

# Doza zračenja i protokoli snimanja za CT pluća kod COVID pozitivnih pacijenata

---

Šunjić, Borna

Master's thesis / Diplomski rad

2021

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:176:526840>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-31**

Repository / Repozitorij:



Sveučilišni odjel zdravstvenih studija  
SVEUČILIŠTE U SPLITU

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



zir.nsk.hr



UNIVERSITY OF SPLIT



DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJI

SVEUČILIŠTE U SPLITU

Podružnica

SVEUČILIŠNI ODJEL ZDRAVSTVENIH STUDIJA

DIPLOMSKI SVEUČILIŠNI STUDIJ

RADIOLOŠKA TEHNOLOGIJA

**BORNA ŠUNJIĆ**

**DOZA ZRAČENJA I PROTOKOLI SNIMANJA ZA CT PLUĆA  
KOD COVID POZITIVNIH PACIJENATA**

**DIPLOMSKI RAD**

Split, 2021.

SVEUČILIŠTE U SPLITU

Podružnica

SVEUČILIŠNI ODJEL ZDRAVSTVENIH STUDIJA

DIPLOMSKI SVEUČILIŠNI STUDIJ

RADIOLOŠKA TEHNOLOGIJA

**BORNA ŠUNJIĆ**

**DOZA ZRAČENJA I PROTOKOLI SNIMANJA ZA CT PLUĆA  
KOD COVID POZITIVNIH PACIJENATA**

**DOSE RADIATION AND CHEST CT PROTOCOLS FOR  
COVID POSITIVE PATIENTS**

**Diplomski rad/Master's Thesis**

Mentor:

**Doc. dr. sc. Frane Mihanović**

Split, 2021.

# SADRŽAJ

SAŽETAK .....	I
SUMMARY .....	II
1. UVOD .....	1
2. CILJ RADA .....	2
3. IZVORI PODATAKA I METODE .....	3
4. RASPRAVA .....	4
4.1 POVIJESNI RAZVOJ CT-A .....	4
4.1.1 DOZIMetriJA .....	6
4.1.2 KORONAVIRUS I COVID-19 .....	9
4.1.2.1. Epidemiološki podatci .....	9
4.1.2.2. Simptomi i širenje .....	9
4.1.2.3. Dijagnoza i liječenje .....	11
4.1.3 CT PLUĆA KOD COVID POZITIVNIH PACIJENATA .....	13
4.1.3.1 Preporuke i smjernice za korištenje CT-a kod Covid pozitivnih pacijenata....	13
4.1.3.2. Prikaz Covid-19 na CT-u pluća .....	16
4.1.3.3. Preporučeni tehnički parametri i protokoli snimanja za CT pluća kod Covid pozitivnih pacijenata .....	17
4.1.3.4 Provođenje snimanja i načini zaštite od virusa za radiološke tehnologe .....	24
4.1.3.5. Optimizacija zračenja za CT pluća kod Covid pozitivnih pacijenata .....	27
4.1.3.6. Rizik od nastanka raka uvjetovan CT-om pluća kod Covid pacijenata .....	31
4.1.3.7. Umjetna inteligencija kod CT-a pluća za Covid-19 pacijente .....	36
4.1.3.8. Njemačka studija vezana za optimizaciju doze zračenja kod CT protokola pluća za Covid-19 pacijente .....	42
4.1.3.9. Internacionalna studija vezana za varijacije u upotrebi CT-a, protokolima i dozama zračenja kod upale pluća COVID-19 .....	46

5.	ZAKLJUČAK.....	54
6.	POPIS KRATICA.....	55
7.	LITERATURA .....	56
8.	ŽIVOTOPIS.....	59

## TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

DIPLOMSKI RAD

Sveučilište u Splitu  
Sveučilišni odjel zdravstvenih studija  
Radiološka tehnologija

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

**Mentor:** Doc. dr. sc. Frane Mihanović

### DOZA ZRAČENJA I PROTOKOLI SNIMANJA ZA CT PLUĆA KOD COVID POZITIVNIH PACIJENATA

Borna Šunjić, 661358

#### SAŽETAK

Globalna pandemija koronavirusa 2019 (COVID-19) preokrenula je svijet s preko 170 milijuna infekcija i preko 3,5 milijuna smrtnih slučajeva diljem svijeta. Poželjna metoda za dijagnozu infekcije COVID-19 je analiza lančane reakcije polimeraze s obrnutom transkripcijom (RT-PCR test). Međutim, CT pluća često se koristi u pozitivnih bolesnika ili onih u kojih postoji sumnja na COVID-19 zbog regionalnih preferencija, nedostatka dostupnosti PCR testova i lažno negativnih PCR testova, kao i za praćenje napredovanja bolesti, komplikacija i odgovora na liječenje. Budući da CT koristi ionizirajuće zračenje i predstavlja glavni uzrok izloženosti radijaciji iz dijagnostičkih medicinskih postupaka snimanja opće populacije, razvoj protokola snimanja CT-a niskih doza za Covid pacijente vrlo je poželjan.

