednost je što su obuhvaćena sva tri tromjesečja trudnoće.

Napravljena je jednadžba za navedenu simulaciju:

$$Dose = \frac{mAs}{100 \cdot pitch} (-0.119 \cdot Perimeter - 0.029 \cdot Depth + 25.56)$$

Ova jednadžba prikazuje perimetar majke i dubinu ploda te smanjene fetalne doze zračenja u odnosu na navedeno. Rezultat smanjene fetalne doze je činjenica da je fetus zaštićen u majčinoj utrobi. Napravljena su ručna mjerenja dubine ploda i majčinog perimetra tako da daju ulazne podatke algoritma. Fetalna dubina je izmjerena 5.8 cm, a opseg 102,9 cm. Sve se to promatralo na DICOM zaglavlju koje je pokazalo napon cijevi od 150 mAs. Kada se uvrsti ta vrijednost u jednadžbu dobije se procijenjena fetalna doza od 13,3 mGy što dovodi do zaključka da se fetalna doza nalazi ispod praga zabrinutosti. Putem ove jednadžbe možemo jednostavno doći do toga postoji li rizik od zračenja ili ne, što je i bio cilj studije (34).

Kao zaključak ove studije možemo reći da metode procjene fetalne doze moraju imati neki oblik mjerenja kao ulaz u algoritam te se ova mjerenja pokušavaju prilagoditi veličini majke ili položaju fetusa. Potrebno je koristiti CT u neophodnim situacijama i na taj način izbjeći rizik ukoliko nije potreban.

4.4. DIJETE U ULOZI PACIJENTA

Mala djeca predstavljaju najzahtjevniju populaciju za zdravstvenog djelatnika. Svakom djetetu treba pristupiti individualno, polako, s puno ljubavi i strpljenja. Sam dolazak djeteta u bolnicu predstavlja stresnu situaciju što otežava komuniciranje s djetetom pri obavljanju dijagnostičkih pretraga. Stoga je zadatak inženjera medicinske radiologije koji priprema dijete za CT pretragu da stekne djetetovo povjerenje te s njime komunicira strpljivo s puno suosjećanja i empatije. Treba mu polako objasniti svaki korak prilikom snimanja dijagnostičke pretrage kako bi dijete sudjelovanjem u pretrazi minimaliziralo moguće pogreške.

Potrebno je stvoriti ugodan ambijent u kojoj djeteneće osjećati strah. Neke bolnice imaju oslikane uređaje ili prostore prizorima iz animiranih filmova ili slikovnica kako bi djeci stvorili ugodnu atmosferu za vrijeme snimanja dijagnostičkih pretraga i olakšali neometano izvođenje dijagnostičkih postupaka.



Slika 21: Prikaz pripreme djeteta za snimak CT glave

Izvor:

<https://krenizdravo.dnevnik.hr/zdravlje/pretrage/ct-glave-sto-je-kako-se-pripremiti-cijena>



Slika 22: Prikaz Ct uređaja za djecu

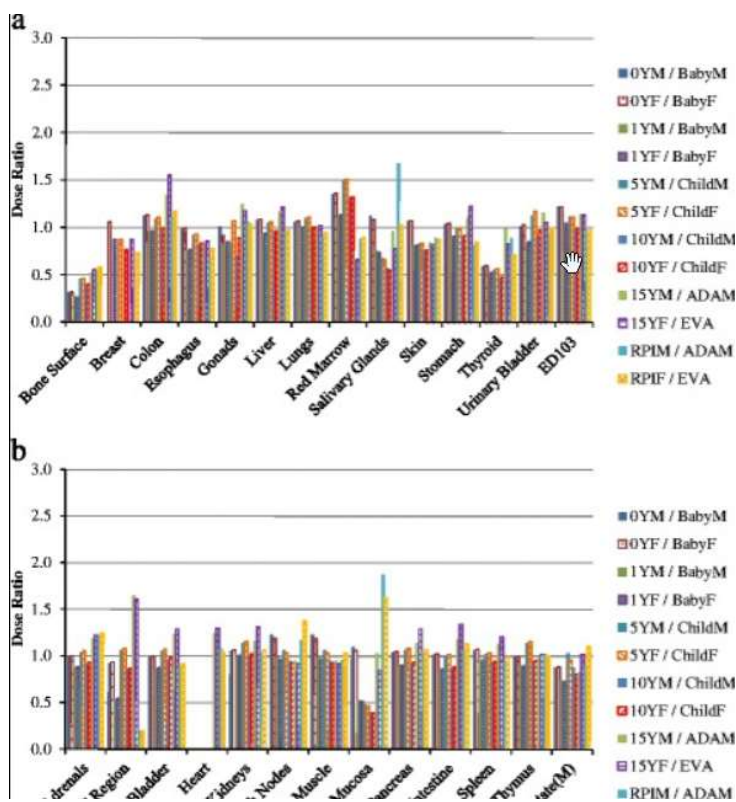
Izvor:

