

Utjecaj "low dose" CT zračenja na ljudsko tijelo: sustavni pregled literature

Ćosić, Ivan

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:176:148681>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-08-17**

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

RADIOLOŠKE TEHNOLOGIJE

Ivan Ćosić

**UTJECAJ “LOW DOSE” CT ZRAČENJA NA Ljudsko
TIJELO: SUSTAVNI PREGLED LITERATURE**

Diplomski rad

Mentor:

Izv. prof. dr. sc. Krešimir Dolić, dr. med.

Split, 2023.

SVEUČILIŠTE U SPLITU

Podružnica

SVEUČILIŠNI ODJEL ZDRAVSTVENIH STUDIJA

DIPLOMSKI SVEUČILIŠNI STUDIJ

RADIOLOŠKE TEHNOLOGIJE

Ivan Ćosić

**UTJECAJ “LOW DOSE” CT ZRAČENJA NA LJUDSKO
TIJELO: SUSTAVNI PREGLED LITERATURE**

**IMPACT OF “LOW DOSE” CT RADIATION ON THE
HUMAN BODY: SYSTEMATIC LITERATURE REVIEW**

Diplomski rad / Master's Thesis

Mentor:

Izv. prof. dr. sc. Krešimir Dolić, dr. med.

Split, 2023.

Zahvala

Zahvaljujem se svom mentoru izv. prof. dr. sc. Krešimiru Doliću na ukazanom vremenu, uvijek stručnim, brzim i srdačnim odgovorima punima pomoći. U svakom trenutku je bio spreman odgovoriti na svako moje postavljeno pitanje kako bi svoj rad završio kvalitetno i stručno te sam mu na tome izuzetno zahvalan.

Najviše bih se zahvalio svojoj obitelji i kolegama s posla na podršci i pomoći tijekom mog školovanja. Godine truda, rada i odricanja kako bih bio tu gdje sam danas.

Također, hvala svim prijateljima, kolegama s fakulteta uz koje moje cjelokupno obrazovanje ostaje nezaboravno.

TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

DIPLOMSKI RAD

Sveučilište u Splitu

Sveučilišni odjel zdravstvenih studija

Studij radiološke tehnologije

Znanstveno područje: Biomedicina i zdravstvo

Znanstveno polje: Kliničke medicinske znanosti

Mentor: Izv. prof. dr. sc. Krešimir Dolić, dr. med.

UTJECAJ NISKODOZNOG CT ZRAČENJA NA LJUDSKO TIJELO:

SUSTAVNI PREGLED LITERATURE

Ivan Čosić, 661368

Sažetak:

Samim tehnološkim napretkom došli smo do velikog broja inovativnih i korisnih metoda u korištenju kompjutorizirane tomografije. Suvremenu upotrebu niskodoznog CT-a (*low dose CT*, *LDCT*), kako u odrasloj tako i u dječjoj dobi, smatramo zlatnim standardom zbog vrlo širokog spektra različitih indikacija. Unatoč širokoj primjeni CT dijagnostike danas, prije 17 godina razmišljalo se čak i o ukidanju samog CT pregleda pod kampanjom “*Image Gently*”, koja je inicirana od strane pedijatrijskih radiologa 2006. godine, te zamjenom s ultrazvučnim pregledom (UZV) odnosno magnetskom rezonancom (MR) kao metodama izbora dijagnostike kod djece. No, samu kampanju zaustavio je razvoj i usvajanje *Flash CT* tehnike koja osim što samo vrijeme snimanja čini kraćim, smanjuje i dozu zračenja. Uz naveden razlog nastavka korištenja CT-a, u korist spomenutom pregledu idu i hitne kliničke indikacije koje zahtijevaju CT preglede te neprestano izlaganje određenoj pozadinskoj količini ionizirajućeg zračenja, neovisno radi li se o djeci ili odraslima. S te strane, današnja praksa sve češće preporučuje upotrebu LDCT-a, gdje je protokol svakome pacijentu individualno prilagođen s najmanjom mogućom dozom ionizirajućeg zračenja uz dostatnu kvalitetu dobivenih snimaka.

Svakodnevno korištenje LDCT-a u praksi također postavlja brojna pitanja o njegovoj štetnosti i utjecaju. Pronalazimo različita mišljenja unutar same znanstvene zajednice o povezanosti LDCT-a i razvoju karcinoma, stoga je iznimno važno razmotriti populaciju uključenu u istraživanje, karakteristike samog zračenja i različite dijelove tijela izloženima zračenju prije primjene samog zračenja s ciljem osiguranja da je korišteno znanje znanstveno utemeljeno i razumno. Usprkos doista velikom broju provedenih istraživanja koja zagovaraju korištenje LDCT-a, postoje i drugačija mišljenja o korištenju i posljedicama LDCT-a s kojom nisu upoznati svi profesionalci koji svakodnevno u praksi koriste CT kao metodu izbora.

Ključne riječi: CT; LDCT; UZV; MR; Flash CT; doze; zračenje

Rad sadrži: 56 stranica, 28 slika, 72 literaturne reference

Jezik izvornika: hrvatski

BASIC DOCUMENTATION CARD

MASTER THESIS

University of Split

University Department for Health Studies

Radiology technology

Scientific area: Biomedicine and Healthcare

Scientific field: Clinical and Medical Sciences

Supervisor: Izv. prof. dr. sc. Krešimir Dolić, dr. med.

IMPACT OF LOW DOSE CT RADIATION ON THE HUMAN BODY:

SYSTEMATIC LITERATURE REVIEW

Ivan Ćosić, 661368

Abstract:

Through technological progress alone, we have come up with a large number of advanced and useful methods in the use of CT devices. We consider the modern use of low-dose CT (LDCT), both in adults and in children, to be the gold standard due to a very wide range of different indications. Despite the widespread use of CT diagnostics today, 17 years ago there was an idea of abolishing the CT examination itself under the “Image Gently” campaign, which was initiated by pediatric radiologists in 2006, and replacing it with an ultrasound examination or magnetic resonance imaging as a choice of diagnostic methods for children. However, the campaign itself was stopped by the development and adoption of the Flash CT technique, which, in addition to shortening the imaging time, also reduces the radiation dose. In addition to the aforementioned reason for the sustained utilization of CT, urgent clinical imperatives that require CT examinations and ongoing exposure to varying degrees of background ionizing radiation are also beneficial to the mentioned examination, irrespective of whether the patient demographic is pediatric or adult. On the other hand, contemporary medical practice increasingly endorses the usage of LDCT, where the imaging protocol is custom-tailored to each patient, with the primary objective being the minimization of ionizing radiation dosage while maintaining image quality.

The daily use of LDCT in practice also raises numerous questions about its harmfulness and impact. Different viewpoints within the scientific community regarding the connection between LDCT and cancer development are indeed well-founded. Therefore, when contemplating the application of ionizing radiation in clinical contexts, it becomes essential to meticulously account for key variables, including the specific population under research, the characteristics of the radiation employed, and the anatomical regions subjected to radiation in order to insure the adherence to a scientifically grounded and rational approach. Despite the large number of conducted studies advocating the use of LDCT, there are also different opinions about the use and consequences of LDCT, with which not all professionals who use CT as the method of choice in daily practice are familiar.

Keywords: CT; LDCT; UZV; MR; Flash CT; doses; radiation

Thesis contains: 56 pages, 28 figures, 72 references

Original in: Croatian

SADRŽAJ

1. UVOD	1
2. CILJ RADA.....	2
3. IZVORI PODATAKA I METODE	3
4. RASPRAVA	4
4.1. KOMPJUTORIZIRANA TOMOGRAFIJA (CT).....	4
4.1.1. Povijest i razvoj kompjutorizirane tomografije (CT).....	4
4.1.2. Generacije i princip rada CT-a	6
4.1.3. Dijelovi CT uređaja.....	9
4.1.4. Dozimetrijske metode CT uređaja.....	9
4.2. IONIZIRAJUĆE ZRAČENJE	11
4.2.1. Djelovanje ionizirajućeg zračenja	12
4.2.2. Učinci ionizirajućeg zračenja	13
4.2.3. Doze ionizirajućeg zračenja	15
4.2.4. Zaštita od ionizirajućeg zračenja	16
4.3. LOW DOSE CT (niskodozni CT)	18
4.3.1. Low dose CT u dijagnostici glave i vrata	18
4.3.2. Low dose CT u dijagnostici prsnog koša.....	21
4.3.3. Low dose CT u dijagnostici abdomena i zdjelice	24
4.3.4. Low dose CT u dijagnostici lokomotornog sustava.....	26
4.3.5. Low dose CT u dijagnostici trudnica i djece	28
4.3.6. Low dose CT u radioterapiji.....	32
4.3.7. Low dose CT u dijagnostici kardiovaskularnih bolesti.....	33
4.4. BIOLOŠKI UČINCI LOW DOSE CT-A NA LJUDSKO TIJELO.....	35
4.5. UTJECAJ LOW DOSE CT ZRAČENJA KOD ŽIVOTINJA.....	37
4.6. PREDNOSTI I NEDOSTATCI LOW DOSE CT-A.....	39
5. ZAKLJUČAK.....	42
6. LITERATURA.....	43
7. ŽIVOTOPIS.....	51
8. POPIS I OBJAŠNJENJE KORIŠTENIH KRATICA	52
9. PRILOZI	54

1. UVOD

Svi živi organizmi na planeti Zemlji neprestano su izloženi većim brojem prirodnih izvora ionizirajućeg zračenja kao što su kozmičko zračenje ili pak prirodni radioaktivni materijali. Usprkos pogrešno uvriježenom mišljenju, daleko manja količina zračenja dopire od strane umjetnih izvora kojima upravlja čovjek, kao naprimjer, upotreba zračenja u medicini. Kako bi se i ta doza zračenja smanjila na minimum, sve je češća praksa korištenja niskodozne kompjutorizirane tomografije LDCT (engl. *Low Dose Computed Tomography*) (1).

U svrhu detaljnijeg pregleda korištenja i utjecaja LDCT-a, potrebno je razumjeti i sam razvoj CT (engl. *Computed Tomography*) uređaja kroz povijest, njegove generacije i principe rada, mehaničke komponente te dozimetrijske metode.

Zbog sve veće potrebe samog korištenja CT uređaja, sve se češće potežu pitanja te vrše studije u znanstvenim krugovima vezana uz njegovu upotrebu, utjecaj, razvoj i samo zračenje koje proizvodi. Najčešća pitanja koja se potežu uz upotrebu CT uređaja jest hoće li njegovo korištenje sigurno dovesti do razvoja karcinoma te može li se niskodoznim protokolom ta pretpostavka potpuno odbaciti. Pregledom brojnih studija i rezultata u ovome radu pokušat će se doći do odgovora na navedeno pitanje u okviru korištenja LDCT-a kao pouzdane metode izbora u dijagnostici. Kako bi zaključak mogao biti vjerodostojan i znanstveno utemeljen, ključno je u obzir uzeti samu istraživačku populaciju, karakteristike zračenja (npr. razliku u korištenju CT-a u dijagnostičke svrhe ili pak za potrebe radioterapije), određene dijelove tijela ili korištenje CT pregleda kod trudnica.

Pregledom biološkog utjecaja LDCT pregleda pokušat će se utvrditi postojanje indikacija koje ukazuju na promjene DNA (engl. *Deoxyribonucleic acid*) prije i nakon samog dijagnostičkog postupka, dok će utjecaj LDCT-a na životinje pokušati dokazati povezanost između studija na životinjama sa studijama na ljudima te njihovu upotrebljivost za daljnja istraživanja.

Na samom kraju rada obradit će se pozitivni i negativni aspekti LDCT-a te iznijeti zaključak definiran nizom ranije obrazloženih studija koje doista rijetko zaviru u točno određenu sferu štetnosti LDCT-a na ljudsko tijelo.

2. CILJ RADA

U ovome diplomskome radu, cilj je definirati pozitivne i negativne utjecaje koje niskodozna kompjutorizirana tomografija predstavlja za ljudsko tijelo pomoću pregleda niza znanstvene literature koristeći se sustavnom metodologijom rada. Uz navedeno, svrha rada je predstaviti različite znanstvene studije i njihove rezultate koje podupiru navedene činjenice i utjecaje LDCT-a.

3. IZVORI PODATAKA I METODE

Diplomski rad napisan je korištenjem pregledne metode stručne literature pronađene unutar internetskih baza podataka (Pubmed.gov, Science Direct i Ncbi) te pregledom stručnih medicinskih udžbenika i znanstvenih knjiga navedenih u literaturi. U internetsku bazu je upisom ključnih riječi low dose CT, harm, benefits i biological effects low dose radiation izbor sužen na najrelevantnije stručne radove, knjige i članke te su se 72 literaturne reference korištene u pisanju ovog diplomskog rada izdvojile prema unaprijed određenim kriterijima.

4. RASPRAVA

4.1. KOMPJUTORIZIRANA TOMOGRAFIJA (CT)

Kompjutorizirana tomografija, odnosno CT (engl. *Computed Tomography*), radiološka je digitalna slikovna tehnika koja u svome radu koristi rendgenske zrake, snopaste formacije koja nalikuju lepezi, a rezultat takvog načina rada su aksijalne (poprečne) slike tijela podvrgnutog samom pregledu. Poznajemo i opće priznati svjetski naziv kompjutorizirana aksijalna tomografija, odnosno CAT (engl. *Computed Axial Tomography*) (2).

4.1.1. Povijest i razvoj kompjutorizirane tomografije (CT)

Otkrićem rendgenskih zraka 8. studenog 1895. godine dolazi do velike revolucije u medicini. Otac prve primjene rendgenskih zraka bio je njemački profesor fizike Wilhelm Conrad Röntgen koji je istraživao utjecaje visokog napon na električno pražnjenje unutar vakuumskih cijevi s razrijeđenim plinovima. Spajanjem elektrode na visoki napon, Wilhelm Conrad Röntgen primijetio je kako fotografska ploča neposredno pokraj cijevi postaje crna, a pojedini kristali okolo su svjetlucali. Nastavkom istraživanja otkriva kako na fotografskoj ploči i fluorescentnom ekranu pomoću netom otkrivenih zraka dobiva sliku objekta smještenog u neprozirne kutije. Odmah se uvjerio kako pomoću tih novih zraka možemo promatrati samu unutrašnjost ljudskog tijela. Vrlo brzo Wilhelm Conrad Röntgen te iste nove nepoznate zrake naziva x-zrakama. Zahvalu za svoje otkriće okrunio je Nobelovom nagradom, a same x-zrake u čast začetnika radiologije nazivaju se rendgenskim zrakama (3).

CT pregled postaje moguć tek razvojem informatičke tehnologije 60-ih godina, a sami idejni početci na kojima se može temeljiti razvoj same kompjutorizirane tomografije možemo pratiti od 1917. godine kada austrijski matematičar Johann Radon dokazuje u svome istraživačkom radu mogućnost rekonstruiranja ljudskoga tijela iz velikog broja njegovih projekcija. Prve primjene ove teorije iskorištene su za radioastronomiju te nisu naišle na pozitivne odgovore u medicine (4).

Prvi princip za mogućnost rekonstrukcije slojeva na fantomu glave 1961. postavio je američki neurolog i izumitelj medicinskih uređaja na Medicinskom fakultetu Sveučilišta

Kalifornija u Los Angelesu i bolnici Brentwood Veterans Administration Dr. William Henry Oldendorf (5).

Ne znajući za rad Dr. Oldendorfa, američki fizičar rođen u Južnoj Africi, Allan MacLeod Cormack, nastavlja daljnja istraživanja u planiranju radioterapije i postavlja princip mogućnosti prikazivanja čak i najsitnije razlike u apsorpciji, tj. različite strukture mekog tkiva (4, 6).

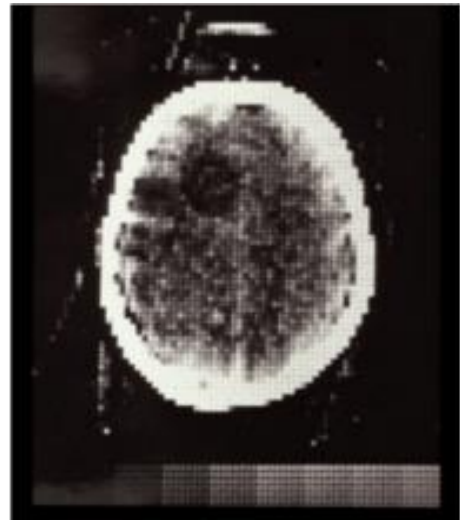
Prva uspješna primjena teorija o CT uređaju ostvarena je tek 1972. godine kada je engleski inženjer Sir Godfrey Newbold Hounsfield, izumitelj prvog klinički upotrebljivog CT uređaja, uspio iznenaditi cijeli medicinski svijet. Hounsfield također bez uvida u ranije napore svojih prethodnika dolazi do jednog od najznačajnijih otkrića u medicini. Uspio je uz pomoć modernijih kompjutera i boljih rendgenskih cijevi doći do zaključka kako nakon prolaska x-zraka kroz neki objekt pomoću nekoliko smjerova uz mjerenje same apsorpcije može doći do rekonstrukcije unutar snimanog objekta (7). Svojim postignućem, zajedno s Allan MacLeod Cormackom, nagrađen je Nobelovom nagradom za otkriće u medicini 1979. godine te su njemu u čast nazvane vrijednosti koje predstavljaju atenuacijske sposobnosti tkiva HU (*Hounsfield units*) (6, 8, 9).

Mogućnosti prvih CT uređaja bile su ograničene na preglede glave i mozga, ali već drugom generacijom uređaja od 1975. godine, mogli su se vršiti pregledi glave i tijela. Prva zabilježena klinička upotreba CT-a na pravom pacijentu, uređajem pod nazivom EMI-Mark I., obavljena je 1972. godine u bolnici Atkinson Morley, London, pod vodstvom neuroradiologa dr. Jamesa Abrahama Edwarda Ambrosa (slika 1.). Već nakon prvih pretraga zaključilo se o učinkovitosti i važnosti CT pregleda otkrivanjem cističnog tumora prednjeg frontalnog režnja. To je značajno odjeknulo u medicinskim krugovima i tako s pravom dobilo titulu najvećeg otkrića u dijagnostičkoj radiologiji od otkrića x-zraka 1895. godine (2, 3, 10, 11, 12, 13).

a)



b)



Slika 1. a) Prvi CT uređaj EMI Mark I. b) Slika skena prvog pacijenta na CT uređaju koja prikazuje cistični astrocitom

Izvor. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC8555965/>

4.1.2. Generacije i princip rada CT-a

Razvoj CT uređaja ubrzano se odvija. Napretkom informatičke industrije dolazi i do napretka medicinskih uređaja. Novije i brže komponente uređaja donose niz benefita kako u samoj brzini procesuiranja, spremanja i obradi tako i u kvaliteti snimanja te manjem ozračenju pacijenata i osoblja.