U ovom radu sustavnim pregledom literature htjeli smo prikazati koji bi tehnički parametri bili poželjni pri snimanju CT-a pluća kod COVID-19 pacijenata, kako bi doza zračenja bila što niža uz dovoljnu dijagnostičku vrijednost provedenog pregleda. Analizirat će se i međunarodne varijacije u korištenju različitih CT protokola te načini zaštite radioloških tehnologa od samog virusa.

Iako je vrlo aktualna i zdravstveno gledajući potrebna, metoda CT-a kod Covid pozitivnih pacijenata nema jasne i ustaljene protokole za njenu provedbu. Većina studija vezana za provedbu CT-a kod sumnje ili poznate upale pluća zbog Covid-19 bolesti izvještava o jednofaznom protokolu koji ne zahtijeva apliciranje kontrasta niti post-kontrastne serije. Ne postoje određene preporučene ili ciljane doze zračenja u bolesnika s upalom pluća COVID-19, ali kada je dijagnostička procjena ograničena na plućni parenhim, preporučuje se CTDI<sub>vol</sub> manji od 3 mGy, kao i za niskodozni CT prsnog koša kod probira raka pluća.

**Ključne riječi:** Covid-19, CT protokoli, doza zračenja

**Rad sadrži:** 60 stranica, 23 slike, 26 literaturnih referenci

**Jezik izvornika:** hrvatski

## BASIC DOCUMENTATION CARD

## MASTER THESIS

**University of Split**  
**University Department for Health Studies**  
**Radiological technology**

**Scientific area:** Biomedicine and health care  
**Scientific field:** Clinical medical sciences

**Supervisor:** Doc. dr. sc. Frane Mihanović

### DOSE RADIATION AND CHEST CT PROTOCOLS FOR COVID POSITIVE PATIENTS

Borna Šunjić, 661358

#### SUMMARY

The global coronavirus pandemic 2019 (COVID-19) turned the world upside down with over 170 million infections and over 3.5 million deaths worldwide. A preferred method for the diagnosis of COVID-19 infection is reverse transcription polymerase chain reaction analysis (RT-PCR test). However, chest CT is often used in positive or suspected COVID-19 patients due to regional preferences, lack of availability of PCR tests and false-negative PCR tests, and to monitor disease progression, complications, and treatment responses. Because CT uses ionizing radiation and is a major cause of radiation exposure from diagnostic medical imaging procedures of the general population, the development of low-dose CT imaging protocols for Covid patients is highly desirable.

In this paper we wanted to show, using systematic review of the literature, which technical parameters would be desirable when recording chest CT in COVID-19 patients, so that the radiation dose is as low as possible providing sufficient diagnostic value of the examination. International variations in the use of different CT protocols and ways to protect radiological technologists from the virus itself will also be analyzed.

Although currently very active and medically necessary, the CT method in Covid-positive patients does not have clear and established protocols for its implementation. Most studies related to the implementation of CT in suspected or known pneumonia due to Covid-19 disease report a single-phase protocol that does not require the application of contrast or post-contrast series. There are no specific recommended or targeted radiation doses in patients with COVID-19 pneumonia, but when diagnostic evaluation is limited to the lung parenchyma, CTDIvol less than 3 mGy is recommended, as well as for low-dose chest CT in lung cancer screening.

**Keywords:** Covid-19, CT protocols, radiation dose

**Thesis contains:** 60 pages, 23 figures, 26 references

**Original in:** Croatian

# 1. UVOD

Epidemija COVID-19 započela je iz kineskog grada Wuhana potkraj prosinca 2019. godine i od tada se brzo širila diljem svijeta, uključujući i Hrvatsku. WHO (eng. *World Health Organization*) je izbijanje COVID-19 proglasio pandemijom 11. ožujka 2020. godine. Prvi slučaj COVID-19 u Hrvatskoj opisan je 25. veljače 2020. godine, a do sredine travnja 2021. godine zarazilo se 310 306, oporavilo 289 664, a umrlo 6 643 osoba. Brojke zvuče još strašnije na globalnoj razini, budući da je od COVID-19 u svijetu preminulo preko 3ipo milijuna osoba.