<https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Fslobodnadalmacija.hr%2Fvijesti%2Fhrvatska%2>

4.5. USPOREDBA METODA PROCJENE DOZE ZRAČENJA ORGANA CT-om KOD DJECE I ODRASLIH

Procjena doze zračenja kod djece i odraslih koja su bili izloženi zračenju CT-om pokazala je važnost praćenja faktora koji mogu utjecati na nastanak karcinoma. Studija je htjela potvrditi razliku između softwera Virtualdose u usporedbi sa softwareom koji se trenutno koristio (35).

U studiju su bila uključena djeca i odrasli koji su bili raspoređeni u pet dobnih skupina (33). Odstupanja doze zračenja unutar organa su bila manja od 20 %. Analizirani su CT skenovi glave, prsnog koša, abdomena i zdjelice te su uspoređivane doze zračenja za navedene organe unutar i izvan raspona skeniranja. Kod odraslih VirtuaDose je uspoređen sa CT-Expo i ImpPACT-om dok je kod pedijatrijskih pacijenata VirtualDose uspoređen samo sa CT-Expom. Rezultati su doveli do toga da je razlika između VirtualDose i ImaPACT-a bila za više od 40 % kod skeniranja glave, a kod prsnog koša manje od 21 %. Kod pedijatrijskih pacijenata promjena raspona skeniranja od 2 cm može dovesti peterostruke razlike u dozi u djelomično skeniranim organima.



Slika 23: Usporedba doze organa i učinkovitih doza između VirtualDose i CT- expo

Izvor : <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28446130/#&gid=article-figures&pid=fig-4-uid-3>

4.5.1. Izloženost zračenju u djece – kancerogeni učinak

Već više puta navedeno u radu da su djeca izloženija nastanku karcinoma zbog ionizirajućeg zračenja od odraslih zbog svojih tijela u razvoju, te zbog toga zahtijevaju posebnu pažnju kada se zračenje koristi u svrhu postavljanja dijagnoze ili liječenja. U članku Kutanzi KR, Lumen A, Koturbash I, Miousse IR. se raspravljalo o kancerogenom potencijalu ionizirajućeg zračenja iz slučajnih, dijagnostičkih i terapijskih modaliteta za pedijatrijsku populaciju te je naglasak stavljen na leukemiju i rak štitnjače kao posljedice stohastičnog učinka (36).

Članak raspravlja o povezanosti CT-a i karcinogeneze razmatrajući mogućnosti za ublažavanje ili minimiziranje negativnih zdravstvenih učinaka izloženosti ionizirajućem zračenju u pedijatrijskoj dobi.

Iako svjesnost o utjecaju zračenja na određene organe postoji još odavno, danas smo sigurni da su djeca osjetljivija na zračenje od odraslih, a to se posebno odnosi na organe i tkiva koji su razvoju poput mozga, dojke, kože i štitnjače (37).

Radioterapija je liječenje koje se koristi preko jednog stoljeća i već odavno su opisani kratkoročne štetni učinci zračenja, dok se dugotrajni učinci radioterapije. još uvijek intenzivno proučavaju Jednu od prvih studija o dugoročnim ishodima radioterapije objavili su 1950. godine Duffy i Fitzgerald (38) koji su analizirali pacijente mlađe od 18 s rakom štitnjače i primijetili da je gotovo polovica pacijenata u ranom djetinjstvu (u dobi od 4 do 16 mjeseci) primala radioterapiju zbog povećanog timusa.

Zabilježeno je da su se u posljednjih 30 godina prosječne doze zračenja kojima su Amerikanci bili izloženi udvostručile (39).