Raniji znanstveni, odnosno medicinski krugovi definirali su pet generacija CT uređaja, no ta podjela na generacije postaje napuštena metoda u praksi te koristimo naziv CT uređaji sa spiralnim snimanjem, odnosno načinom tijekom kojeg se obrtajem same cijevi i pripadajućeg detektora, rotira stol s pacijentom (2).

- Prva generacija

U prvoj generaciji koristila se kombinacija translacijsko-rotacijskog pomaka rendgenske cijevi oko samog subjekta snimanja. Samo je jedan uži pravokutni snop bio usmjeren prema detektoru i vršio mjerenje. U trenu nakon izvršenja jedne projekcije, detektor i rendgenska cijev kreću se oko subjekta snimanja za jedan stupanj do 180 stupnjeva. Nedostatak ovog načina snimanja je veliki broj rotacija, predugačka ekspozicija pojedinog

sloja koja je vremenski mogla trajati 3-5 minuta te ograničenost snimanja isključivo glave i vrata (2, 10).

- Druga generacija

Druga generacija također koristi kombinaciju translacijsko-rotacijskog pomaka rendgenske cijevi. Sami princip rada gotovo je identičan prvoj generaciji osim većeg broja detektora, skraćenom vremenu ekspozicije (10- 60 sekundi) i značajnom smanjenju zračenja pacijenta. Ovom generacijom dobivamo mogućnost snimanja i tijela pacijenta (14).

- Treća generacija

Nadalje, treća generacija stvara obrtaje detektorskog luka i rendgenske cijevi oko određenog dijela tijela snimljenog snopom zračenja široke lepeze. Karakteristika ove generacije je mehanički odnos detektora i rendgenske cijevi koji je fiksiran. Jedna ekspozicija sadrži 360 stupnjeva rotacije i sama dužina ekspozicije drastično se smanjuje na 1.4-14 sekundi. Povećanje broja detektora također je značajno (380-600) te je ovim uređajima omogućeno skeniranje svih organa koji imaju razne fiziološke pokrete poput pluća, jednjaka, crijeva i sl. (2, 10, 14).

- Četvrta generacija

U četvrtoj generaciji dolazi do značajnijeg napretka u kvaliteti slike zbog broja detektora (1200-2000 i više). Sam smještaj detektora je unutar kružnog prstena što omogućuje neprestanu rotaciju te tako kreira metodu poznatiju kao spiralno snimanje. Ovdje se vrijeme ekspozicije drastično smanjuje (1-3 sekunde). Također je poput treće generacije zbog velike brzine skeniranja pogodna metoda za snimanje svih organa s različitim fiziološkim funkcijama (2, 10).

- Peta generacija

Ova generacija za razliku od prethodnih generacija napušta kretanje rendgenske cijevi i detektora te umjesto toga koristi brze elektrone u širokom mlazu koji bombardiraju veći broj paralelnih anoda koje su masivne. Elektroni bivaju postavljeni u prstenastom obliku oko pacijenta te emitiraju rendgensko zračenje. Zbog vremena ekspozicije od samo 0.1 sekunde, ova generacija koristila se za kardiološke pretrage (10).

- Spiralni CT uređaji

Za razliku od prethodnih generacija, spiralni CT uređaj dozvoljava neprekidnu rotaciju detektora i rendgenske cijevi u određenom smjeru oko pacijenta, koji se sa stolom CT uređaja automatski pomiče kroz primarni snop samih rendgenskih zraka tijekom ekspozicije. Tako je i uređaj dobio naziv “*spiral*” jer rendgenska cijev u odnosu na pacijenta formira oblik spirale. Neke od prednosti ovog uređaja jesu mogućnost pregleda većeg anatomskog područja u vrlo kratkom razdoblju bez zaustavljanja između te je omogućeno snimanje organa u trodimenzionalnom prikazu s fiziološkim pokretima (angio CT, perfuzijski CT i sl.) (2, 15).

- SSCT (engl. *Single slice CT*)

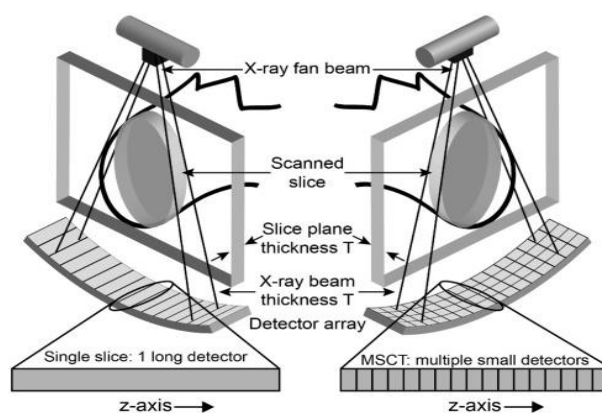
Uređaj koji se ne razlikuje značajno od MSCT-a. Glavna razlika je dizajn detektora u nizu koji tvore 1D niz (slika 2.), (16).

- MSCT (engl. *Multi Slice CT*)

Ovaj uređaj koristi više redova samih detektora (slika 2.) za generiranje većeg broja slojeva u jednostrukoj rotaciji. Prednosti su značajno smanjenje doze zračenja zbog mogućnosti pregleda većeg područja interesa u vrlo kratkom vremenu (2).

- DSCT (engl. *Dual source CT*)

Nadalje, DSCT koristi 2 rendgenske cijevi kao izvore samog zračenja koje zatim kruže pod kutem od 90 stupnjeva nasuprot detektora u dva niza. DSCT značajno poboljšava kvalitetu slike smanjivanjem artefakata pokreta i iznimno je korisna metoda pregleda kardioloških bolesnika (15, 17).



Slika 2. Razlika SSCT lijevo i MSCT desno na slici

Izvor. <https://www.sciencedirect.com/topics/neuroscience/single-slice-computed-tomography>

4.1.3. Dijelovi CT uređaja

Glavni dijelovi CT uređaja sastoje se od:

- Kućišta (engl. *gantry*)
- Visokofrekventni generator
- Stol za pacijenta
- Radna stanica
- Uređaji za pohranu slika

Unutar kućišta nalazimo najbitnije dijelove uređaja: rendgensku cijev, detektore te posebne sustave hlađenja koji su neophodni za dugovječni rad rendgenske cijevi (18). Nalazimo i transformatore električne energije koji dozvoljavaju rotiranje detektora i cijevi oko subjekta podvrgnutom snimanju. Sredina kućišta je otvor 50-70 centimetara u koji postavljamo pacijenta prije snimanja (2, 10).

4.1.4. Dozimetrijske metode CT uređaja

Mjerenje doza na CT uređaju za razliku od klasičnog rendgenskog uređaja donosi niz komplikacija zbog same rotacije cijevi oko pacijenta i stvaranja sitnih režnjeva pojedinog dijela tijela. Zbog posebne tehnike snimanja, CT uređaj donosi i specijalne dozimetrijske veličine.

- CTDI (CT dozni indeks)

Definiramo kao primarni pokazatelj doze zračenja na CT-u. Predstavlja prosječnu apsorbiranu dozu. Poznajemo tri varijacije CTDI-a - (CTDI₁₀₀, težinski CTDI (CTDI_w) i volumni CTDI (CTDI_{vol})) (19).

CTDI₁₀₀ mjerimo uvijek iz jednog aksijalnog presjeka jedne rotacije rendgenske cijevi. Metoda mjerenja omogućena je specijalnom ionizacijskom komorom oblika olovke veličine 100 milimetara koja se nalazi u samom centru rotacije cijevi u fantomu koji u standardnim veličinama iznosi 16 ili 32 centimetra (slika 3.), (19).

CTDI_w predstavlja prosječnu dozu duž cijelog polja snimanja u središnjoj ravnini snimanog volumena u aksijalnim presjecima. CTDI_w uzima u obzir centralna i periferna CTDI₁₀₀ mjerenja uzimajući u obzir težinske faktore. Koristi se kod uređaja sa statičnim stolom (19, 20).

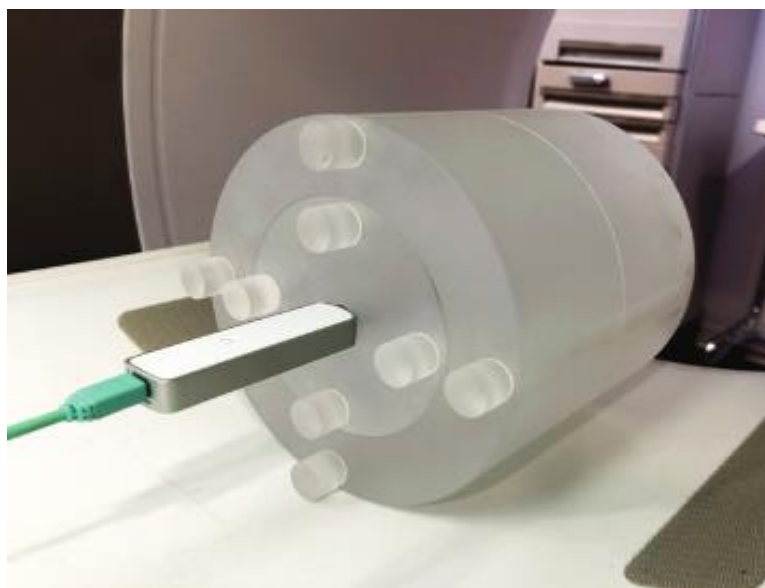
CTDI_{vol} nastaje razvojem spiralnih CT uređaja s više detektora te za razliku od CTDI_w predstavlja prosječnu dozu duž cijelog polja snimanja u središnjoj ravnini snimanog volumena u spiralnim presjecima. Nadograđuje CTDI_w uzimajući u obzir sva moguća preklapanja i razmake koji mogu nastati dok se stol spiralno pomiče. Važno je znati kako CTDI_{vol} ne predstavlja dozu koju pacijent primi već predstavlja apsorbiranu dozu fantoma. Korisna je metoda usporedbe doza raznih protokola te doza među raznim CT uređajima (20). Mjerna jedinica kojom izražavamo CTDI je *milligray* (mGy) (21).

- DLP (Produkt duljine doze)

Za razliku od CTDI koji ne pokazuje ukupnu energiju jer ne ovisi o dužini snimanja, produkt duljine doze (engl. *Dose Length Product*), definiramo kao svu apsorbiranu energiju tijekom cijelog snimanja na CT-u (21).

- SSDE (Procjena doze specifična za veličinu tijela)

Zbog poteškoća u pravilnom mjerenju doza zbog veličine i težine pacijenta kod CTDI_{vol}, Američko udruženje medicinskih fizičara (AAPM) donosi novu metodu mjerenja doze zračenja pod imenom SSDE (engl. *Size Specific Dose Estimate*) izvedenu iz CTDI_{vol}-a korekcijom vrijednosti težine odnosno veličine snimanog područja. Ovom metodom uzima se u obzir veličina pacijenta te se izračunava srednja apsorbirana doza. Individualnim pristupom pacijentu, ne samo standardnim parametrima, došlo se do točnijeg izračuna rizika od ionizirajućeg zračenja (21).



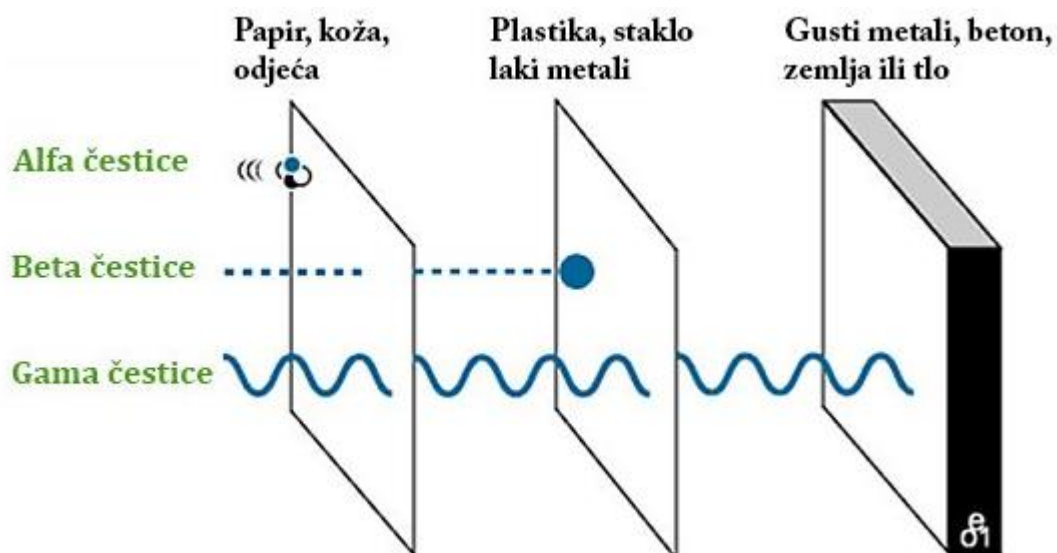
Slika 3. Prikaz akrilnog cilindričnog fantoma veličine 16 cm s ionizacijskom komorom oblika olovke u središnjem otvoru za mjerenje CTDI100.

Izvor. <https://pubs.rsna.org/doi/epdf/10.1148/rg.210107>

4.2. IONIZIRAJUĆE ZRAČENJE

Ionizirajuće zračenje u svome procesu stvara energiju koja je dovoljna kako bi izbijanjem elektrona iz atoma proizvela ione. Proces u kojem atomi iz neutralnog stanja postaju pozitivno nabijeni nazivamo ionizacija (22).

Ionizirajuće zračenje dijelimo ovisno o nositeljima zračenja na fotonsko (elektromagnetsko) i čestično (korpuskularno). Elektromagnetsko zračenje može biti (rendgensko valnih duljina raspona 10 nanometra do približno 0.1 pikometra) ili gama-zračenje (valnih duljina kraćih od 0.1 pikometra). Čestično zračenje dijelimo na alfa-zračenje (sastavljeno od brzih atomskih jezgri helija) te beta-zračenje (sastavljeno od brzih elektrona beta minus čestica) ili pozitrona (beta plus čestica) (slika 4.), (23).



Slika 4. Prodornost alfa, beta i gama čestice

Izvor. <https://www.fond-nek.hr/radioaktivnost/>

4.2.1. Djelovanje ionizirajućeg zračenja

Korištenje ionizirajućeg zračenja u modernoj radiološkoj dijagnostici i dalje je jedno od neizostavnih metoda unatoč stalnom napretku medicine i informatičke industrije. Uz neke od konvencionalnih radioloških metoda poput CT dijagnostike, ionizirajuće zračenje koristimo i u radioterapiji primjerice zračenjem malignih tumora onkoloških pacijenata.

Uz razne dijagnostičke i terapijske koristi, ionizirajuće zračenje donosi potencijalno rizične štetne posljedice na ljudsko tijelo. Imajući na umu štetne posljedice uz dobrobit koju dijagnostičkim metodama postizemo uvijek moramo postići višestruku korist napram rizika (24). Sami prolazak ionizirajućeg zračenja kroz neku materiju dovodi do procesa ionizacije. Ozračenjem dolazi do molekularnih promjena u tijelu, a promjene mogu biti biološke (oštećenje živih stanica neizravnim djelovanjem zračenja prilikom kontakta x-zraka s molekulama vode koji u djelovanju s DNA dovode do oštećenja dušičnih baza), rane fiziološke promjene (izravnim djelovanjem zračenja ioniziranjem DNA izravnim kontaktom zračenja s molekulom DNA) te mutacijske promjene (genetske ili somatske). Genetske mutacije djeluju na potomstvo dok somatske dovode do tjelesnih promjena poput karcinoma, leukemije, ubrzanog starenja i sl. (22).

Lin u svome članku 2010. godine objašnjava i uspoređuje rizike izlaganja zračenju. Većinu dokaza o štetnim učincima zračenja izvlači iz četiri skupine (1):

- Ljude koji su preživjeli atomske bombe u Japanu.
- Izložene ljude tijekom dijagnostičkih pretraga.
- Profesionalce koji su u svakodnevnom radu s izvorima zračenja.
- Ljude izložene svakodnevnom zračenjem iz prirodnih izvora.

Iz podataka tih istraživanja, Lin dolazi do zaključka kako potencijalno dolazi do rizika za izazivanje karcinoma za doze veće od 100 mSv (slika 5.), (1). UNSCEAR (engl. *United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation*) izvješće iz 2012. godine također vrijednost od 0.1 Gy = 100 mGy smatra gornjim granicama vrijednosti niskih doza zračenja (25).

Kod dijagnostičkih pretraga, isključivo kod CT-a uzevši u obzir kako je prosječna doza primjerice CT abdomena oko 10 mSv, nema znatne štete, ali ako u kraćem vremenu pacijent više puta pristupi ovom pregledu, šanse kako će nastati šteta su veće (1). Unatoč zabrinutosti i riziku za razvoj karcinoma kod izloženosti ionizirajućem zračenju u većini slučajeva indikacija

za dijagnostički pregled će nadmašiti relativno mali rizik od razvoja karcinoma. Vodeći se ovim smjernicama uvijek moramo imati na umu štetu koju zračenje za pacijenta može proizvesti, a pogotovo profesionalci koji svakodnevno rade u izvorima ionizirajućeg zračenja.

Examination	Radiation dose (mSv) ^b	Time to accumulate comparable natural background dose
Computed tomography		
Sinuses	0.6	2 mo
Head	2.0	8 mo
Chest	7.0	2 y
Chest (pulmonary embolism)	10.0	3 y
Abdomen and pelvis	10.0	3 y
Multiphase abdomen and pelvis	31.0	10 y
Radiography		
Extremity	0.001	<1 d
Chest	0.1	10 d
Lumbar spine	0.7	3 mo
Abdomen	1.2	5 mo
Other		
Mammography	0.7	3 mo
Bone densitometry (DEXA)	0.001	<1 d
Nuclear medicine		
Lung ventilation/perfusion	2.0	8 mo
Bone scan	4.2	1 y, 4 mo
Cardiac perfusion (sestamibi)	12.5	4 y
Fluoroscopy		
Barium swallow	1.5	6 mo
Coronary angiography	5-15	20 mo to 5 y

^a DEXA = dual-energy x-ray absorptiometry.
^b These doses are effective doses, which are theoretical quantities proposed by the International Commission on Radiation Protection to assess the health risks of low doses of ionizing radiation.³

Slika 5. Usporedba doza zračenja dijagnostičkih metoda i pozadinskih izvora zračenja

Izvor.

https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2996147/pdf/mayoclinproc_85_12_011.pdf

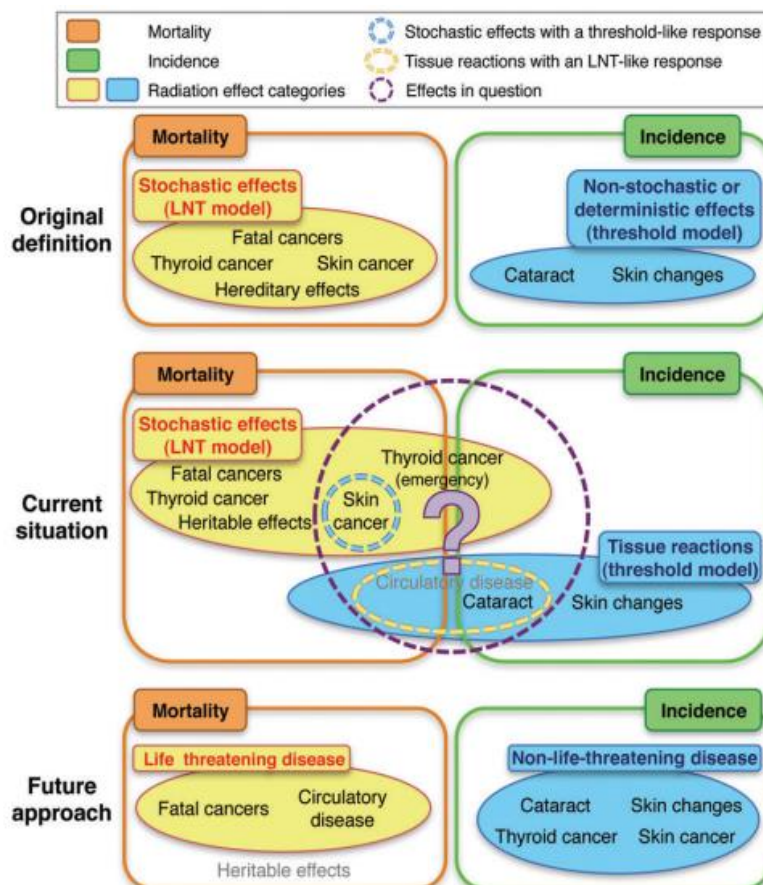
4.2.2. Učinci ionizirajućeg zračenja

Učinke ionizirajućeg zračenja dijelimo u dvije skupine:

- Determinističke (nestohastičke)
- Stohastičke

Deterministički učinci nastaju primjenom jako visokih doza zračenja te su odmah vidljivi neposredno nakon zračenja. Posljedica nastanka determinističkih učinaka je veliki gubitak broja stanica. Za ljudski organizam sami gubitak određenog broja stanica ne predstavlja značajan problem s obzirom na svakodnevna odumiranja na milijune stanica, ali odumiranjem vrlo visokog postotka stanica u nekom organu dovodi do oslabljene funkcije samoga organa što u konačnici može dovesti do smrti organizma. Neki od determinističkih učinaka su ozljede kože ili eritemi, fibroze, oštećenja očne leće, akutni radijacijski sindrom i sl. (slika 6.), (26).

Stohastičke učinke za razliku od determinističkih, uočavamo tek nakon određenog vremena latencije (vremena potrebnog za pojavu prvih simptoma). U njih ubrajamo mutacije, razne nasljedne promjene te tumore. Stohastičke učinke nemoguće je predvidjeti, što znači da ne postoji limit koji određuje dozu potrebnu za izazivanje učinka zračenja, jer stohastičke učinke može izazvati čak i minimalna doza zračenja. Kako su stohastički učinci vezani uz nasljedne promjene nastajanjem u spolnim stanicama, dovode i do mutacija somatskih stanica te ozbiljnih promjena prenošenjem na potomstvo raznim malformacijama ploda, leukemijama, karcinomima ili u konačnici i smrti ploda (slika 6.), (26).



Slika 6. Shematski prikaz učinaka ionizirajućeg zračenja. Njihovo djelovanje, odnos i pristup.

Izvor. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4100010/pdf/rru019.pdf>

4.2.3. Doze ionizirajućeg zračenja

Kako bismo mogli izračunati dozu izlaganja u radu s ionizirajućim zračenjem bitno je definirati tri osnovne veličine.

- Apsorbirana doza

Apsorbirana doza (D) definira se kao fizikalna veličina kojom mjerimo srednju vrijednost apsorbirane (primljene) energije zračenja određene mase tkiva. Mjerna jedinica kojom izražavamo apsorbiranu dozu nazivamo *gray* (Gy) (27).

- Ekvivalentna doza

Ekvivalentna doza (H) je veličina koja se odnosi na ozračenje pojedinog tkiva ili organa različitih vrsta zračenja. Koristimo je za procjenu determinističkih učinaka. Sivert (Sv) je mjerna jedinica koja prikazuje ekvivalentnu dozu. Za razliku od apsorbirane doze, ekvivalentna doza uključuje dozimetrijsku vrijednost CT uređaja (težinski faktor W_t), kojim određujemo srednje vrijednosti osjetljivosti pojedinog tkiva ili organa na ionizirajuće zračenje većeg broja ljudi kod oba spola (slika 7.), (27).

- Efektivna doza

Efektivnu dozu (E) možemo definirati kao veličinu kojom dobivamo vrijednosti izlaganja nekoliko osoba u istim uvjetima ozračenja. Njome određujemo ukupni štetni utjecaj ionizirajućeg zračenja na ljudsko tijelo. Koristimo je za procjenu stohastičkih učinaka. Mjerna jedinica kojom izražavamo efektivnu dozu ista je kao za ekvivalentnu dozu (Sv). Kako pojedino tkivo nije jednako osjetljivo na ionizirajuće zračenje efektivna doza kao ekvivalentna uključuje težinski faktor W_t (slika 7.), (27, 28).

zaštitna veličina	izloženi radnici (stariji od 18 godina)	osobe na obuci i studenti (dob 16-18 godina)	javnost
efektivna doza	100 mSv tijekom uzastopnih 5 godina, ali maksimalno 50 mSv tijekom jedne godine	6 mSv godišnje	1 mSv godišnje u posebnim slučajevima može se dozvoliti i viša doza unutar 1 godine pri čemu prosjek 5 uzastopnih godina ne smije prijeći 1mSv/godinu
ekvivalentna doza za očnu leću	150 mSv	50 mSv	15 mSv
ekvivalentna doza za kožu, šake, podlaktice, stopala, gležnjeve	500 mSv	150 mSv	50 Sv

Slika 7. Preporuka graničnih doza prema BSS-u [Council of the European Union 1996]

Izvor. <https://hrcak.srce.hr/148773>

4.2.4. Zaštita od ionizirajućeg zračenja

Jedan od primarnih i osnovnih ciljeva same zaštite od zračenja jesu sprječavanje pojave determinističkih i ograničenje pojave stohastičkih učinaka koliko je moguće (18). Načela kojima možemo omogućiti kvalitetno i stručno vođenje u cilju prevencije nastanka učinaka ionizirajućeg zračenja definirana su sljedećim preporukama međunarodne komisije za zaštitu od zračenja (29):

- **Opravdanost**

Moramo biti potpuno sigurni kako ćemo postići znatno veću korist od potencijalne štete koju možemo prouzročiti korištenjem ionizirajućeg zračenja u dijagnostici pojedinca ili društva (slika 8.), (29).

- Optimalizacija

Držeći se međunarodno priznatog načela ALARA (engl. *As Low As Reasonably Achievable*) povjerenstva za radiološku zaštitu, poznatijeg kao IRCP (engl. *International Commission of Radiological Protection*), svaka doza bilo kojeg izvora ionizirajućeg zračenja kojom se pojedinac izlaže, mora biti najmanja moguća, odnosno, onoliko mala doza koliko je to razumno moguće ostvariti. Pritom uvažavajući sve ekonomske, društvene i socijalne čimbenike (29).

- Ograničenje doze

Koristeći načelo optimalizacije, zračenje kojim izlažemo pojedinca mora biti niže od zakonsko propisanih normi (29).

Zaštitu profesionalno izloženih radnika i ostalih osoba vežemo uz sva tri načela zaštite od ionizirajućeg zračenja.

CT pregledi	Srednja efektivna doza (mSv)	Broj snimanja prsnog koša klasičnom radiografijom koji bi rezultirao istom dozom
Glava	2	100
Vrat	3	150
Pulmonarna angiografija	5.2	260
Kralježnica	6	300
Prsni koš	8	400
Koronarna angiografija	8.7	435
Abdomen	10	500
Zdjelica	10	500
Prsni koš (plućna embolija)	15	750

Slika 8. Popis doza koje pacijent primi tijekom CT pregleda. Usporedba s brojem ekspozicija klasičnim rendgenom koje bi rezultirale istom dozom.

Izvor. https://www.kbd.hr/wp-content/uploads/2022/11/EU-IPA_Inf-za-pacijente_Brosura.pdf

4.3. LOW DOSE CT (*niskodozni CT*)

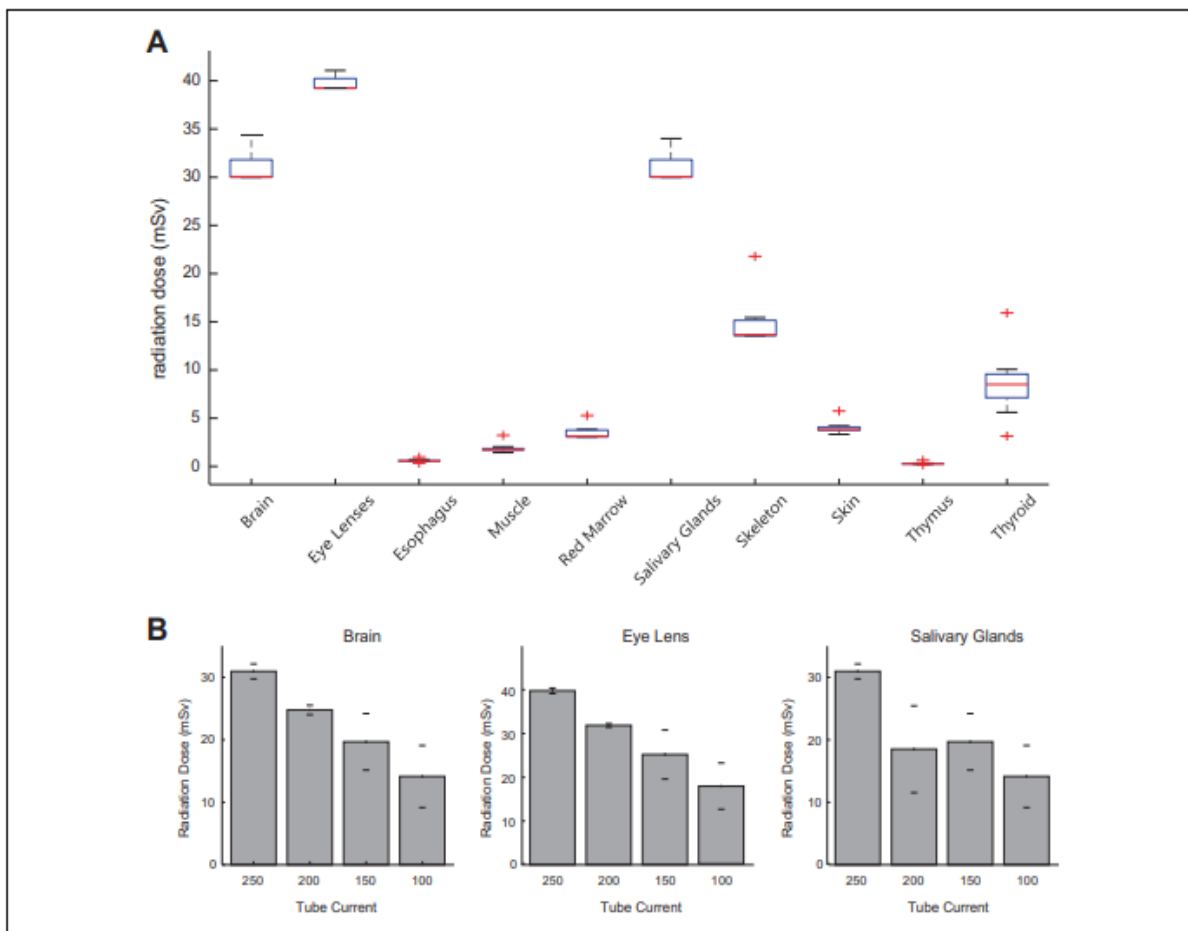
Niskodozni CT možemo definirati kao prilagođene protokole smanjenja doze zračenja regulacijom struje cijevi, rekonstruktivnim metodama slike, individualnim pristupom pacijentima ovisno o konstituciji (veličini) pacijenta, pristup izvješćima o dozi prije i nakon pregleda uz pridržavanje svih načela zaštite od zračenja kako bi dobili dovoljno oštru i dijagnostički ispravnu snimku uz iznimno niske doze zračenja naspram standardnog CT pregleda.

Učestalo korištenje CT uređaja posljednjih nekoliko godina dovelo je do zabrinutosti i brojnih pitanja o njegovoj štetnosti unatoč brojnim prednostima. 2021. godine procijenjeno je kako se broj CT pregleda u svijetu godišnje povećava za 4% te iznosi oko 300 milijuna pregleda godišnje, a samim razvojem tehnologije očekuje se kako će se taj trend povećavati (30, 31). Upravo zbog takvih podataka vodeći se načelom ALARA dolazi do potrebe za niskodoznim CT protokolima.

4.3.1. Low dose CT u dijagnostici glave i vrata

CT kao metoda izbora dijagnostike glave postala je neizbježna metoda, pogotovo u dijagnostici trauma glave. Svojom pouzdanosti i visoko kvalitetnim snimkama omogućila je radiolozima kvalitetno postavljanje dijagnoze uz minimalne pogreške. Zbog područja iznimne osjetljivosti na ionizirajuće zračenje i samim rizicima, LDCT protokoli idealni su kako bi dozu zračenja smanjili najmanje moguće uz dostatnu kvalitetu i točnost.

Zbog navedenih razloga Wu i suradnici od siječnja 2017. do prosinca 2017. godine u istraživanju provedenom na 72 pacijenata koji su imali potvrđenu dijagnozu intracerebralnog krvarenja ICH (engl. *Intracerebral Hemorrhage*) potvrdili su kako korištenje niskodoznog protokola dovodi do smanjenja doze od 45% naspram standardnog CT protokola uz dovoljno kvalitetne i pouzdane snimke. Pacijenti su bili podijeljeni u 4 grupe te su bili snimani različitim protokolima u rasponu od (250, 200, 150 i 100 mAs). Došlo se do zaključka kako smanjenjem vremena ekspozicije s 250 na 100 mAs možemo znatno smanjiti dozu na najosjetljivije organe koji su upili najvišu dozu zračenja (očna leća, mozak i žlijezde slinovnice) te time smanjiti mogućnost razvoja karcinoma (slika 9.), (32).



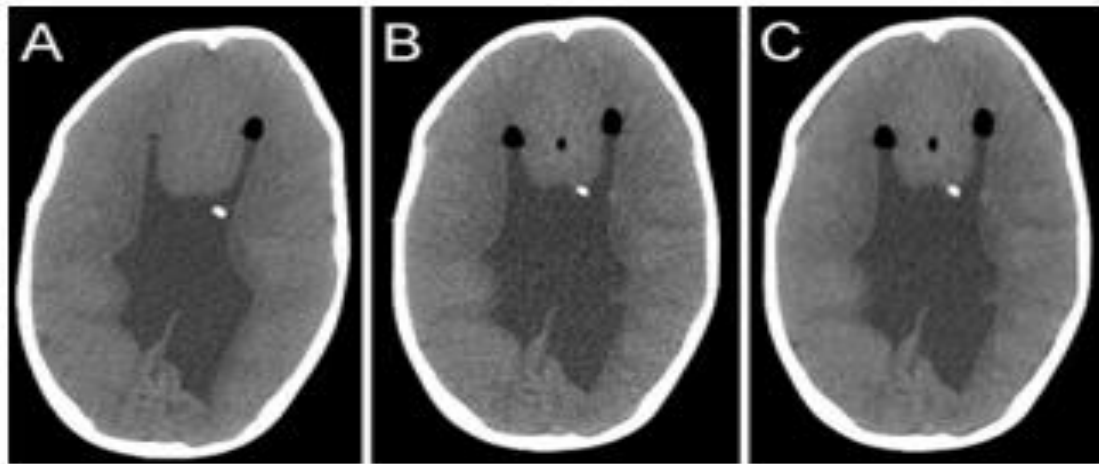
Slika 9. A- prikaz efektivne doze zračenja za različita tkiva tokom snimanja glave. B - diferencija tri najosjetljivija tkiva različitom strujom cijevi.

Izvor: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32214915/>

Uz osjetljivo područje izloženosti glave i vrata korištenjem ionizirajućeg zračenja kao potencijalne štete, na odjelu pedijatrije izlažemo jednu od najosjetljivijih populacija (djecu i novorođenčad).

Stoga P. Morton i suradnici u svojoj studiji odjela za neurokirurgiju dječje bolnice u Seattleu, Washington, uspoređuju LDCT sa standardnim CT protokolom i utvrđuju značajno smanjenje doze kod djece s patologijama glave. 624 pretrage obavljene su na CT-u niskom dozom dok je standardnom dozom obavljeno 2150 pretraga u razmaku od 12 mjeseci. Polovica i jedna trećina doze standardnog CT-a korištene su u ovoj studiji. Iako su indikacije za CT pregled u ovoj studiji varirale, najviše pacijenata podvrgnuto je pregledu zbog postavljanja katetera kod bolesti hidrocefalusa (70%) te postoperativnih kraniosinostoza (12%). Kvaliteta

snimaka niskom dozom bila je zadovoljavajuća i potvrđena od svih uključenih liječnika koji su sudjelovali u ovoj studiji te nije bilo potrebe za ponovnim snimanjima standardnim CT-om (slika 10), (33).