Unatoč mogućoj štetnosti od korištenja CT uređaja nije bilo govora o izbacivanju njegove upotrebe u dijagnostičke svrhe (40). Prema tome, potrebno je raditi na uređenju CT protokola koji će smanjiti štetnost, a zadržati kvalitetu slike.

Studije pokazuju da se u SAD-u godišnje napravi oko milijun CT pregleda kod djece mlađe od 5 godina, 3 do 11 % djece su mlađi od 15 godina. Tako posljednjih godina imamo trend povećanja CT pretraga u dijagnostičke svrhe. Primjer toga je kohortna studija koja je uključivala 355 008 djece obuhvaćajući pet velikih zdravstvenih regija u Arizoni, Teksasu, Floridi i Wisconsinu pokazala da je 8 % djece obavilo najmanje jedno CT skeniranje., a 3,5 % djece dva ili više skeniranja (41).

Prema izračunima iz 2001. godine Brennera i suradnika, CT pretrage glave i abdomena u djetinjstvu dovele su do desetorostrukog povećanja procijenjenog rizika u odnosu na odrasle.

Novija studija koju su proveli Pearce i suradnici (42) bila je prva koja je izvijestila o rizicima od leukemije i tumora mozga povezanih s CT pretragom tijekom djetinjstva. U ovoj retrospektivnoj kohortnoj studiji na gotovo 180 000 pacijenata, autori su izvijestili o povećanim stopama leukemije i tumora mozga nakon CT pretraga s prosječnim razdobljem praćenja od 10 godina. Njihova je studija pokazala da kumulativne apsorbirane doze organa od oko 50 mGy isporučene CT-om djeci utrostručavaju rizik od leukemije u usporedbi s dozama ispod 0,5 mGy. Slično tome, kumulativne apsorbirane doze organa od 60 mGy povezane s pedijatrijskim CT-om utrostručile su rizik od tumora mozga (43). Na temelju rezultata ove epidemiološke studije dobiveni su zaključci da će se na 10 000 CT skeniranja pojaviti 1 slučaj leukemije i 1 dodatni slučaj tumora mozga u pacijenata mlađih od 10 godina. Slična povećanja ili projicirani rizici od nastanka leukemije, tumora mozga ili drugih solidnih tumora prijavljeni su u SAD-u, Tajvanu i Australiji. Ovi kumulativni apsolutni rizici su relativno mali. Međutim, prethodne studije na izloženoj populaciji pokazale su da do razvoja karcinoma izazvanih zračenjem može doći i do 20 do 40 godina nakon izlaganja (44). Stoga su dvije studije procijenile da se oko 30% leukemija izazvanih zračenjem još nije pojavilo unutar postojećeg 10-godišnjeg razdoblja (45). Taj broj doseže čak 90% u slučaju tumora mozga. Uzimajući ovo u obzir, procijenjeni životni rizici pojave leukemije u dječjoj dobi povezane s CT-om mogli bi postati 1-na-7500 izloženih, a tumora mozga 1-na-1000 slučajeva.

Stoga, dolazimo do zaključka i zabrinutosti da se čak i pri niskim dozama zračenja povećava rizik od malignih bolesti za vrijeme životnog vijeka. To nam zapravo govori, da izloženost niskim dozama zračenja u djetinjstvu može dovesti do razvoja malignoma u odrasloj dobi štonaglašava važnost optimiziranja CT protokola. Ova spoznaja je imala utjecaja na neke zdravstvene ustanove koje su smanjile broj dijagnostičkih pregleda ili optimizirale CT protokole koje izvode.

No obzirom da uvijek postoje nužne i hitne situacije u kojima je potrebno koristiti CT dijagnostiku, potrebno je koristiti optimalne parametre pri kojima će određeni raspon doze uravnotežiti kvalitetu slike i šuma (46). Ovakav zadatak nije nimalo lagan te je potreban multidisciplinarni pristup radiologa, radiološkog tehnologa, pedijatra i drugih kliničkih specijalista nekom specifičnom kliničkom problemu za dobrobit djece u budućnosti.