Slika 10. Usporedba kvalitete aksijalne snimke glave trogodišnjeg djeteta. A-standardni CT, B-niskodozni CT, C-niskodozni CT s filterom

Izvor. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/23971634/>

Chi i suradnici također utvrđuju značajno smanjenje doze zračenja kod djece s patologijama paranazalnih sinusa u prospektivnoj studiji provedenoj od 1. svibnja do 31 rujna 2017. godine gdje su uspoređeni LDCT protokol korištenjem ultra niske voltaže cijevi od 70 kV u kombinaciji s flash tehnikom (koja skraćivanjem vremena ekspozicije smanjuje i količinu zračenja) i standardni CT protokol korištenjem 80 kV u standardnoj tehnici vremena ekspozicije. U studiji je sudjelovalo 80 djece podijeljene u dvije grupe (29, 34, 35).

- Grupa A: standardni protokol 80 kV u razdoblju od 1. svibnja do 31. prosinca 2017. godine, 40 djece, 19 muških i 21 ženskih prosjeka godina 8,3.
- Grupa B: ultra LDCT protokol 70 kV u razdoblju od 1. siječnja do 31 srpnja 2018. godine, 40 djece, 23 muških i 17 ženskih prosjeka godina 9,2 (slika 11.), (29, 34, 35).

Parameter	Group A (n=40)	Group B (n=40)	p-Value
CT dose index (mGy)	1.57±0.009	0.39±0.004	<0.001
Dose-length product (mGy·cm)	19.88±2.01	6.31±0.52	<0.001
Effective dose (mSv)	0.079±0.016	0.024±0.005	<0.001

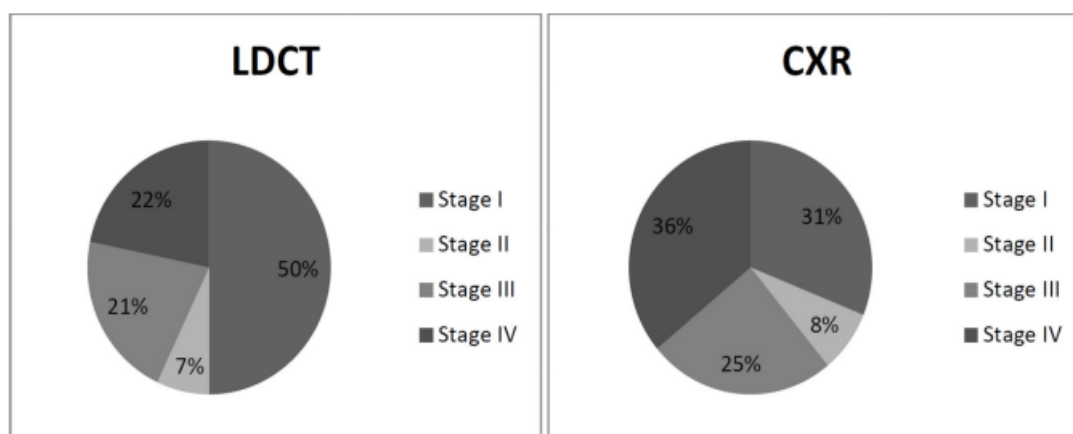
Slika 11. Doze standardnog i ultra LDCT protokola studije Chi I suradnika.

Izvor. [https://www.clinicalradiologyonline.net/article/S0009-9260\(20\)30376-7/fulltext](https://www.clinicalradiologyonline.net/article/S0009-9260(20)30376-7/fulltext)

4.3.2. Low dose CT u dijagnostici prsnog koša

Znajući kako CT pregled može pružiti razne benefite u dijagnostici plućnog parenhima, zbog svoje niže doze upotreba LDCT protokola postaje standard u borbi protiv vodećeg uzroka smrti svih karcinoma u svijetu, karcinoma pluća (36).

2013. godine NLST (engl. *National Lung Screening Trial*) u svome izvješću velikog ispitivanja provedenog u razmaku od 2002. do 2004. godine, u 33 centra diljem SAD-a na 53.454 pacijenta, uspoređuje klasični rendgen pluća s LDCT protokolom te dolazi do rezultata kako korištenjem LDCT-a kao metode izbora u preventivnoj dijagnostici karcinoma pluća dolazi do smanjenja smrtnosti od karcinoma pluća za 20% u visoko rizičnoj skupini pacijenata (pušači i bivši pušači) uz izuzetno nisku efektivnu dozu od 1.5 mSv (slika 12.), (37).



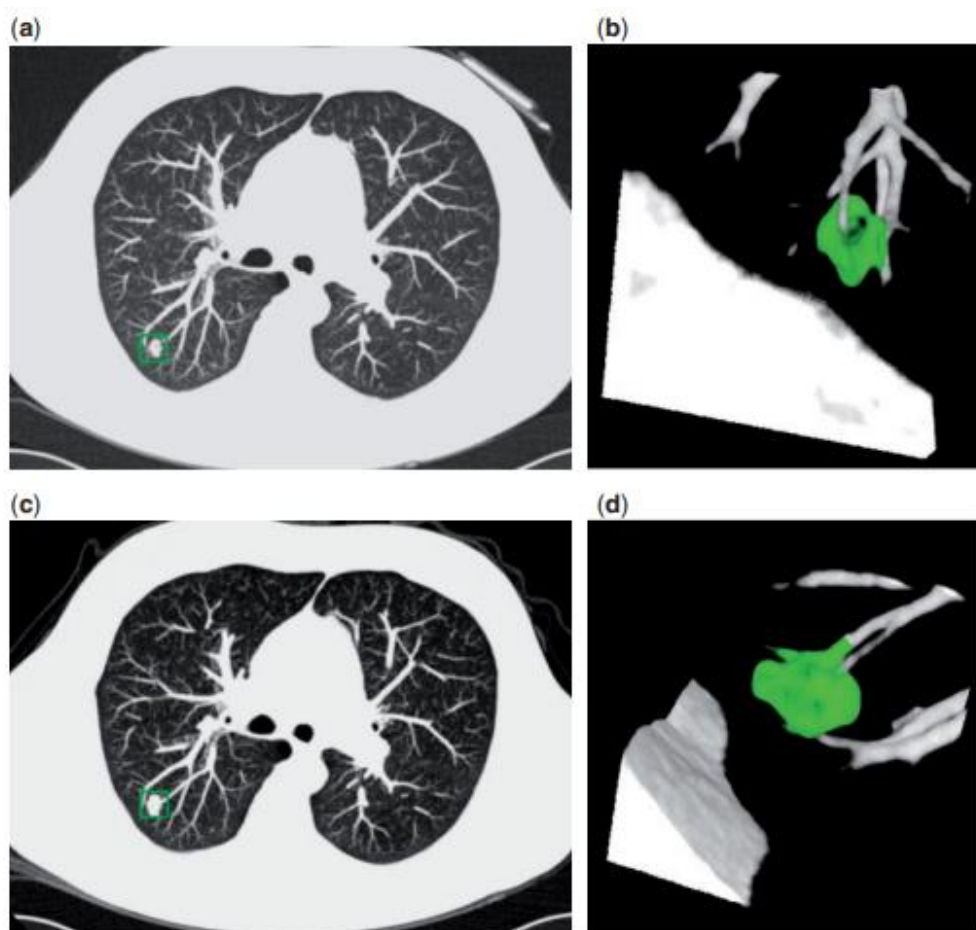
Slika 12. Postotak pozitivnih dijagnoza karcinoma pluća po stadijima bolesti NLTS izvješće.

Usporedba LDCT i standardne snimke srca i pluća.

Izvor. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4817217/pdf/nihms769581.pdf>

Nadalje, istraživanje provedeno u gradu Hitachi od 1998. do 2006. godine daje još bolje rezultate te na 210 pacijenata kojima se otkrio karcinom pluća u ranijem stadiju LDCT protokolom, 5-godišnje preživljenje iznosi 90% (38).

U rujnu 2003. godine pokrenuta je najveća europska studija NELSON (nizozemski akronim) provedena na području Nizozemske i Belgije, na oko 16.000 sudionika pokazala je također znatno smanjenje smrtnosti pacijenata visokog rizika korištenjem LDCT protokola. Muškarcima nakon 10 godina praćenja smanjen je rizik za smrtnost 26 %, dok je ženama procijenjena bolja prognoza od 39 % tijekom 10 godina praćenja (slika 13.), (39).



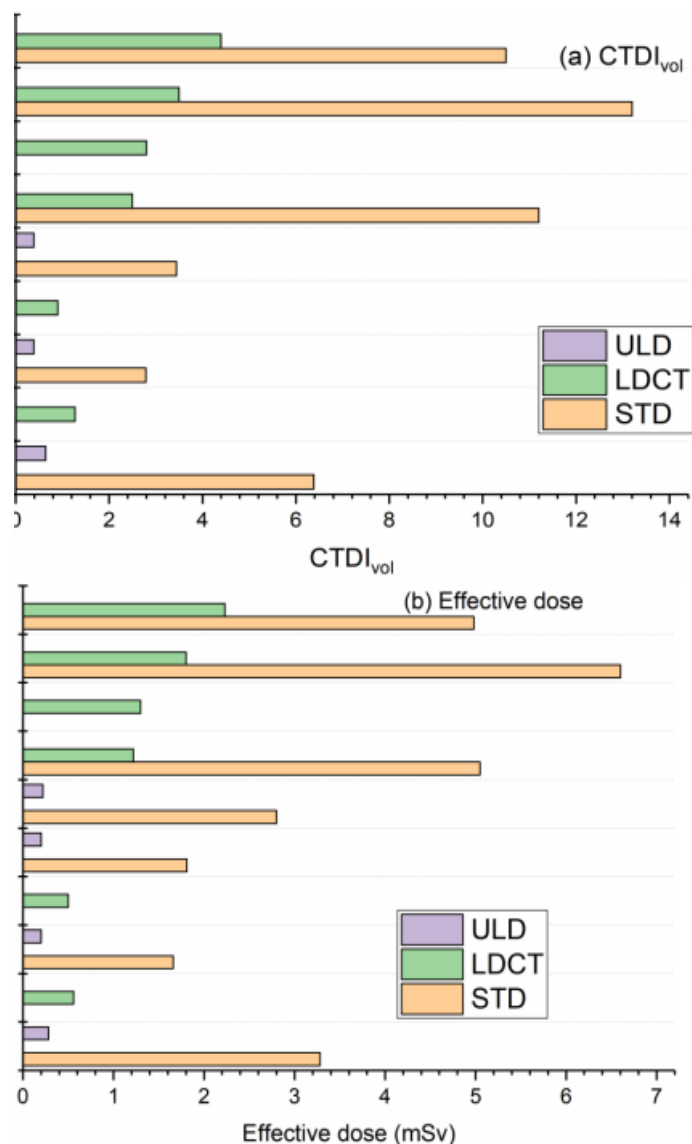
Slika 13. NELSON studija LDCT toraksa 68 godišnjeg pacijenta u razmaku od 3 mjeseca. a), b) nodus volumena 303 mm³ tijekom prvog pregleda, c) d)- nodus volumena 576 mm³.

Kontrola nakon 3 mjeseca ukazuje na povećanje postotka rasta volumena od 90%.

Histopatologija reseciranog nodusa ukazuje na planocelularni karcinom.

Izvor. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3266562/>

Potaknuti nedavnom globalnom pandemijom COVID 19, Suliman i suradnici 2023. godine. u članku sustavnim pregledom literature od 2019. pa nadalje, uspoređuju različite metode dijagnostike COVID 19 zaraženih pacijenata različitim CT protokolima. Primarno uspoređuju smanjenje doze korištenjem LDCT protokola naspram standardnog CT-a. Dolaze do zaključka o značajnom smanjenju doze zračenja i opravdanoj mogućnosti zamjene standardnog CT protokola s LDCT I ULDCT protokolom kao metodom izbora uz dovoljnu dijagnostičku točnost i korist po pacijenta značajnim smanjenjem doze (slika 14.), (40).



Slika 14. Usporedba doznih parametara standardnog CT protokola s LDCT I ULD protokola.

Sustavni pregled literature raznih autora.

Izvor. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC10146316/pdf/life-13-00992.pdf>

4.3.3. Low dose CT u dijagnostici abdomena i zdjelice

Spomenuti konstantan rast upotrebe CT-a kao metode izbora nalazi svoje mjesto i u dijagnostici abdomena i zdjelice. Značajni porast upotrebe CT-a pokazuje se upravo u dijagnostici jednog od najčešćih hitnih kliničkih stanja, akutnog abdomena (više simptoma ili znakova oštre i izražene boli u trbušnoj šupljini koji potencijalno može zahtijevati hitnu kiruršku obradu) (41). Upravo zbog ovakvih simptoma nedefinirane lokacije te široke projekcije boli, CT kao dijagnostičko sredstvo od iznimne je važnosti.

Stoga Moloney i suradnici u prospektivnoj studiji provedenoj između studenog 2015. i ožujka 2016. godine uspoređuju LDCT i standardni CT protokol u dijagnostici akutnog abdomena metodama rekonstrukcije snimaka. U ovoj studiji sudjelovala su 57 pacijenta, od toga 17 muškaraca i 40 žena prosjeka 56,5 godina. Došlo se do zaključka kako je korištenje LDCT protokola dovelo do smanjenja doze od 87% bez značajnog odstupanja u kvaliteti snimaka (slika 15.), (41).

	LD-MBIR			CD-ASIR		
	All	BMI < 25 kg/m ²	BMI ≥ 25 kg/m ²	All	BMI < 25 kg/m ²	BMI ≥ 25 kg/m ²
DLP (mGy.cm)	158.5 (118.6)	77.82 (50.78)	221.6 (118.5)	469.1 (325.8)	230.6 (142.9)	655.4 (307)
ED (mSv)	2.38 (1.78)	1.16 (0.76)	3.32 (1.78)	7.04 (4.89)	3.46 (2.14)	9.83 (4.61)
CTDIvol (mGy)	3.4 (2.74)	1.66 (1.08)	4.76 (2.87)	9.57 (6.26)	4.92 (3.0)	13.2 (5.71)
SSDE (mGy)	3.77 (1.97)	2.4 (1.16)	4.83 (1.81)	10.74 (5.5)	6.32 (2.28)	14.2 (4.85)

Slika 15. Sumirani prikaz specijalnih dozimetrijskih veličina CT uređaja studije Moloney I suradnici. Usporedba rekonstruktivnog protokola standardnog i LDCT-a.

Izvor: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30448900/>

Najčešći uzrok akutne boli abdomena među populacijom svakako je akutna upala crvuljka (engl. *Acute Appendicitis*). Akutni apendicitis ili akutna upala crvuljka jedna je od patologija kod koje CT ima svoju veliku primjenu. Unatoč UZV-a (engl. *Ultrasound*) kao jedne od glavnih metoda izbora dijagnostike akutnog apendicitisa pogotovo kod djece zbog što manjeg izlaganja ionizirajućem zračenju, kod odraslih CT je standardna metoda izbora. LDCT se u ovoj situaciji čini kao idealna metoda dijagnostike iako treba uračunati potencijale

negativne strane poput visokog šuma slike zbog velike tjelesne mase pacijenta, crijevnog sadržaja i sl. (42).

Zbog tih razloga Haijanen i suradnici između travnja 2017. i studenog 2018. godine u Sveučilišnoj bolnici Turku u Finskoj, provode prospektivno kohortno istraživanje gdje uspoređuju dijagnostičku točnost LDCT-a i standardnog CT-a u dijagnostici akutnog apendicitisa. Ukupno 856 pacijenata uključeno je u ovo istraživanje. 454 bila su podvrgnuta LDCT protokolu, dok su 402 pacijenta bila podvrgnuta standardnom CT protokolu. Zaključno se došlo do sličnih rezultata u točnosti postavljanja dijagnoze između dva protokola, ali je LDCT imao značajno smanjenje doze. Istraživanje je rađeno za tjelesni indeks mase manji od 30 kilograma po metru kvadratnom stoga je LDCT preporučen kao metoda izbora za navedenu tjelesnu masu (42).

Još jedna od dijagnoza s kojom se svakodnevno susrećemo u praksi je napadaj bubrežnih kamenaca. Samo u SAD-u 8,8% populacije zahvaćeno je ovom neugodnom bolešću (44). Pretpostavka je da se barem 1,5 milijuna posjeta hitnoj službi godišnje događa zbog napadaja bubrežnih kamenaca (43).

CT se ističe kao savršeno sredstvo u detekciji kamenaca zbog njihovog sastava te pokazuje savršeno pozicioniranje i mjesto nastanka bubrežnih kamenaca (44). Iako CT ima prednost u detekciji kamenaca naspram UZV-a i klasičnog rendgena, zbog svoje visoke doze dovodi u pitanje opravdanost kao metode prvog izbora u dijagnostici kamenaca. Dodatan problem nam predstavlja samo područje osjetljivosti na ionizirajuće zračenje (reproduktivni organi) koje zbog određene veće konstitucije pacijenta dovodi do znatno veće efektivne doze. Tu svoje mjesto svakako pronalazi LDCT protokol pa Cheng i suradnici traže modalitete u smanjenju doze uz dostatnu dijagnostičku točnost (43).

U retrospektivnoj studiji od kolovoza 2016. do veljače 2019. godine, evaluirani su podaci svih pacijenata koji su u tom periodu podvrgnuti ultra LDCT protokolu s kamencima urinarnog trakta, njih 118. Zaključilo se da ULDCCT protokol ima značajnu ulogu u detekciji malih i udaljenih kamenaca bez značajnog gubitka kvalitete snimaka, dok bi vrlo vjerojatno isti bili nezamijećeni na UZV pregledu. Također, ULDCCT daje znatno nižu dozu što ga čini sredstvom preporuke u detekciji kamenaca urinarnog trakta (slika 16.), (43).

Number of ULD CT scans	118
Number of ULD CT scans with ureteral stones	50
Stone size, mm	6.0 – 2.9
Male	98.0%
Age	67.1
BMI, kg/m ²	30.1 – 9.6
Effective dose, mSv	1.04 – 0.41
ULD CT scans in patients with previous history of stones	30
ULD CT scans in patients with prior ureteroscopic procedures	21
Laboratories Creatinine, mg/dL	1.3 – 0.4
eGFR, mL/min/1.73 m ²	62.8 – 18.2
Number of scans in patients with positive WBCs (>25 WBCs) on urinalysis	6
Number of scans in patients with positive leukocyte esterase on urinalysis	8
Number of scans in patients with positive nitrites on urinalysis	2

Slika 16. Osnovne karakteristike evaluiranih pacijenata u dijagnostici patologije bubrežnih kamenaca.