4.6. Komunikacija radiološkog tehnologa sa djetetom i roditeljem

Radiološki tehnolozi su stručno obrazovane osobe koje tijekom edukacije upoznaju se s radom na različitim kliničkim specijalističkim odjelima u bolnici i drugim zdravstvenim ustanovama te savladavaju rad na različitim radiološkim uređajima. Kroz to vrijeme nailaze na različite probleme i situacije u kojima se prilagođavaju u budućnosti za samostalan profesionalan rad u struci. Posebnu skupinu pacijenta čine djeca koja su često vrlo osjetljivi i zahtjevni pacijenti. Sve ovo dodatno opterećuje rad inženjera radiološke tehnologije koji nastoji obaviti svoj posao profesionalno izbjegavajući greške i propuste.

Dijete treba prvo psihološki pripremiti za snimanje, odnosno upoznati s uređajem, te pojasniti postupak koji slijedi pri snimanju. Priču treba pokušati prilagoditi njihovoj mašti i slikovito objasniti postupak snimanja CT uređajem poput putovanja „svemirskim brodom“. (Slika 24). Nakon što dijete pokaže naklonost, treba ga upoznati sa svim pomagalicama ili priborom koji će se koristiti prilikom dijagnostičkog postupka, bilo da se radi o zaštitnim pregačama ili o sredstvima za imobilizaciju. Ovakvim pristupom povećavamo vjerojatnost suradnje djeteta pri izvođenju pretrage te mogućnost uspješnog izvođenja iste.



Slika 24: Čekaonica za djecu

Izvor : <https://blog.sensoryedge.com/waiting-room-toys-and-furniture-solutions-2/>

Budući da dijete po zakonu do svoje 18-ste godine nije sposobno donositi odluke koje se tiču zdravstvene skrbi, potreban je informirani pristanak roditelja ili zakonskog skrbnika., te je time ključno ostvariti dobru komunikaciju s roditeljem ili skrbnikom

Roditelje je potrebno upoznati s zdravstvenim stanjem djeteta te sa dijagnostičkim postupcima koji slijede. Treba razumjeti njihov strah i brigu za djetetovo zdravlje te pokazati profesionalnost, empatiju, irazumijevanje. Svaki korak pri dijagnostičkom postupku koji je potreban za djetetovu dobrobit treba pojasniti roditelju na lako razumljiv način. Potrebno je izbjegavati stručne nazive i prilagoditi se roditelju koji ne mora imati medicinsko znanje. Budući je za većinu dijagnostičkih postupaka potrebno dobiti informirani pristanak važno je zadobiti povjerenje i suradnju roditelja ili skrbnika koji će donijeti ispravnu i razumnu odluku.(Slika 25).

The image shows a sample of an informed consent form in Croatian. The form is titled "INFORMIRANI PRISTANAK" (Informed Consent). It includes a header with a logo and contact information. The main body of the form contains several sections of text, including a section with checkboxes for consent and refusal. The text is in Croatian and appears to be a standard form used in medical settings.

Slika 25: Primjer informiranog pristanka

Izvor: <https://bfm.hr/wp-content/uploads/2020/08/Informirani-pristanak-1.pdf>

5. ZAKLJUČAK

Proučavanjem brojnih studija o štetnosti CT zračenja na djecu dolazimo do zaključka o važnosti aktivnog pronalaženja najboljeg načina izvođenja dijagnostičke pretrage za svakog pacijenta koji mora biti izložen zračenju. U populaciji je prisutna svijest o štetnosti ionizirajućeg zračenja, ali i nužnosti upotrebe CT-a u dijagnostičke svrhe. S obzirom da su djeca, kao što je već neokliko puta istaknuto, vrlo osjetljiva na djelovanje ionizirajućeg zračenja zbog fiziološkog rasta i razvoja potreba za što kvalitetnijim pronalaženjem optimizirajućih CT protokola je od iznimne važnosti. što je neophodno za očuvanje zdravlja populacije u budućnost. Prema tome anašnji tehnološki razvitak u radiologiji je sve više usmjeren prema osnovnom postulatu u radiologiji, a to je „As low as reasonably achievable“.