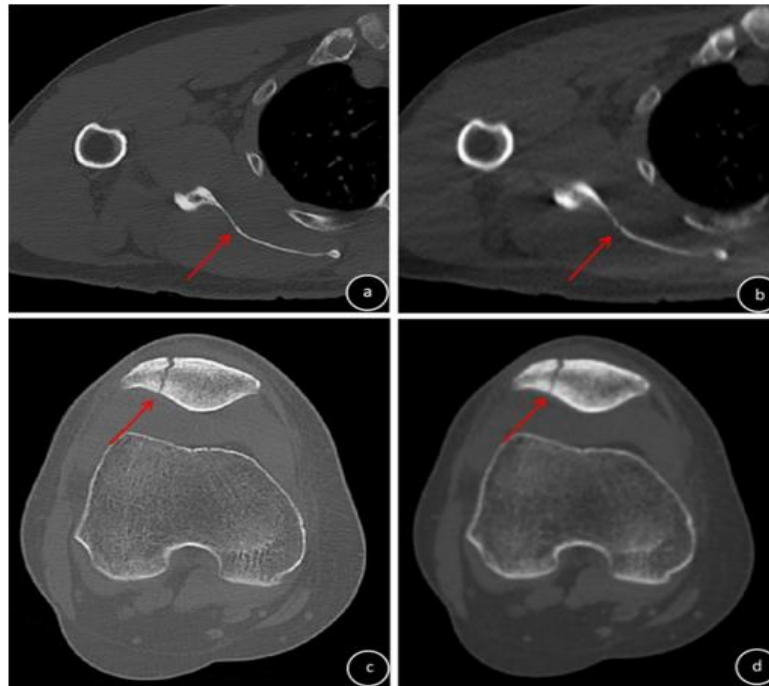
Izvor: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31663371/>

4.3.4. Low dose CT u dijagnostici lokomotornog sustava

Lokomotorni sustav ili sustav za kretanje čine kosti mišići i ligamenti. U dijagnostici patologije kostiju CT se nameće kao zlatna metoda dijagnostike. Znajući kako CT poistovjećujemo sa znatno višom dozom od standardnih uređaja koji koriste ionizirajuće zračenje, većina CT uređaja već ima prilagođene standardne CT protokole za smanjenje zračenja kod dijagnostike fraktura kostiju. Upotrebom LDCT i ULDCCT protokola sama doza uz dijagnostičku točnost mogla bi biti znatno niža, a samim time eliminirali bi potencijalnu štetu vezanu uz izloženosti ionizirajućem zračenju.

Xiao i suradnici rade upravo takvu prospektivnu studiju između 30. studenog 2019. i 25. travnja 2021. godine gdje obuhvaćaju frakture bez pomaka zglobnih sustava ramena, koljena, ručnih zglobova i gležnjeva te uspoređuju dijagnostičku točnost standardnog CT-a i ULDCCT-a u evaluaciji fraktura. Studija je uključivala 92 pacijenta koji su bili podvrgnuti standardnom CT protokolu te kontrolnom ULDCCT protokolu u razmaku od 1-2 tjedna. Standardni CT protokol koristio je voltažu cijevi od 120 kV te struju cijevi od 150, 120, 120 i 50 mAs ovisno o snimanom području. ULDCCT parametri iznosili su znatno nižu voltažu cijevi

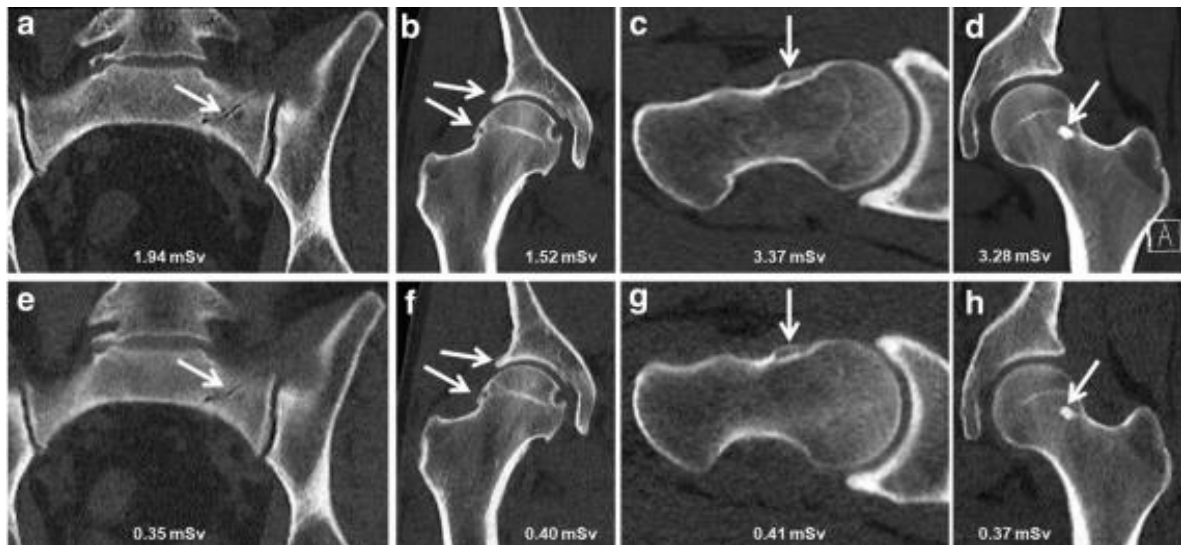
od 80 kV i 52, 11, 11, 4 mAs struje cijevi (41). U dijagnostici su sudjelovala dva iskusna radiologa s dugogodišnjim iskustvom u dijagnostici lokomotornog sustava te se evaluacijom rezultata došlo do sličnih rezultata u kvaliteti snimaka između dva protokola, dok je kod ULDCCT-a zabilježena znatno niža efektivna doza (slika 17.), (44).



Slika 17. Usporedba kvalitete (a, c) standardnog CT i ULDCCT (b, d) protokola u dijagnostici fracture bez pomaka (a, b) ramena, (c, d) koljena.

Izvor. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/36882617/>

Usporedbu ULDCCT-a i standardnog CT-a kostiju možemo vidjeti i u studiji Stern i suradnika provedenoj između travnja 2019. i siječnja 2020. godine u švicarskoj Sveučilišnoj bolnici Balgrist. 30 pacijenata bilo je podvrgnuto standardnom CT i ULDCCT protokolu koji je koristio filter kositra. Taj filter služi kako bi eliminirao nepotrebne fotone niske energije i time smanjio dozu te drastično popravio kvalitetu slike kod protokola niskih doza (45). Evaluirala se dijagnostika kostiju zdjelice. Smanjenje doze korištenjem ULDCCT protokola s filtrom kositra bilo je ogromnih 84% naspram standardnog CT protokola sa srednjom efektivnom dozom od 0,37 mSv, što se gotovo izjednačilo s dozama klasičnog snimanja zdjelice rendgenskim uređajem. Obje metode donijele su dobru dijagnostičku kvalitetu snimaka dok se ULDCCT izdvojio svojim drastičnim smanjenjem doze koristeći filter kositra (slika 18.), (46).



Slika 18. Usporedba doza i kvalitete snimke u dijagnostici kostiju zdjelice 4 različita pacijenta. (a-d) standardni CT, (e-h) ULDCT s filtrom kositra.

(a,e) 55 godišnji pacijent s frakturom sakruma bez pomaka, (b,f) 38 godišnji pacijent s osteoartritisom, (c,g) 25 godišnja pacijentica s impigmentom kuka, (d,h) 30 godišnja pacijentica s osteomom

Izvor. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC8379132/>

4.3.5. Low dose CT u dijagnostici trudnica i djece

Prema Kutanzi i suradnicima, djeca su više izložena riziku od ionizirajućeg zračenja od odraslih (47). Razlog je njihov razvoj tijela i očekivani dugi životni vijek nakon izlaganja izvorima ionizirajućeg zračenja (47). Vidjevši iz prethodnih studija (33, 34) upotreba LDCT-a u dijagnostici glave kod djece drastično smanjuje dozu što u dužem razdoblju smanjuje rizike i ukupnu dozu koja će djeca tijekom životnog vijeka skupiti od raznih izvora zračenja.

Zbog zaštite djece od izlaganja ionizirajućem zračenju 2006. godine pokrenuta je kampanja od strane pedijatrijskih radiologa nazvana (engl. *Image Gently*) koja je za zadaću imala podizanje svijesti o štetnostima koje ionizirajuće zračenje može prouzročiti kod djece. CT kao metoda izbora gotovo se istisnula kao izbor u dijagnostici djece i smatralo se kako UZV i MR (engl. *Magnetic Resonance*) moraju biti gotovo jedine metode izbora. Naglim razvojem tehnologije i pojavom Flash tehnologije te upotrebom LDCT protokola smanjilo se

vrijeme ekspozicije i količine doze te je došlo do promjene mišljenja oko upotrebe CT-a kao metode izbora kod djece (48, 49).

Primarni zabrinjavajući faktor kod upotrebe CT-a u dijagnostici trudnica i djece izlaganje je ploda ionizirajućem zračenju (50). 2008. godine ACR (*American College of Radiology*) izdaje smjernice za postupanje s dijagnostičkim izvorima ionizirajućeg zračenja u trudnoći te prikazuje predviđeni rizik za plod po različitoj gestacijskoj dobi (slika 19.). ACR govori kako nema značajnog rizika za plod za doze ispod 100 mGy te kao najbitniju stavku napominje obavezno uzimanje u obzir međunarodno priznato načela u zaštiti od ionizirajućeg zračenja ALARA bez da se ugrozi dijagnostička vrijednost. Stoga su LDCT protokoli gotovo idealni kada ostaju jedina metoda dijagnostike trudnica nakon UZV-a i MR-a koje ne koriste ionizirajuće zračenje (50).

Menstrual or Gestational age	Conception age	<50 mGy (<5 rad)	50–100 mGy (5–10 rad)	>100 mGy (>10 rad)
0–2 weeks (0–14 days)	Prior to conception	None	None	None
3rd and 4th weeks (15–28 days)	1st–2nd weeks (1–14 days)	None	Probably none	Possible spontaneous abortion.
5th–10th weeks (29–70 days)	3rd–8th weeks (15–56 days)	None	Potential effects are scientifically uncertain and probably too subtle to be clinically detectable.	Possible malformations increasing in likelihood as dose increases
11th–17th weeks (71–119 days)	9th–15th weeks (57–105 days)	None	Potential effects are scientifically uncertain and probably too subtle to be clinically detectable.	Risk of diminished IQ or of mental retardation, increasing in frequency and severity with increasing dose
18th–27th weeks (120–189 days)	16th–25th weeks (106–175 days)	None	None	IQ deficits not detectable at diagnostic doses
>27 weeks (>189 days)	>25 weeks (>175 days)	None	None	None applicable to diagnostic medicine

Slika 19. Sažetak determinističkih učinaka po gestacijskoj dobi

Izvor: <https://www.acr.org/-/media/acr/files/practice-parameters/pregnant-pts.pdf>

Prema Kumaru i suradnicima potencijalne štete koje ionizirajuće zračenje tijekom trudnoće može izazvati možemo podijeliti u četiri glavne kategorije (51).

- Gubitak trudnoće
- Razne malformacije ploda
- Poremećaji rasta i razvoja ploda
- Mutacijski i kancerogeni efekti.

Za razliku od ostalih izvora ionizirajućeg zračenja u dijagnostici trudnica, CT donosi najveću dozu kojom je plod izložen. Sama količina zračenja kojom izlažemo majku i plod uvelike ovisi o području tkiva kojeg izlažemo zračenju. Primjerice CT zdjelice donosi najveću dozu koju plod prima i iznosi oko 50 mGy (51). Iako se čini znatno velikom dozom još uvijek je u granicama u kojima nema značajnih štetnih posljedica po plod (51).

Zbog tako velike doze koju CT proizvodi svakako trebamo razmisliti o ostalim opcijama dijagnostike trudnica poput UZV-a, MR-a ili klasičnog rendgena prije nego se konačno odlučimo za CT kao metodu izbora.

Yoon i suradnici govore upravo o ostalim metodama izbora dijagnostike u raznim hitnim i kliničkim situacijama u kojima se trudnica može zateći (52). U slučaju upale crvljka spominju MR kao prvu metodu dijagnostike, dok kod upale žučnog mjehura vide UZV kao kvalitetnu metodu izbora. UZV bubrega također treba biti prva metoda izbora kod bubrežnih kamenaca dok tek kod hitnih traumatskih dijagnostičkih metoda poput intra-abdominalnih trauma, CT vide kao metodu izbora uz postizanje svih mogućih uvjeta kako bi se doza svela na minimum (52). Tu opet svoje mjesto nalaze LDCT protokoli, koji vidjeli smo iz prethodnih studija drastično mogu smanjiti dozu kojom bi majka i plod bili izloženi.

U retrospektivnoj studiji Polleti i suradnika provedenoj 1. siječnja 2011. do 31 prosinca 2016. godine na trudnicama starijima od 18 godina uz njihovu suglasnost, sa sumnjom na akutnu upalu crvljka, uspoređena je primjena LDCT protokola i UZV-a kada dostupnost MR-a nije bila moguća. Naknadno su bili uspoređeni rezultati sa standardnim CT protokolom i utvrdilo se znatno smanjenje doze (prosječna efektivna doza od 1,9 mSv), uz izvanrednu dijagnostičku točnost LDCT protokola te se LDCT preporučuje kao metoda izbora uz dopunu UZV-u ispred standardnog CT-a (53).

Nadalje, Adler-Levy i suradnici u retrospektivnoj studiji evaluiraju kliničke snimke i podatke pacijentica koje su zaprimljene na CT pregled tijekom trudnoće u Sveučilišnu bolnicu

Hadassah, Izrael, između siječnja 2009. godine i svibnja 2012. godine zbog sumnje na koštano displaziju ploda. U studiju je bilo uključeno 20 žena koje su nosile 22 ploda. Korištenjem raznih CT protokola tijekom studije došlo se do toliko niskih doza da su bile iznimno dijagnostički zadovoljavajuće uz veliko smanjenje doze između 1-3 mSv. Zaključak je bio kako LDCT može biti kvalitetna dopuna UZV pregledu u dijagnostici koštanih displazija. LDCT sa svojim niskim dozama ispostavio se kao relativno siguran i moćan alat u postavljanju dijagnoze i donošenju teških odluka tijekom trudnoće u patologiji koštanih displazija (slika 20.), (54).

Patient no.	GA (wk)	Findings at prenatal ultrasound	Findings at prenatal CT	Radiation	Outcome
1	34	Alobar holoprosencephaly, right skull defect	Skull defect with a large encephalocele	10 mSv	TOP, pathology confirmed
2	37	Suspected osteogenesis imperfecta	Fractured tibia, normal skeleton	6 mSv	Full term, alive and well
3	29	Right skull defect, suspected encephalocele, oligohydramnios, foot deformity	No skull defect, oligohydramnios, foot deformity	7 mSv	TOP, Potter syndrome, no skull defect
4	17	Suspected hemivertebra, hypoplastic left thigh, calf and foot bones	D9-L2 hemivertebra with rib deformities and hypoplastic left thigh, calf and foot bones	7 mSv	TOP, pathology confirmed
5	34	Suspected vertebral anomaly	D10 hemivertebra	6 mSv	TOP, pathology confirmed
6	39	Short limb dysplasia (P < 3)	Normal fetus (P < 3)	6 mSv	Full term, alive and well
7	35	Short limb dysplasia (P < 3)	Normal fetus (P < 3)	7 mSv	Full term, alive and well
8	33	Twin 1, suspected achondroplasia	Achondroplasia	5.5 mSv	Selective feticide, achondroplasia confirmed
9	33	Twin 2, normal?	Normal fetus	5.5 mSv	Full term, alive and well
10	33	Twin 1, short limb dysplasia (P < 3)	Normal fetus (P < 3)	1.2 mSv	Full term, alive and well
11	33	Twin 2, short limb dysplasia (P < 3)	Normal fetus (P < 3)	1.2 mSv	Full term, alive and well
12	34	Short limb dysplasia (P < 3)	Normal fetus (P < 3)	2 mSv	Full-term, alive and well
13	34	Short limb dysplasia (P < 3)	Normal fetus (P < 3)	2 mSv	Full term, alive and well
14	24	Caudal regression syndrome	Caudal regression syndrome	2 mSv	TOP, pathology confirmed
15	33	Short limb dysplasia (P < 3)	Normal fetus (P < 3)	0.75 mSv	Full term, alive and well
16	32	Short limb dysplasia (P < 3)	Normal fetus (P < 3)	0.7 mSv	Full term, alive and well
17	36	Short limb dysplasia (P < 3)	Normal fetus (P < 3)	3 mSv	Full term, alive and well
18	32	Short limb dysplasia (P < 3)	Normal fetus (P < 3)	3 mSv	Full term, alive and well
19	28	Short limb dysplasia (P < 3)	Normal fetus (P < 3)	0.9 mSv	Full term, alive and well
20	35	Short limb dysplasia (P < 3)	Normal fetus (P < 3)	1.9 mSv	Full term, alive and well
21	31	Dysplastic left calf	Hypoplastic left calf bones	2.2 mSv	Full term, pathology confirmed
22	16	Bilateral curved short calf bones	Bilateral curved short calf bones	1.1 mSv	TOP, pathology confirmed

GA = gestational week, TOP = termination of pregnancy, P < 3 = lower than the 3rd percentile

Slika 20. Prikazuje sumaciju studije Adler-Levy i suradnika. LDCT protokol s dozom od 1.1 mSv potvrđuje patologiju bez značajnog gubitka kvalitete snimke.

Izvor. <https://www.ima.org.il/FilesUploadPublic/IMAJ/0/103/51918.pdf>

4.3.6. Low dose CT u radioterapiji

Važno je razlučiti različite karakteristike zračenja u dijagnostičke svrhe i u svrhe planiranja u radioterapiji. Doze u dijagnostičke svrhe koje proizvodi CT znatno su niže od doza koje pacijenti primaju tijekom planiranja u radioterapiji (55).

Sanderud i suradnici u studiji provedenoj između travnja 2013. i svibnja 2014. godine uspoređuju upravo doze između CT toraksa u dijagnostičke svrhe i CT toraksa u svrhe planiranja radioterapije. Na 110 pacijenta koji su bili podijeljeni ravnomjerno (55 dijagnostički CT, 55 CT u svrhe radioterapije), došlo se do rezultata o četiri puta većoj dozi u prosjeku na CT-u u svrhu radioterapije naspram dijagnostičkom CT-u toraksa. Najveće razlike su bile primijećene kod pacijenata s nižom tjelesnom masom (slika 21.), (56).