6. POPIS KRATICA

CT – kompjutorizirana tomografija (*engl. Computed Tomography*)

MR – magnetska rezonancija (*engl. Magnetic Resonance Imaging*)

RBE - relativne biološke efikasnosti zračenja

BQ – becquerel

E - efektivna doza

Sv - Sivert

mGy- miliGray

DECT - dual energy CT

CRN – omjer kontrasta i šuma

LDCT- niskodozni CT (*engl. Low Dose CT*)

7. LITERATURA

1. <https://repo.ozs.unist.hr/islandora/object/ozs%3A575/datastream/PDF/view>
2. [https://www.jacr.org/article/S1546-1440\(13\)00664-9/fulltext](https://www.jacr.org/article/S1546-1440(13)00664-9/fulltext)
3. <https://zir.nsk.hr/islandora/object/ozs%3A251/datastream/PDF/view>
4. [file:///C:/Users/ana.matos/Downloads/ani_vukasovic_hrct-msct_pluca%20\(4\).pdf](file:///C:/Users/ana.matos/Downloads/ani_vukasovic_hrct-msct_pluca%20(4).pdf)
5. <https://repo.ozs.unist.hr/islandora/object/ozs%3A301/datastream/PDF/view>
6. Mannudeep K. Kalra, MD Aaron D. Sodickson, MD, PhD William W. Mayo-Smith, MD
7. Kalra MK, Maher MM, Toth TL, et al. Strategies for CT radiation dose optimization. *Radiology* 2004;230(3):619–628
8. Duong PA, Little BP. Dose tracking and dose auditing in a comprehensive computed tomography dose-reduction program. *Semin Ultrasound CT MR* 2014;35(4):322–330.
9. Sodickson A, Warden GI, Farkas CE, et al. Exposing exposure: automated anatomy-specific CT radiation exposure extraction for quality assurance and radiation monitoring. *Radiology* 2012;264(2):397–405.
10. Johnson TR. Dual-energy CT: general principles. *AJR Am J Roentgenol* 2012;199(5 suppl):S–S8
11. Siegel MJ, Curtis WA, Ramirez-Giraldo JC. Effects of dualenergy technique on radiation exposure and image quality in pediatric body CT. *AJR Am J Roentgenol* 2016;207(4): 1–10
12. Huda W, Lieberman KA, Chang J, Roskopf ML. Patient size and x-ray technique factors in head computed tomography examinations. I. Radiation doses. *Med Phys* 2004;31(3):588–594
13. Yu L, Li H, Fletcher JG, McCollough CH. Automatic selection of tube potential for radiation dose reduction in CT: a general strategy. *Med Phys* 2010;37(1):234–243
14. Lee EY, Boiselle PM. Tracheobronchomalacia in infants and children: multidetector CT evaluation. *Radiology* 2009;252(1):7–22
15. Bruno Atalić^{1*}, Danijela Veljković Vujaklija² Slaven Jurković, Mirko Balić, Goran Roić Damir Miletić²
16. Morton RP, Reynolds RM, Ramakrishna R, Levitt MR, Hopper RA, Lee A et al. Low-dose head computed tomography in children: a single institutional experience in pediatric radiation risk reduction: clinical article. *J Neurosurg Pediatr* 2013;12:406-10

17. Zacharias C, Alessio AM, Otto RK, Iyer RS, Philips GS, Swanson JO et al. Pediatric CT: Strategies to Lower Radiation Dose. *Am J Roentgenol* 2013
18. Habib Geryes B, Calmon R, Donciu V, Khraiche D, WarinFresse K, Bonnet D et al. Low-dose paediatric cardiac and thoracic computed tomography with prospectiv triggering: Is it possible at any heart rate? *Phys Med* 2018;49:99-104
19. Yi DY, Lee KH, Park SB, Kim JT, Lee NM, Kim H et al. Accuracy of low dose CT in the diagnosis of appendicitis in childhood and comparison with USG and standard dose CT. *J Pediatr* 2017;93:625-31.
20. Imai R, Miyazaki O, Horiuchi T, Asano K, Nishimura G, Sago H et al. Ultra-Low-Dose Fetal CT with Model-Based Iterative Reconstruction: A Prospective Pilot Study. *Am JRoentgenol* 2017;208:1365-72
21. Sodickson A, Warden GI, Farkas CE, et al. Exposing exposure: automated anatomy-specific CT radiation exposure extraction for quality assurance and radiation monitoring. *Radiology* 2012;264(2):397–405.
22. William F. Sensakovic, PhD Ivey Royall, MD Matthew Hough, PhD Peter Potrebko, PhD Vincent Grekoski, Rebecca Vicenti
23. Jonnalagadda PA, Applegate KE, Becker MD, et al. ACRSPR practice parameter for imaging pregnant or potentially pregnant adolescents and women with ionizing radiation Resolution 39. [https://www.acr.org/Clinical-Resources/ Practice-Parameters-and-Technical-Standards](https://www.acr.org/Clinical-Resources/Practice-Parameters-and-Technical-Standards). Published 2018. Accessed May 25, 2019.
24. American Association of Physicists in Medicine. PP 25-CAAPM Position Statement on Radiation Risks from Medical Imaging Procedures. <https://www.aapm.org/org/policies/details.asp?id=439>. Published 2018. Accessed May 25, 2019.
25. International Commission on Radiological Protection. Pregnancy and medical radiation. *Ann ICRP* 2000;30(1):iiiiviii, 1–43.
26. National Council on Radiation Protection and Measurements. Medical radiation exposure of pregnant and potentially pregnant women. NCRP report no. 54. Bethesda, Md: National Council on Radiation Protection and Measurements, 1977
27. Committee on Obstetric Practice. Committee Opinion No. 723: Guidelines for Diagnostic Imaging During Pregnancy and Lactation. *Obstet Gynecol* 2017;130(4):e210–e216 [Published correction appears in *Obstet Gynecol* 2018;132(3):786.].