Noise index	RP-CT			DG-CT			
	2.8	4	11.5	38	45	55	70
CTDIvol (mGy)	38.2	27.9	42.3	12.1	10.7	4.9	3.11
DLP (mGy cm)	1439	1117	1786	456.6	423.5	191.2	131.7
Scan length (cm)	37.8	40.1	42.5	37.5	39.7	39.1	41.4
Time per scan (s)	47.5	56.2	63.0	4.76	5.04	4.96	5.26
Height (cm)	167	176	181	174	174	176	176
Weight (kg)	73	75	83	77	81	69	68
BMI	26.1	24.2	25.3	25.3	26.8	22.4	21.5

Slika 21. Parametri studije Sanderud i suradnika.

Izvor. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1078817415000954>

Zbog veće doze koju pacijenti primaju tijekom planiranja u radioterapiji dolazi do većih rizika za tu ionako osjetljivu skupinu. Protokoli kojima bi smanjili dozu tijekom planiranja nužni su kako bi potencijalne rizike sveli na najmanje moguće.

Davis i suradnici u članku objavljenom 2017. godine sustavnim pregledom literature, utvrđuju potrebu za donošenjem protokola u planiranju radioterapije koji bi smanjili dozu uz dostatnu kvalitetu snimaka koja je izazov u radioterapiji zbog velikih zahtjeva za visokom preciznošću gdje smanjenjem doze dovodimo do šuma što dovodi do otežanog planiranja i daljnje terapije pacijenata sa karcinomom(57).

Upravo zbog tog razloga Kim i suradnici 2017. godine provode istraživanje na fantomu CIRS (engl. *Computerized Imaging Reference Systems*). Koriste standardni protokol od 120 kV i 350 mAs te ga uspoređuju s dobivenim vrijednostima HU kod 5 različitih protokola (50, 100, 200, 350 i 400 mAs). U zadnjem koraku za dobivene rezultate koristili su IDose 5 (54) rekonstruktivni algoritam koji za zadaću ima smanjenje doze. Rezultati su pokazali kako se smanjenjem struje cijevi povećavao šum snimke, ali se korištenjem rekonstruktivnih alata poput iDose5 dolazi do značajnog smanjenja doze i smanjenja šuma (58).

Piliero i suradnici u istraživanju provedenom na 24 pacijenta korištenjem CBCT (*cone beam CT*) protokola niske doze u radioterapiji karcinoma prostate dolaze do smanjenja doze od 60% kod svih pacijenata čiji promjer ne prolazi 100 cm u struku (59).

Kod svih studija u radioterapiji ograničenje smanjenja doze predstavljala je konstitucija pacijenata. Što je bila veća tjelesna masa, mogućnost za smanjenjem doze zračenja uz adekvatnu kvalitetu snimke bez izraženog šuma bila je niska (57, 58, 59).

4.3.7. Low dose CT u dijagnostici kardiovaskularnih bolesti

Kardiovaskularne i cerebrovaskularne bolesti vodeći su uzrok smrti u svijetu prema statistici GBD (engl. *Global Burden of Disease*) 2019. Procjenjuje se kako je smrtnost vezana uz kardiovaskularne bolesti dosegla preko 18 milijuna ljudi u 2019. godini (60). Vodeći se tim brojkama možemo zaključiti kako potreba za dijagnostičkim metodama u dijagnozi kardiovaskularnih bolesti isto tako užurbano raste.

CT kao metoda ključna je u detekciji patologija aterosklerotskih promjena. Zhao i suradnici upravo zbog sve veće potrebe za dijagnostičkom metodom CTA (engl. *Computed Tomography Angiography*) vrše prospektivnu studiju između siječnja 2016. i svibnja 2017. godine gdje korištenjem CTA implementiraju protokol koji bi drastično smanjio dozu ali dao dostatnu dijagnostičku kvalitetu (61).

Studija je obuhvatila 78 pacijenata podijeljenih u dvije grupe. Grupa A od ukupno 38 pacijenata koristila je LD protokol od 70 do 80 kV i aplikaciju kontrasta od 40 ml, dok je u grupi B bilo 40 pacijenata i koristio se standardni napon cijevi od 100 kV i aplikacija 60 ml kontrasta. Rezultati su pokazali značajno smanjenje efektivne doze 59% kod ULD protokola i niže aplikacije jednog kontrasta 51% uz zadovoljavajuću kvalitetu snimaka. Također

napominju kako se s novijim generacijama uređaja očekuju još veća povećanja u kvaliteti i smanjenju doze (slika 22.), (61).

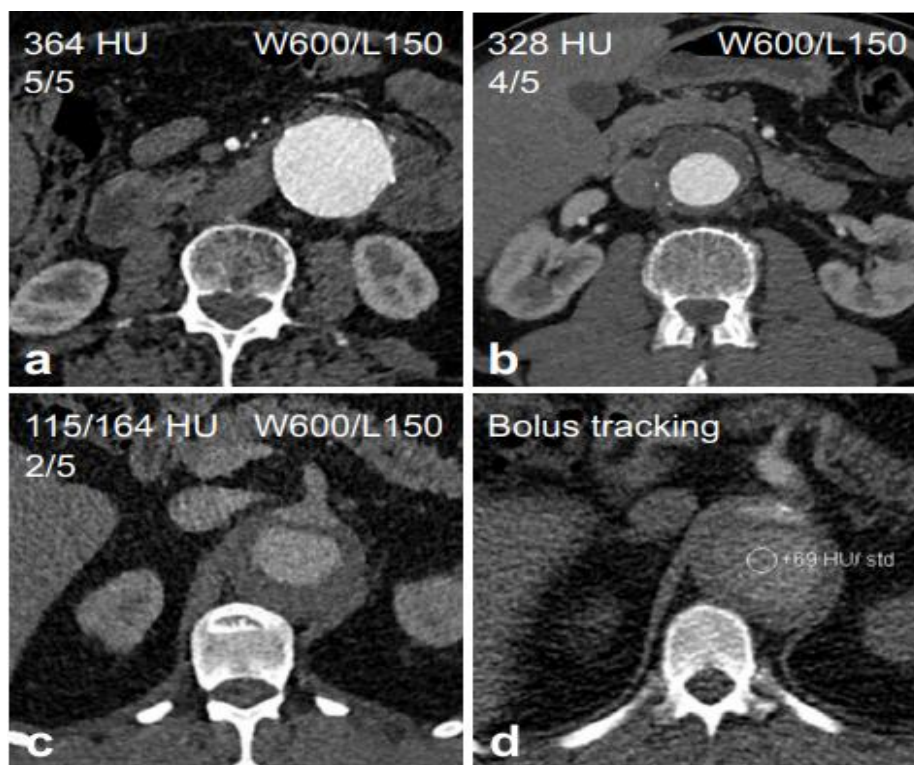
Parameters	Group A (n=38)	Group B (n=40)	t-values	P-values
CTDI _{vol} (mGy)	1.23±0.41	3.19±1.05	-10.811	<0.001
DLP (mGy·cm)	62.95±21.54	160.15±15.13	-23.157	<0.001
ED (mSv)	0.32±0.11	0.79±0.08	-22.173	<0.001
Contrast agent volume (ml)	40±0	60±0	-	<0.001
Total iodine content (mg)	10.8±0	22.2±0	-	<0.001

CTDI_{vol}, volume CT dose index; DLP, dose length product; ED, effective dose.

Slika 22. Usporedba A i B grupe u studiji Zhao i suradnici. omjer doza i apliciranog kontrasta.

Izvor. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6447913/>

Fink i suradnici u prospektivnoj studiji uključuju pacijente niske i više tjelesne mase prilikom podvrgavanja pregledu CTA torakoabdominalne aorte. Ukupno 161 pacijent je bio uključen u studiju podijeljenih u dvije grupe. Grupi A činilo je 126 pacijenta niže tjelesne mase, dok je grupi B činilo 35 pacijenta više tjelesne mase. 89% snimaka potvrđeno je kao zadovoljavajuće, dok je kod grupe B očekivano došlo do poteškoća pri dijagnozi snimaka. Dolaze do zaključka kako implementacijom LD protokola niske doze i smanjenog apliciranog kontrasta naspram standardnog protokola, kod svih vrsta BMI (engl. *Body Mass Index*) možemo znatno smanjiti dozu pacijenta uz dovoljnu dijagnostičku točnost (slika 23.). Napominju također kako u području CTA pregleda svakako vide budući napredak novijih uređaja koji će sigurno donijeti lakše implementacije LD protokola (62).



Slika 23. LD protokol CTA pokazuje dostatnu dijagnostičku kvalitetu osim kod slike d) gdje je bolus praćenje disekcije aorte otežano

Izvor. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/35328228/>

4.4. BIOLOŠKI UČINCI LOW DOSE CT-A NA LJUDSKO TIJELO

Navedena istraživanja unatoč sjajnim rezultatima smanjenja doza zračenja ili smanjenja smrtnosti prijevremenim otkrivanjem patologija poput provođenja skrininga za rano otkrivanje karcinoma pluća ne daju konkretan odgovor na biološke štetnosti koje zračenje LDCT-a ostavlja na ljudsko tijelo.

Stoga Sakane i suradnici između ožujka 2016. i lipnja 2018. godine na odjelu torakalne kirurgije provode prospektivnu studiju te pokušavaju utvrditi biološke učinke LDCT skrininga pluća na samu DNA.

U prospektivnoj studiji sudjelovalo je 209 pacijenata (105 žena i 104 muškarca). Prosjek godina bio je 67. Pacijenti su bili podjednako podijeljeni u dvije grupe te je 107 pacijenata bilo podvrgnuto LDCT-u dok su 102 pacijenta bila podvrgnuta standardnom CT-u. Uzorci krvi za procjenu bili su pregledani 15 minuta prije i nakon snimanja. Utvrđeno je kako

je srednja efektivna doza za LDCT bila znatno niža i iznosila je 1,4-1,7 mSv, dok je za standardni CT iznosila 4,2-6,3 mSv. DLP, efektivna i izračunata doza krvi bila je otprilike 30% manja kod LDCT-a. Evaluacijom rezultata broj dvolančanih DNA lomova i kromosomskih aberacija nije primijećen kod LDCT-a dok se kod standardnog CT-a broj povećavao. Studija je pokazala kako nema štete na ljudsku DNA korištenjem LDCT protokola dok se za visoke doze standardnog CT protokola primijetila potencijalna šteta na ljudsku DNA (slika 24), (63).

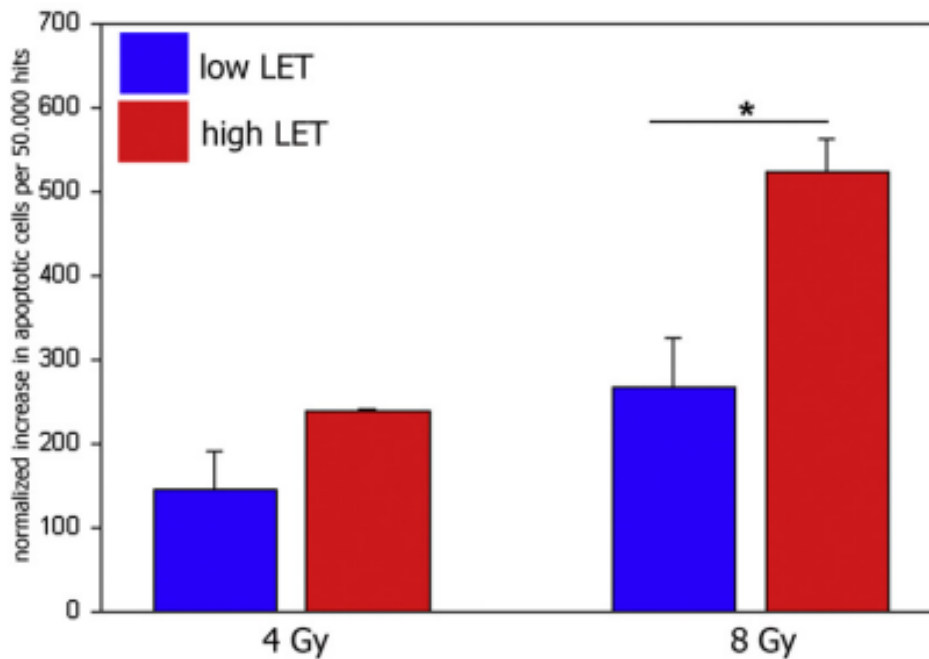
Parameter	Standard-Dose		P Value
	Low-Dose CT	CT	
Tube current (mA)	100	318 ± 100*	<.001
Dose-length product (mGy · cm) [†]	104 (99–114)	382 (297–499)	<.001
Effective dose (mSv) [†]	1.5 (1.4–1.6)	5.3 (4.2–7.0)	<.001
Calculated blood dose (mGy)*	3.3 ± 0.4	11.7 ± 3.2	<.001

* Data are mean ± standard deviation.
[†] Data are median; data in parentheses are interquartile range.

Slika 24. CT dozni parametri korišteni u studiji Sakane i suradnici.

Izvor. <https://pubs.rsna.org/doi/epdf/10.1148/radiol.2020190389>

Studija koju su proveli Maarten i suradnici kako bi uvidjeli preživljenje ljudske stanice nakon izlaganja niskim i visokim dozama LET (engl. *Linear energy transfer*) zračenja u radioterapiji također ukazuje na različito djelovanje zračenja. Kod visokih doza preživljenje stanice je bilo malo dok je apoptoza (programirana stanična smrt) stanice bila visoka za razliku od nižih doza koje su pokazale oprečne rezultate (slika 25.), (64).



Slika 25. Odnos visoke i niske doze LET zračenja na ljudsku stanicu.

Izvor. <https://www.redjournal.org/action/showPdf?pii=S0360-3016%2811%2903330-X>

4.5. UTJECAJ LOW DOSE CT ZRAČENJA KOD ŽIVOTINJA

Paunensku i suradnici smatraju kako većina znanja koja posjedujemo oko bioloških efekata zračenja na ljudsko tijelo uvelike ovisi o informacijama koje dobivamo iz istraživanja vršenih na životinjskim modelima i *in vivo* studijima (65), dok Shi i suradnici smatraju kako istraživanja provedena na životinjama nisu nužno primjenjiva i prihvatljiva za ljude zbog velike razlike u tjelesnim težinama životinja i ljudi te velikog broja različitih vrsta među životinjama. Uz to, istraživanja se ne mogu uspoređivati zbog različitih metoda provedbe, odnosno *in vitro* rezultati nisu primjenjivi pri *in vivo* promatranjima (55).

Izloženost životinja dozama ionizirajućeg zračenja predstavlja problem i znanstvenicima koji sudjeluju u svakodnevnim istraživanjima. Molins i suradnici procjenjuju kako su znanstvenici izloženi prosječnoj dozi od 3 mSv godišnje uzevši u obzir količinu studija koje provode. Smatraju nužnim optimizirane protokole smanjenja doze u istraživanjima koja se vrše u ovom slučaju na PET (engl. *Positron Emission Tomography*) CT uređajima kako bi doze kojima se izlažu ljudi i životinje bile smanjene najmanje moguće (66).

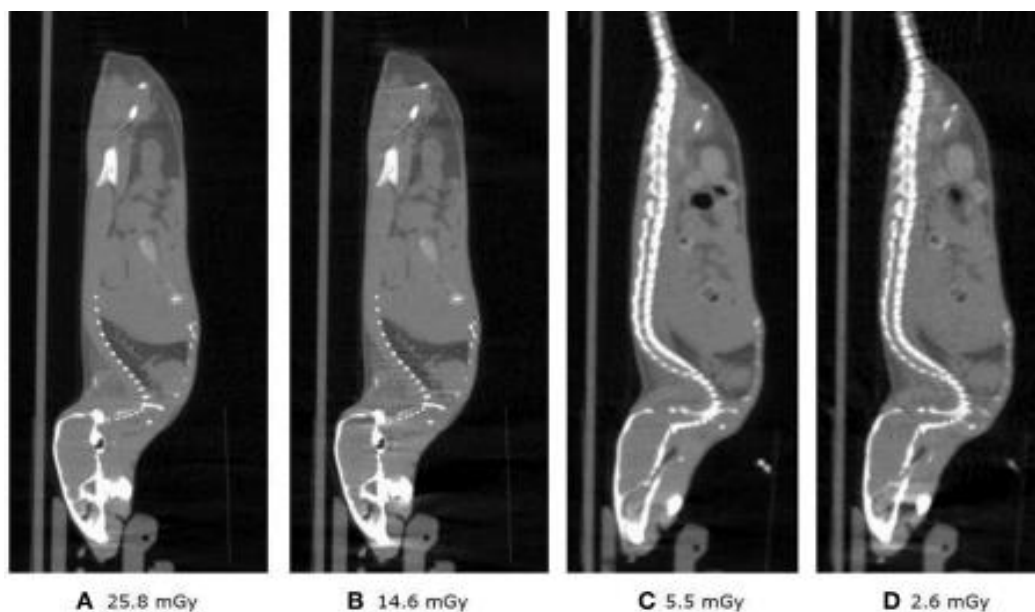
Iz tog razloga Molins i suradnici provode sjajnu studiju 2018. godine gdje na fantomu i životinjama koristeći novi aparat Si78 PET/CT, tvrtke *Gruker Biospin* (slika 26.), koriste LD protokole te potvrđuju odličnu kvalitetu snimaka uz četiri puta nižu dozu standardnih protokola. Znanstvenicima koji upravljaju aparatom se tako predviđa drastično smanjenje godišnje doze. Aparat je omogućio doze manje od 10 mGy i za izložene miševe uz gotovo identičnu kvalitetu snimaka standardnog protokola (slika 27.), (66).



Slika 26. Uređaj PET/CT Si78

Izvor. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6509903/>

Velika prednost ovog aparata je mogućnost skupljanja podataka za cijelo tijelo uz iznimno niske doze, što u kombinaciji s oštrijom slikom i većim anatomskim područjem može obuhvaćati i veće grupe istraživanja, za razliku od standardnog protokola koji je većom dozom često kompromitirao dobivene rezultate. Ovakva postignuća bitna su i za PET CT u kliničke svrhe gdje se implementacijom sličnih protokola i metoda može unaprijediti znanje u području dijagnostike (66).



Slika 27. Iznad su prikazana četiri sagitalna prikaza miša s protokolima smanjenja doza

Izvor. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6509903/>

4.6. PREDNOSTI I NEDOSTATCI LOW DOSE CT-A

Sva navedena istraživanja i studije navode kao prednost značajno smanjenje doze kod LDCT protokola uz minimalni gubitak kvalitete snimaka te ga preporučuju kao metodu izbora u dijagnostici odraslih a posebno u dijagnostici trudnica, djece i pacijenata s karcinomima. To svakako ide u korist LDCT-u kao prvoj metodi izbora, no većina studija navodi i neke značajne nedostatke.

Jedan od najznačajnijih nedostataka LDCT-a prema većini studija, a pogotovo studija kod skrininga pluća su lažno pozitivni nalazi do kojih dolazi zbog raznih faktora. Loše pripremljeni protokoli koji dovode do visokog šuma snimke svakako su jedni od njih stoga bi svaka zdravstvena ustanova koja koristi CT kao metodu izbora trebala uskladiti protokole kako bi uz najnižu dozu postigli i zadovoljavajuću dijagnostičku kvalitetu uz suglasnost radiologa koji očitavaju snimke.

Pinsky u svome članku govori kako je u spomenutoj NLTS studiji primijećeno 27% lažno pozitivnih nalaza u prva dva kruga ispitivanja dok je do smanjenja došlo tek u trećem krugu ispitivanja (67). Lažno pozitivni nalazi za sobom nose dodatne negativne strane poput dodatnih snimanja i postupaka koji su potrebni kako bi se detektirala ili negirala patologija.

Dodatna snimanja dovode do dodatnih doza kojima je pacijent izložen dok postupci poput slučaja lažno pozitivnog nalaza skrininga pluća dovode do neugodnih biopsija i daljnjih komplikacija. U NLTS studiji samo 2,7% lažno pozitivnih nalaza zahtijevalo je invazivne metode, koje su kasnije dovodile do minimalno jedne teže komplikacije (67).

NELSON studija pokazuje kako lažno pozitivni nalazi kod pacijenata dovode i do psihičkog nemira tvrdi Pinsky koji se ipak smanjuje s vremenom (67).

Idući nedostatak su pretjerana snimanja kojima su pacijenti izloženi kako bi se isključila patologija. Patz i suradnici 2014. godine u svojoj studiji analiziraju pretjerana izlaganja snimanjima pacijenata kod NLST skrininga i utvrđuju kako će 18% pacijenata biti pretjerano izloženo nepotrebnim snimanjima (68). Primjerice u NLST studiji u tri kruga pregleda predviđa se kako pacijent prima ukupnu dozu od 8 mSv (69). Tu se postavlja pitanje o štetnosti koju je prouzročila doza te mogućnosti pojave karcinoma nakon dužeg razdoblja od izlaganja ionizirajućem zračenju. Tako dolazimo do idućeg nedostatka koji je zapravo najveći generalni problem CT uređaja općenito a to je odnos LDCT-a i pojave karcinoma.

Lin (1) govori kako doze do 100 mSv ne izazivaju bitne posljedice. Naglasak je na "bitne" jer potencijalna šteta nikada nije isključena sa 100% sigurnošću u svim studijima pregledanima u ovome radu.

Dahal i Budoff u članku objavljenom 2019. godine sustavnim pregledom literature ne pronalaze dokaze o štetnosti povezanosti s niskim dozama ionizirajućeg zračenja i pojave karcinoma već čak pronalaze dokaze kako izlaganja niskim dozama dovode do benefita poput stimuliranja imunološkog odgovora i popravaka oštećenih DNA dok visoke doze donose štetne posljedice na ljudsko tijelo. Zaključno smatraju kako bi potencijalna povezanost razvoja karcinoma i izlaganja LDCT-u bila moguća tek kada bi razdoblje praćenja počelo nakon 10-20 godina od izlaganja (70).

Schultz i suradnici u velikoj studiji sustavnim pregledom literature od 1975. do 2017. godine traže povezanost razvoja karcinoma i izlaganja LD zračenju. Pregledana su 4382 članka te su konačnim pregledom 62 ispunila sve kriterije studije. Dokazi koje su pronašli u navedenim studijama također su pokazali kako nema direktne veze između izlaganja LDCT-u i ostalim izvorima niske doze zračenja kumulativne doze do 100 mSv te čak i do 200 mSv s povećanjem rizika od razvoja karcinoma (slika 28.), (71).

INCLUSION CRITERIA	EXCLUSION CRITERIA
Adults and children	Animal studies
Low-dose radiation defined as 200 mSv or less	High-dose exposures, to include therapeutic radiation
Studies published from 1975 through 2017	Prenatal and preconception exposures
English language	Articles addressing radiation effects on cells (adaptive response and bystander effects), chromosomes, biochemistry, or other non-organism targets
Randomized controlled trials (and meta-analysis), cohort studies, case control studies	Review articles, abstracts, or editorials
External x-ray or gamma radiation exposure from diagnostic, environmental (including atomic bomb Survivors), or occupational sources	Articles measuring calculated or estimated cancers based on modeling of exposure risk
Studies where radiation exposure is either measured directly or estimated using current equipment and accepted methods where number and type of exposures are documented in a verifiable dataset	Substantial exposure from internal contamination (excluding radon)
	Studies of patients with previous history of cancer
	Studies examining radiation impact on other diseases besides cancer such as meningiomas, cardiovascular disease, or mental health
	Studies using surveys/questionnaires, number of procedures performed, or other indirect markers for actual radiation exposure

Slika 28. Kriteriji koji su bili uključeni i isključeni iz ove studije

Izvor. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32009606/>

Zanimljiva studija pod vodstvom Rampinelli i suradnika pokušala je procijeniti rizik od mogućeg razvoja karcinoma kod pacijenata podvrgnutima skriningu pluća LDCT protokolom. Provele su se dvije analize u Milanu 2004. do 2015. te 2015. do 2016. godine. Podaci tijekom 10 godina bili su evaluirani kod 5203 pacijenta od toga 3439 muškaraca i 1764 žena koji su bili podvrgnuti na 42.228 LDCT protokola i 635 PET CT-a. Statistički rezultati su ukazali na veću incidenciju za razvoj karcinoma kod žena 2,4 na 10.000 ljudi podvrgnutih skriningu, naspram 1,5 za muškarce. Zaključeno je kako iako postoji minimalna statistička mogućnost razvoja karcinoma, smatraju kako dobiveni rezultat može biti prihvatljiv s obzirom na drastično smanjenje smrtnosti od karcinoma povezanih s ranim otkrivanjem na skriningu (72).

Svakako treba napomenuti kako precjenjivanje rizika može dovesti do krivih procjena liječnika, te bi zbog straha od posljedica koje zračenje može prouzročiti mogli proizvesti veću štetu od koristi izbjegavanjem LDCT-a kao metode izbora.

5. ZAKLJUČAK

Uspoređujući LDCT protokole sa standardnim CT protokolima u ovome radu, možemo zaključiti kako LDCT protokoli u gotovo svim studijima pokazuju zadovoljavajuću dijagnostičku točnost te čak i superiornost napram standardnih CT protokola uz drastično smanjenje doze što u konačnici dovodi do izbjegavanja neželjenih posljedica po ljudsko tijelo. Najveću primjenu vidimo kod skrining metoda poput nacionalnog programa za rano otkrivanje karcinoma pluća gdje LDCT čvrsto drži svoje mjesto kao “zlatna” metoda izbora u dijagnostici patologije karcinoma pluća. Svakako metoda izbora trebala bi biti i kod one populacije s najvećom radiosenzitivnosti poput djece i trudnica kada nam MR kao metoda neionizirajućeg zračenja nije dostupna. LDCT u tim situacijama pokazuje drastično smanjenje doze naspram standardnog CT protokola uz visoku dijagnostičku točnost te prema navedenim studijima rizik od pojave štetnih posljedica ionizirajućeg zračenja smanjuje na minimum.

Neke mane poput lažno pozitivnih nalaza koji se pojavljuju zbog smanjene kvalitete snimaka i pojave šuma te neiskustva radiologa pri očitavanju snimaka, a nastaju primjerice pokušajem smanjenja strujnih parametara pojedinog uređaja kako bi postigli zadovoljavajući LDCT protokol, svakako će se smanjiti daljnjim i sve većim napretkom IT industrije koja će dovesti do drastičnog poboljšanja uređaja i algoritama poput spomenutih iDOSE-5, *Flash scan* tehnika ili korištenja filtera poput navedenog filtra kositra.

Svakako treba posvetiti pažnju i na redovite edukacije svih profesionalca koji svakodnevno rade s dozama ionizirajućeg zračenja putem *webinara*, znanstvenih radova i sl. te ih usmjeriti na stvaranje kvalitetnih protokola kako bi LDCT doveli do dijagnostički što pouzdanije metode, a time zaštitili sve izložene ljude i eliminirali sve moguće rizike tijekom provođenja pretrage. Doze koje koristimo tijekom LDCT protokola, iako vrlo niske, ne smijemo podcijeniti i smatrati kako ne postoji nikakva šteta za ljudsko tijelo. Precjenjivanjem i/ili podcjenjivanjem rizika koju nosi doza na LDCT-u možemo prouzročiti veću štetu od koristi, pogotovo u dijagnostici djece i trudnica. Iako studije pokazuju kako nema direktne povezanosti između niskih doza ionizirajućeg zračenja i razvoja karcinoma ili štete na ljudsku DNA, studije ipak ostavljaju statističku mogućnost koju ne smijemo zanemariti.

Pregledom literature zaključuje se kako su daljnja istraživanja ne samo potrebna, već i nužna kako bi dobili točnije podatke o prednostima i manama koju niske doze ionizirajućeg zračenja tijekom CT snimanja potencijalno mogu prouzročiti.

6. LITERATURA

1. Lin, E. C. (2010) Radiation Risk From Medical Imaging. *Mayo Clinic Proceedings*, vol 85, no. 12. URL: https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2996147/pdf/mayoclinproc_85_12_011.pdf (Pristupljeno 23. kolovoza 2023.).
2. Janković, S. et al. (2015) *Radiološki uređaji i oprema u radiologiji, radioterapiji i nuklearnoj medicini*. Split: Sveučilište u Splitu.
3. Janković, S., Mihanović, F. (2013) *Uvod u radiologiju*. Split: Sveučilište u Splitu.
4. Kalender, W. A. (2006) X-ray computed tomography. *Physics in Medicine & Biology*, vol. 51, no. 13. URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/0031-9155/51/13/R03> (Pristupljeno 16. svibnja 2023.).
5. Schulz, W. G. (2022) William Oldendorf: Inventor of computed axial tomography helped move brain diagnostics out of the dark ages. URL: <https://spie.org/news/photonics-focus/janfeb-2022/william-oldendorf-and-computed-axial-tomography> (Pristupljeno 16. svibnja 2023.).
6. Ambrose, E., Gould, T., Uttley, D. (2006) Jamie Ambrose. *The BMJ*, vol. 332, no. 7547. URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC1444818/pdf/bmj33200977.pdf> (Pristupljeno 18. svibnja 2023.).
7. Goldman, L. W. (2007) Principles of CT and CT technology. *Journal of Nuclear Medicine Technology*, vol. 35, no. 3, str.115-128.
8. The Editors of Encyclopaedia Britannica (2023) *Sir Godfrey Newbold Hounsfield*. URL: <https://www.britannica.com/biography/Godfrey-Newbold-Hounsfield> (Pristupljeno 18. svibnja 2023.).
9. Higgins, E. S. (2021) *50 years ago, the first CT scan let doctors see inside a living skull – thanks to an eccentric engineer at the Beatles’ record company*. URL: <https://theconversation.com/50-years-ago-the-first-ct-scan-let-doctors-see-inside-a-living-skull-thanks-to-an-eccentric-engineer-at-the-beatles-record-company-149907> (Pristupljeno 18. svibnja 2023.).
10. Čupurdija, A., Petrincec, B. (2017) Kompjutorizirana tomografija – CT. *Matematičko fizički list*, vol. 68, no. 270, str. 80-86.
11. Bell, D. J. (2022) *James Ambrose*. URL: <https://radiopaedia.org/articles/james-ambrose> (Pristupljeno 16. svibnja 2023.).

12. Schulz, R. A., Stein, J. A., Pelc, N. J. (2021) How CT happened: the early development of medical computed tomography. *Journal of Medical Imaging*, vol. 8, no. 5. URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC8555965/pdf/JMI-008-052110.pdf> (Pristupljeno 16. svibnja 2023.).
13. Linton, O. W. (1995) Medical Application of X Rays. *SLAC Beam Line*. URL: <https://www.slac.stanford.edu/pubs/beamline/25/2/25-2-linton.pdf> (Pristupljeno 16. svibnja 2023.).
14. Biomedical Views (2020) *Generations of CT Scanners*. URL: <https://www.biomedicalviews.com/2020/07/generations-of-ct-scanners.html> (Pristupljeno 20. svibnja 2023.)
15. Booi, R. et al. (2020) Technological developments of X-ray computed tomography over half a century: User's influence on protocol optimization. *European Journal of Radiology*, vol. 131, no. 109261. URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32937253/> (Pristupljeno 14. svibnja 2023.).
16. Schneider, A., Feussner, H. (2017) *Biomedical Engineering in Gastrointestinal Surgery*. Academic press. URL: <https://www.sciencedirect.com/topics/neuroscience/single-slice-computed-tomography> (Pristupljeno 27. kolovoza 2023.).
17. So, A., Nicolau, S. (2021) Spectral Computed Tomography: Fundamental Principles and Recent Developments. *The Korean Society of Radiology*, vol. 22, no. 1. URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7772378/pdf/kjr-22-86.pdf> (Pristupljeno 18. svibnja 2023.).
18. Strugačevac, P. (1999.) *Teorijska osnova imaging CT tehnike*. Osijek: Klinička bolnica.
19. McCollough, C., et al. (2008) The Measurement, Reporting, and Management of Radiation Dose in CT. *AAPM REPORT*, no. 96. URL: https://www.aapm.org/pubs/reports/RPT_96.pdf (Pristupljeno 15. lipanja 2023.).
20. Zhao, A., Fopma, S., Agrawal, R. (2022) Demystifying the CT Radiation Dose Sheet. *RadioGraphics*, vol. 42, no. 4. URL: <https://pubs.rsna.org/doi/epdf/10.1148/rg.210107> (Pristupljeno 25. srpnja 2023.).
21. Tsapaki, V., Rehani, M. (2007) Dose management in CT facility. *Biomedical Imaging and Intervention Journal*, vol. 3, no. 2. URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3097661/pdf/biiij-03-e43.pdf> (Pristupljeno 25. srpnja 2023.).
22. Bolf, N. (2018) Ionizirajuće zračenje. *Časopis kemičara i kemijskih inženjera Hrvatske*, vol. 67, no. 7-8. URL: <https://hrcak.srce.hr/file/299774> (Pristupljeno 15. srpnja 2023.).

23. Leksikografski zavod Miroslav Krleža (2021) Ionizirajuće zračenje. *Hrvatska enciklopedija (online)*. URL: <http://www.enciklopedija.hr/Natuknica.aspx?ID=27754> (Pristupljeno 25. lipnja 2023.).
24. Janković, S., Eterović, D. (2002) *Fizikalne osnove i klinički aspekti medicinske dijagnostike*. Zagreb: Medicinska naklada.
25. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, *Sources, effects and risks of ionizing radiation – UNSCEAR 2012 Report to the General Assembly*. URL: https://www.unscear.org/docs/publications/2012/UNSCEAR_2012_Report.pdf (Pristupljeno 27. kolovoza 2023.).
26. Hamada, N., Fujimichi, Y. (2014) Classification of radiation effects for dose limitation purposes: history, current situation and future prospects. *Journal of Radiation Research*, vol. 55. URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4100010/pdf/rru019.pdf> (Pristupljeno 2. lipnja 2023.).
27. Surić Mihić, M., et al. (2013) Koncept osobne dozimetrije i osnovne fizikalne veličine u osobnoj dozimetriji. *HDKBR INFO Magazin*, Vol. 3, No. 4. URL: <https://hrcak.srce.hr/file/218981> (Pristupljeno 15. lipnja 2023.).
28. Valentin, J. (2007) The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. *Annals of the ICRP*, vol. 37, no. 2-4. URL: https://journals.sagepub.com/doi/pdf/10.1177/ANIB_37_2-4 (Pristupljeno 15. lipnja 2023.).
29. Roić, G., et al. (2011) Slikovne dijagnostičke metode – zaštita od zračenja i racionalna upotreba u dječjoj dobi. *Medicinski vjesnik*, vol. 43, no. 1-4. URL: <https://hrcak.srce.hr/file/291679> (Pristupljeno 15. srpnja 2023.).
30. Mahesh, M., Ansari, A. J., Mettler, F. A. (2023) Patient Exposure from Radiologic and Nuclear Medicine Procedures in the United States and Worldwide: 2009–2018. *RSNA Journals: Radiology*, vol. 307, no. 1. URL: <https://pubs.rsna.org/doi/epdf/10.1148/radiol.221263> (Pristupljeno 25. srpnja 2023.).
31. Schöckel L. et al. (2020) Developments in X-Ray Contrast Media and the Potential Impact on Computed Tomography. *Investigative Radiology*, vol. 55, no. 9. URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32701620/> (Pristupljeno 25. srpnja 2023.).
32. Wu, D., et al. (2020) Benefits of Low-Dose CT Scan of Head for Patients With Intracranial Hemorrhage. *Dose-Response*, vol. 18, no. 1. URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32214915/> (Pristupljeno 7. kolovoza 2023.).