28. Iball GR, Kennedy EV, Brettle DS. Modelling the effect of lead and other materials for shielding of the fetus in CT pulmonary angiography. *Br J Radiol* 2008;81(966):499–503.
29. Goldberg-Stein S, Liu B, Hahn PF, Lee SI. Body CT during pregnancy: utilization trends, examination indications, and fetal radiation doses. *AJR Am J Roentgenol* 2011;196(1):146–151.
30. Lee C, Lee J. Computational anthropomorphic phantoms for radiation protection dosimetry: evolution and prospects. *Nucl Eng Technol* 2006;38(3):239–250.
31. Snyder WS, Ford MR, Warner GG, Fisher HL. Estimates of absorbed fractions for monoenergetic photon sources uniformly distributed in various organs of a heterogeneous phantom. *J Nucl Med* 1969;Aug(Suppl 3):7–52.
32. Staton RJ, Pazik FD, Nipper JC, Williams JL, Bolch WE. A comparison of newborn stylized and tomographic models for dose assessment in paediatric radiology. *Phys Med Biol* 2003;48(7):805–820.
33. Xu G, Shi CY. Preliminary development of a 4D anatomical model for Monte Carlo simulation. In: *Proceedings of The Monte Carlo Method: Versatility Unbounded in a Dynamic Computing World*, Chattanooga, TN, 2005.
34. Angel E, Wellnitz CV, Goodsitt MM, et al. Radiation dose to the fetus for pregnant patients undergoing multidetector CT imaging: Monte Carlo simulations estimating fetal dose for a range of gestational age and patient size. *Radiology* 2008;249(1):220–227 [Published correction appears in *Radiology* 2010;255(2):664. Dosage error in article text.].
35. Gao Y, Quinn B, Mahmood U, Long D, Erdi Y, St Germain J, Pandit-Taskar N, Xu XG, Bolch WE, Dauer LT. A comparison of pediatric and adult CT organ dose estimation methods. *BMC Med Imaging*. 2017 Apr 26;17(1):28. doi: 10.1186/s12880-017-0199-3. PMID: 28446130; PMCID: PMC5406971.
36. Kutanzi KR, Lumen A, Koturbash I, Miousse IR. Pediatric Exposures to Ionizing Radiation: Carcinogenic Considerations. *Int J Environ Res Public Health*. 2016 Oct 28;13(11):1057. doi: 10.3390/ijerph13111057. PMID: 27801855; PMCID: PMC5129267.
37. Karlsson P., Holmberg E., Lundell M., Mattsson A., Holm L.E., Wallgren A. Intracranial tumors after exposure to ionizing radiation during infancy: A pooled analysis of two Swedish cohorts of 28,008 infants with skin hemangioma. *Radiat. Res*. 1998;150:357–364. doi: 10.2307/3579984

38. Duffy B.J., Fitzgerald P.J. Thyroid cancer in childhood and adolescence. A report on twenty-eight cases. *Cancer*. 1950;3:1018–1032. doi: 10.1002/1097-0142(1950)3:6<1018::AID-CNCR2820030611>3.0.CO;2-H.
39. Mettler F.A., Bhargavan M., Faulkner K., Gilley D.B., Gray J.E., Ibbott G.S., Lipoti J.A., Mahesh M., McCrohan J.L., Stabin M.G., et al. Radiologic and nuclear medicine studies in the United States and worldwide: Frequency, radiation dose, and comparison with other radiation sources—1950–2007. *Radiology*. 2009;253:520–531. doi: 10.1148/radiol.2532082010.
40. Hricak H., Brenner D.J., Adelstein S.J., Frush D.P., Hall E.J., Howell R.W., McCollough C.H., Mettler F.A., Pearce M.S., Suleiman O.H., et al. Managing radiation use in medical imaging: A multifaceted challenge. *Radiology*. 2011;258:889–905. doi: 10.1148/radiol.10101157
41. Dorfman A.L., Fazel R., Einstein A.J., Applegate K.E., Krumholz H.M., Wang Y., Christodoulou E., Chen J., Sanchez R., Nallamothu B.K. Use of medical imaging procedures with ionizing radiation in children: A population-based study. *Arch. Pediatr. Adolesc. Med.* 2011;165:458–464. doi: 10.1001/archpediatrics.2010.270.
42. Pearce M.S., Salotti J.A., Little M.P., McHugh K., Lee C., Kim K.P., Howe N.L., Ronckers C.M., Rajaraman P., Sir Craft A.W., et al. Radiation exposure from CT scans in childhood and subsequent risk of leukaemia and brain tumours: A retrospective cohort study. *Lancet*. 2012;380:499–505. doi: 10.1016/S0140-6736(12)60815-0.
43. Ron E., Modan B., Boice J.D., Alfandary E., Stovall M., Chetrit A., Katz L. Tumors of the brain and nervous system after radiotherapy in childhood. *N. Engl. J. Med.* 1988;319:1033–1039. doi: 10.1056/NEJM198810203191601
44. Preston D.L., Kusumi S., Tomonaga M., Izumi S., Ron E., Kuramoto A., Kamada N., Dohy H., Matsuo T., Matsuo T. Cancer incidence in atomic bomb survivors. Part III: Leukemia, lymphoma and multiple myeloma, 1950–1987. *Radiat. Res.* 1994;137:S68–S97. doi: 10.2307/3578893.
45. Reid J., Gamberoni J., Dong F., Davros W. Optimization of kVp and mAs for pediatric low-dose simulated abdominal CT: Is it best to base parameter selection on object circumference *AJR Am. J. Roentgenol.* 2010;195:1015–1020. doi: 10.2214/AJR.09.3862
46. Pearce M.S., Salotti J.A., Little M.P., McHugh K., Lee C., Kim K.P., Howe N.L., Ronckers C.M., Rajaraman P., Sir Craft A.W., et al. Radiation exposure from CT

scans in childhood and subsequent risk of leukaemia and brain tumours: A retrospective cohort study. *Lancet*. 2012;380:499–505. doi: 10.1016/S0140-6736(12)60815-0. [PMC free article] [PubMed] [CrossRef] [Google Scholar] [Ref list]

8. ŽIVOTOPIS

OSOBNI PODACI:

Ime i prezime: Ana Matoš

Datum, godina i mjesto rođenja: 01.10.1989, Split

OBRAZOVANJE:

Visokoškolsko obrazovanje: Listopad 2019. – Srpanj 2023.

Sveučilišni odjel zdravstvenih studija, Split

Diplomski sveučilišni studij

Smjer: Radiološka tehnologija

Visokoškolsko obrazovanje: Listopad 2011. – Srpanj 2014.

Sveučilišni odjel zdravstvenih studija, Split

Preddiplomski sveučilišni studij

Smjer: Radiološka tehnologija

Srednjoškolsko obrazovanje: Rujan 2005. – Svibanj 2009.

Zdravstvena škola, fizioterapija Split

RADNO ISKUSTVO:

Field Based Sales Manager Coloplast (2019.-)

travanj 2017. – travanj 2018. pripravnički staž prvostupnika radiološke tehnologije KBC

Firule

ZNANJA I VJEŠTINE:

Engleski jezik: Aktivno znanje

Njemački jezik: Osnovno znanje

Rad na računalu: Microsoft Office (Word, Power Point, Excel)