33. Morton, R. P., et al. (2013) Low-dose head computed tomography in children: a single institutional experience in pediatric radiation risk reduction: clinical article. *Journal of Neurosurgery*, vol. 12, no. 4. URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/23971634/> (Pristupljeno 7. kolovoza 2023.).
34. Chi, J., et al. (2021) Low-dose CT of paediatric paranasal sinus using an ultra-low tube voltage (70 kVp) combined with the flash technique. *Clinical Radiology*, vol. 76, no. 1. URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32950256/> (Pristupljeno 18. kolovoza 2023.).
35. Smettei, O. A., et al. (2018) Ultra-fast, low dose high-pitch (FLASH) versus prospectively-gated coronary computed tomography angiography: Comparison of image quality and patient radiation. *Journal of the Saudi Heart Association*, vol. 30, no. 3. URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6026393/> (Pristupljeno 18. kolovoza 2023.).
36. Siegel, R. L., et al. (2022) Cancer statistics, 2023. *CA: Cance Journal for Clinicians*, vol. 73. URL: <https://acsjournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.3322/caac.21763> (Pristupljeno 7. kolovoza 2023.).
37. Chudgar, N. P., et al. (2015) Results of the National Lung Cancer Screening Trial: Where Are We Now?. *Thorac Surg Clin*, vol. 25, no. 2. URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4817217/pdf/nihms769581.pdf> (Pristupljeno 16. kolovoza 2023.).
38. Nawa, T. (2018) Low-dose CT screening for lung cancer reduced lung cancer mortality in Hitachi City. *International Journal of Radiation Biology*, vol. 95, no. 10. URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30307383/> (Pristupljeno 7. kolovoza 2023.).
39. Zhao, Y. R., et al. (2011) NELSON lung cancer screening study. *Cancer Imaging*, vol. 11, no. 1A. URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3266562/> (Pristupljeno 15. srpnja 2023.).
40. Suliman, I. I., et al. (2023) Low-Dose Chest CT Protocols for Imaging COVID-19 Pneumonia: Technique Parameters and Radiation Dose. *Life*, vol. 13, no. 4. URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/37109522/> (Pristupljeno 18. kolovoza 2023.).
41. Moloney, F., et al. (2019) Low-dose CT imaging of the acute abdomen using model-based iterative reconstruction: a prospective study. *Emergency Radiology*, vol. 26, no. 2. URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30448900/> (Pristupljeno 18. kolovoza 2023.).
42. Haijanen, J., et al. (2021) Diagnostic accuracy using low-dose versus standard radiation dose CT in suspected acute appendicitis: prospective cohort study. *The British Journal of*

- surgery*, vol. 108, no. 12. URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/34761262/> (Pristupljeno 21. kolovoza 2023.).
43. Cheng, R. Z., et al. (2020) Ultra-Low-Dose CT: An Effective Follow-Up Imaging Modality for Ureterolithiasis. *Journal of endurology*, vol. 34, no. 2. URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31663371/> (Pristupljeno 22. kolovoza 2023.).
 44. Xiao, M., et al. (2023) Diagnostic accuracy of ultra-low-dose CT compared to standard-dose CT for identification of non-displaced fractures of the shoulder, knee, ankle, and wrist. *Insights into Imaging*, vol. 14, no. 1. URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/34761262/> (Pristupljeno 21. kolovoza 2023.).
 45. SIEMENS Healthineers, *Tin Filter - Filtering out unnecessary photons for powerful low-dose scanning*. URL: <https://www.siemens-healthineers.com/computed-tomography/technologies-and-innovations/tin-filter> (Pristupljeno 21. kolovoza 2023.).
 46. Stern, C., et al. (2021) Pelvic bone CT: can tin-filtered ultra-low-dose CT and virtual radiographs be used as alternative for standard CT and digital radiographs?. *European Radiology*, vol. 31, no. 9. URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33710371/> (Pristupljeno 21. kolovoza 2023.).
 47. Kutanzi, K. et al. (2016) Pediatric Exposures to Ionizing Radiation: Carcinogenic Considerations. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, vol. 13, no. 11. URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5129267/> (Pristupljeno 26. kolovoza 2023.).
 48. Applegate, K. E., Cost, N. G. (2013) Image Gently: A Campaign to Reduce Children's and Adolescents' Risk for Cancer During Adulthood. *The Journal of adolescent health: official publication of the Society for Adolescent Medicine*, vol. 52, no. 5. URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/23601618/> (Pristupljeno 26. kolovoza 2023.).
 49. Atalić, B., et al. (2020) Primjena niskodoznih kompjutoriziranih tomografskih pregleda u pedijatrijskoj radiologiji. *Medicina Fluminensis*, vol. 56, no. 1. URL: <https://hrcak.srce.hr/file/338656> (Pristupljeno 27. kolovoza 2023.).
 50. American College of Radiology, *ACR-SPR practice parameter for imaging pregnant or potentially pregnant patients with ionizing radiation*. URL: <https://www.acr.org/-/media/acr/files/practice-parameters/pregnant-pts.pdf> (Pristupljeno 22. kolovoza 2023.).
 51. Kumar, R., De Jesus, O. (2023) *Radiation Effects On The Fetus*. Treasure Island: StatPearls. URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33232028/> (Pristupljeno 22. kolovoza 2023.).

52. Yoon, I., Slesinger, T. L. (2023) *Radiation Exposure In Pregnancy*. Treasure Island: StatPearls. URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK551690/> (Pristupljeno 22. kolovoza 2023.).
53. Poletti, P., et al. (2019) Suspicion of appendicitis in pregnant women: emergency evaluation by sonography and low-dose CT with oral contrast. *European Radiology*, vol. 29, no. 1. URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29948087/> (Pristupljeno 22. kolovoza 2023.).
54. Adler-Levy, Y., et al. (2015) Use of Low Dose Computed Tomography with 3D Reconstructions for the Prenatal Evaluation of Suspected Skeletal Dysplasia. *IMAJ*, vol. 17. URL: <https://www.ima.org.il/FilesUploadPublic/IMAJ/0/103/51918.pdf> (Pristupljeno 23. kolovoza 2023.).
55. Shi, H., Sun, Z., Ju, F. (2022) Understanding the harm of low-dose computed tomography radiation to the body (Review). *Experimental and therapeutic medicine*, vol. 24, no. 2. URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/35911849/> (Pristupljeno 24. kolovoza 2023.).
56. Sanderud, A., et al. (2016) Radiation dose differences between thoracic radiotherapy planning CT and thoracic diagnostic CT scans. *Radiography*, vol. 22, no. 2. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1078817415000954> (Pristupljeno 24. kolovoza 2023.).
57. Davis, A. T., Palmer, A. L., Nisbet, A. (2017) Can CT scan protocols used for radiotherapy treatment planning be adjusted to optimize image quality and patient dose? A systematic review. *The British Journal of Radiology*, vol. 90, no. 1076. URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28452568/> (Pristupljeno 24. kolovoza 2023.).
58. Philips Healthcare, *iDose⁴ Reconstruction algorithm*. URL: <https://www.usa.philips.com/healthcare/product/HCNCTD390/idose-reconstruction-algorithm> (Pristupljeno 25. kolovoza 2023.).
59. Piliero, M. A., et al. (2020) Patient-based low dose cone beam CT acquisition settings for prostate image-guided radiotherapy treatments on a Varian TrueBeam linear accelerator. *The British Journal of Radiology*, vol. 93, no. 1115. URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32822249/> (Pristupljeno 25. kolovoza 2023.).
60. Ritchie, H., Spooner, F., Roser, M. (2018) Causes of Death. URL: <https://ourworldindata.org/causes-of-death> (Pristupljeno 28. kolovoza 2023.).
61. Zhao, L., et al. (2019) Ultra-low dose one-step CT angiography for coronary, carotid and cerebral arteries using 128-slice dual-source CT: A feasibility study. *Experimental and*

- therapeutic medicine*, vol. 15, no. 5. URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30988794/> (Pristupljeno 28. kolovoza 2023.).
62. Fink, M. A., et al. (2022) Prospective Study of Low-Radiation and Low-Iodine Dose Aortic CT Angiography in Obese and Non-Obese Patients: Image Quality and Impact of Patient Characteristics. *Diagnostics*, vol. 12, no. 3. URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/35328228/> (Pristupljeno 28. kolovoza 2023.).
63. Sakane, H., et al. (2020) Biological Effects of Low-Dose Chest CT on Chromosomal DNA. *RSNA Journals: Radiology*, vol. 295, no. 2. URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32154776/> (Pristupljeno 15. kolovoza 2023.).
64. Schneider, A., Feussner, H. (2017) *Biomedical Engineering in Gastrointestinal Surgery*. Academic press. URL: <https://www.sciencedirect.com/topics/neuroscience/single-slice-computed-tomography> (Pristupljeno 27. kolovoza 2023.).
65. Paunesku, T., et al. (2021) Effects of Low Dose and Low Dose Rate Low Linear Energy Transfer Radiation on Animals – Review of Recent Studies Relevant for Carcinogenesis. *International Journal of Radiation Biology*, vol. 97, no. 6. URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC9216178/pdf/nihms-1679116.pdf> (Pristupljeno 28. kolovoza 2023.).
66. Molinos, C., et al. (2019) Low-Dose Imaging in a New Preclinical Total-Body PET/CT Scanner. *Frontiers in Medicine*, vol. 6, no. 88. URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6509903/> (Pristupljeno 28. kolovoza 2023.).
67. Pinsky, P. F. (2014) Assessing the benefits and harms of low-dose computed tomography screening for lung cancer. *Lung Cancer Management*, vol. 3, no. 6. URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4662564/> (Pristupljeno 25. kolovoza 2023.).
68. Patz Jr, E. F., et al. (2014) Overdiagnosis in Low-Dose Computed Tomography Screening for Lung Cancer. *JAMA Intern Medicine*, vol. 174, no. 5. URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/24322569/> (Pristupljeno 26. kolovoza 2023.).
69. Bradley, S. H., Shinkins, B., Kennedy, M. (2021) What is the balance of benefits and harms for lung cancer screening with low-dose computed tomography?. *Journal of the Royal Society of Medicine*, vol. 114, no. 4. URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC8091370/> (Pristupljeno 25. kolovoza 2023.).

70. Dahal, S., Budoff, M. J. (2019) Low-dose ionizing radiation and cancer risk: not so easy to tell. *Quantitative Imaging in Medicine and Surgery*, vol. 9, no. 12. URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6942975/> (Pristupljeno 27. kolovoza 2023.).
71. Schultz, C. H., et al. (2020) The Risk of Cancer from CT Scans and Other Sources of Low-Dose Radiation: A Critical Appraisal of Methodologic Quality. *Prehospital and disaster medicine*, vol. 35, no. 1. URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32009606/> (Pristupljeno 26. kolovoza 2023.).
72. Rampinelli, C., et al. (2017) Exposure to low dose computed tomography for lung cancer screening and risk of cancer: secondary analysis of trial data and risk-benefit analysis. *BMJ (Clinical research ed.)*, vol. 356, no. 347. URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28179230/> (Pristupljeno 27. kolovoza 2023.).

7. ŽIVOTOPIS

Osobni podaci

Ime i prezime: Ivan Ćosić
Datum rođenja: 25.09.1989.
email: ivan.cosic.rtg@gmail.com

Obrazovanje

2018.-2023. Diplomski studij radiološke tehnologije, Sveučilišni odjel zdravstvenih studija Sveučilišta u Splitu
2009.-2012. Zdravstveno veleučilište Zagreb, smjer Radiološka tehnologija
2004.-2008. Medicinska škola Vinogradska, Zagreb

Radno iskustvo

7./2017.- Dom zdravlja Zagreb Istok
6./2015.-6./2017. Dentalni Rendgen (Dijagnostika Medi)
9./2013.-9./2014. Pripravnički staž, Dom zdravlja Zagreb Centar, Poliklinika 2000
2009.-2012. Stručna praksa u sklopu nastave, Kliničke bolnice grada Zagreba
2004.-2008. Stručna praksa u sklopu nastave KBC Sestre milosrdnice

Dodatne informacije

- poznavanje rada na računalu u MS Office-u
- poznavanje rada u MCS i ISSA sustavu
- poznavanje i aktivno korištenje u govoru i pisanju engleskog jezika
- vrlo dobro poznavanje hardver komponenti računala

8. POPIS I OBJAŠNENJE KORIŠTENIH KRATICA

CT – eng. Computed Tomography (kompjutorizirana tomografija)

LDCT-eng. Low Dose Computed Tomography (niskodozna CT tomografija)

CAT- eng. Computed Axial Tomography (CT aksijalna tomografija)

HU- eng. Hounsfield units (Hounsfieldove jedinice)

MSCT- eng. Multi Slice Computed Tomography (višeslojna CT tomografija)

MRI – eng. Magnetic Resonance Imaging (magnetska rezonanca)

UZV- eng. Ultrasound (ultrazvuk)

DSCT - eng. Dual Source Computed Tomography (CT s dva izvora zračenja)

SSCT - eng. Single Source Computed Tomography (CT s jednim izvorom zračenja)

CTDI – eng. CT Dose Index (CT dozni index)

DLP- eng. Dose Length Product (product duljine doze)

SSDE- eng. Size Specific Dose Estimate (Procjena doze specifična za veličinu tijela)

DNA- eng. Deoxyribonucleic Acid (deoksiribonukleinska kiselina)

ALARA- eng. As Low As Reasonably Achievable (najniže moguće a da je razumno prihvatljivo)

IRCP- eng. International Commission of Radiological Protection (Međunarodna komisija za radiološku zaštitu)

ICH- eng. Intracerebral Hemorrhage (intracerebralno krvarenje)

NLST- eng. National Lung Screening Trial (nacionalni skrining pluća)

BMI – eng. Body Mass Index (index tjelesne mase)

ULDCT- eng. Ultra Low Dose CT (CT ultra niskih doza)

ACR – eng. American College of Radiology

CBCT- eng. Cone Beam CT (cone-beam CT, x-zraka stožastog oblika)

CIRS- eng. Computerized Imaging Reference Systems (kompjutorizirani slikovni referentni sustav)

CTA- eng. Computed Tomography Angiography (CT angiografija)

LET- eng. Linear Energy Transfer (linearni prijenos energije)

PET- eng. Positron Emission Tomography (pozitronska emisijska tomografija)

9. PRILOZI

Slika 1. (a) Prvi CT uređaj EMI Mark I. (b) Slika skena prvog pacijenta na CT uređaju koja prikazuje cistični astrocitom

Izvor. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC8555965/>

Slika 2. Razlika SSCT lijevo i MSCT desno na slici

Izvor. <https://www.sciencedirect.com/topics/neuroscience/single-slice-computed-tomography>

Slika 3. Prikaz akrilnog cilindričnog fantom veličine 16 cm s ionizacijskom komorom oblika olovke u središnjem otvoru za mjerenje CTDI100.

Izvor. <https://pubs.rsna.org/doi/epdf/10.1148/rg.210107>

Slika 4. Prodornost alfa, beta i gama čestice

Izvor. <https://www.fond-nek.hr/radioaktivnost/>

Slika 5. Usporedba doza zračenja dijagnostičkih metoda i pozadinskih izvora zračenja

Izvor. https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2996147/pdf/mayoclinproc_85_12_011.pdf

Slika 6. Shematski prikaz učinaka ionizirajućeg zračenja. Njihovo djelovanje, odnos i pristup.

Izvor. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4100010/pdf/rro019.pdf>

Slika 7. Preporučene granične doze prema BSSu [Council of the European Union 1996]

Izvor. <https://hrcak.srce.hr/148773>

Slika 8. Popis doza koje pacijent primi tijekom CT pregleda. Usporedba s brojem ekspozicija klasičnim rendgenom koje bi rezultirale istom dozom.

Izvor. https://www.kbd.hr/wp-content/uploads/2022/11/EU-IPA_Inf-za-pacijente_Brosura.pdf

Slika 9. A- prikaz efektivne doze zračenja za različita tkiva tijekom snimanja glave.

B - diferencija tri najosjetljivija tkiva različitom strujom cijevi.

Izvor. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32214915/>

Slika 10. Usporedba kvalitete aksijalne snimke glave trogodišnjeg djeteta.

A-standardni CT, B-niskodozni CT, C-niskodozni CT s filterom

Izvor. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/23971634/>

Slika 11. Doze standardnog i ultra LDCT protokola studije Chi I suradnika.

Izvor. [https://www.clinicalradiologyonline.net/article/S0009-9260\(20\)30376-7/fulltext](https://www.clinicalradiologyonline.net/article/S0009-9260(20)30376-7/fulltext)

Slika 12. Postotak pozitivnih dijagnoza karcinoma pluća po stadijima bolesti NLTS izvješće.

Usporedba LDCT i standardne snimke srca i pluća.

Izvor. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4817217/pdf/nihms769581.pdf>

Slika 13. NELSON studija LDCT toraksa 68 godišnjeg pacijenta u razmaku od 3 mjeseca. a), b) nodus volumena 303 mm³ tijekom prvog pregleda, c) d)- nodus volumena 576 mm³. Kontrola nakon 3 mjeseca ukazuje na povećanje postotka rasta volumena od 90%. Histopatologija reseciranog nodusa ukazuje na planocelularni karcinom.

Izvor. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3266562/>

Slika 14. Usporedba doznih parametara standardnog CT protokola s LDCT I ULD protokola. Sustavni pregled literature raznih autora.

Izvor. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC10146316/pdf/life-13-00992.pdf>

Slika 15. Sumirani prikaz specijalnih dozimetrijskih veličina CT uređaja studije Moloney I suradnici. Usporedba rekonstruktivnog protokola standardnog i LDCT-a.

Izvor. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30448900/>

Slika 16. Osnovne karakteristike evaluiranih pacijenata u dijagnostici patologije bubrežnih kamenaca.

Izvor. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31663371/>

Slika 17. Usporedba kvalitete (a, c) standardnog CT i ULDC (b, d) protokola u dijagnostici fracture bez pomaka (a, b) ramena, (c, d) koljena.

Izvor. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/36882617/>

Slika 18. Usporedba doza i kvalitete snimke u dijagnostici kostiju zdjelice 4 različita pacijenta. (a-d) standardni CT, (e-h) ULDC s filtrom kositra. (a,e) 55 godišnji pacijent s frakturom

sakruma bez pomaka, (b,f) 38 godišnji pacijent s osteoartritisom, (c,g) 25 godišnja pacijentica s impigmentom kuka, (d,h) 30 godišnja pacijentica s osteomom

Izvor. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC8379132/>

Slika 19. Sažetak determinističkih učinaka po gestacijskoj dobi

Izvor. <https://www.acr.org/-/media/acr/files/practice-parameters/pregnant-pts.pdf>

Slika 20. Prikazuje sumaciju studije Adler-Levy i suradnika. LDCT protokol s dozom od 1.1 mSv potvrđuje patologiju bez značajnog gubitka kvalitete snimke.

Izvor. <https://www.ima.org.il/FilesUploadPublic/IMAJ/0/103/51918.pdf>

Slika 21. Parametri studije Sanderud i suradnika.

Izvor. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1078817415000954>

Slika 22. Usporedba A i B grupa u studiji Zhao i suradnici. omjer doza i apliciranog kontrasta.

Izvor. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6447913/>

Slika 23. LD protokol CTA pokazuje dostatnu dijagnostičku kvalitetu osim kod slike d) gdje je bolus praćenje disekcije aorte otežano

Izvor. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/35328228/>

Slika 24. CT dozni parametri korišteni u studiji Sakane i suradnici.

Izvor. <https://pubs.rsna.org/doi/epdf/10.1148/radiol.2020190389>

Slika 25. Odnos visoke i niske doze LET zračenja na ljudsku stanicu.

Izvor. <https://www.redjournal.org/action/showPdf?pii=S0360-3016%2811%2903330-X>

Slika 26. Uređaj PET/CT Si78

Izvor. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6509903/>

Slika 27. Iznad su prikazana četiri sagitalna prikaza miša s protokolima smanjenja doza

Izvor. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6509903/>

Slika 28. Kriteriji koji su bili uključeni i isključeni iz ove studije

Izvor. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32009606/>