Zbog velikog i naglog broja zaraženih osoba, postala je očita potreba za pouzdanim i pristupačnim načinima testiranja na COVID-19. RT-PCR test je još uvijek najčešće korištena metoda za dijagnosticiranje ove bolesti, ali njegove mane su niska osjetljivost (oko 60%), vrijeme za dobivanje rezultata (24h) te povremeni nedostatak samih kompleta testova zbog prevelike globalne potražnje. Zbog svih prije navedenih nedostataka PCR testova CT se počeo koristiti kako u dijagnosticiranju tako i u praćenju napredovanja bolesti, komplikacijama i odgovorima na liječenje.

Sve veći trend primjene CT skeniranja prsnog koša tijekom pandemije COVID-19 izaziva zabrinutost zbog opterećenja stanovništva zračenjem, kako kod pacijenata, tako i kod zdravstvenih radnika. Isti taj trend zahtijeva nove protokole sa smanjenom dozom, ali uz održanu dijagnostičku točnost. U ovom radu će se pokušati prikazati koji bi se tehnički parametri trebali primjenjivati, kako optimizirati dozu zračenja za pacijente i kako zaštititi radiološke tehnologije od samog virusa.



## **2. CILJ RADA**

Svrha ovog diplomskog rada bila je pregledati trenutno dostupnu literaturu koja se odnosi na protokole snimanja i optimizaciju doze zračenja na CT-u za Covid-19 pozitivne pacijente. Prikazati koji su se protokoli pokazali dijagnostički korisnima uz najmanje količine zračenja za pacijente. Zatim, procijeniti međunarodne varijacije u korištenju CT-a, te odgovoriti na pitanje treba li ga se koristiti kao primarni alat za dijagnozu ili kao pomoćno sredstvo pri komplikacijama bolesti. Budući da je radiološki tehnolog aktivni sudionik u provođenju protokola na CT-u, cilj rada je bio i prikazati radiološkim tehnologima kako izvesti CT pluća kod Covid-19 pacijenata uz odgovarajuća zaštitna sredstva i sa što manjom mogućnošću širenja zaraze.

### **3. IZVORI PODATAKA I METODE**

Ovaj rad je napisan kao sustavni pregled dostupne literature, koja povezuje tehničke aspekte snimanja kompjutoriziranom tomografijom (CT) i optimizaciju doze zračenja kod Covid-19 pacijenata. U literaturu su uključena istraživanja i studije objavljene u medicinskim bazama podataka PubMed, Scopus, Ovid i Web of Science. Budući da je riječ o relativno novoj temi, vremenski raspon objavljenih članaka je od prosinca 2019. do 2021. godine.

## 4. RASPRAVA

### 4.1 POVIJESNI RAZVOJ CT-A

Do nastanka nove grane medicine, zvanom radiologija, dolazi 1895.g. kada Wilhelm Conrad Rontgen otkriva novu vrstu elektromagnetskog zračenja. Primjećujući da su zrake nevidljive, da imaju sposobnost prolaska kroz različitu materiju te da mogu izazvati fluorescenciju naziva ih X zrakama. Budući da je konvencionalna radiografija imala mogućnost samo dvodimenzionalnog prikaza dijela tijela kroz koji je prošao snop zračenja, tražio se način kako prikazati strukture koje su inače superponirane na klasičnim rendgenskim snimkama. Metoda koja je to prva uspjela napraviti bila je kompjutorizirana tomografija (CT). CT je dijagnostička radiološka digitalna metoda pregleda koja vrši višestruka rendgenska mjerenja snimljena iz različitih kutova. Ona se zatim obrađuju na računalu pomoću algoritama za rekonstrukciju kako bi se proizvele tomografske (presječne) slike (virtualne "kriške") tijela.

1917.godine austrijski fizičar i matematičar Radon proučavajući teoriju gravitacije zaključuje da je svako dvodimenzionalno ili trodimenzionalno tijelo moguće rekonstruirati iz velikog broja njegovih projekcija, te time postavlja temelje CT-a. Znanstvenici su 1946. godine u Japanu konstruirali rendgenski aparat za rotacijsku tomografiju, koju su nazvali rotografija. Rotografija je funkcionirala na slijedeći način: pacijent je u ležećem položaju na stolu za snimanje, s jedne strane nalazila se rendgenska cijev, a s druge strane pacijenta rendgenski film u kazeti koji su se paralelno rotirali oko pacijenta praveći polukrug (od 0° za 230° ) tijekom cijele ekspozicije. Nakon pojave kompjutera ovaj princip snimanja postaje idejna osnova za kompjutoriziranu tomografiju (CT).

*William Oldendorf* je bio američki neurolog zainteresiran za *neuroimaging* zbog odbojnosti prema tadašnjim invazivnim metodama u neurologiji (pneumoencefalografija). Od 1959. do 1961. godine u laboratorijskim uvjetima radi eksperimente na fantomu glave – postavio je princip da se nakon skeniranja glave rtg zrakama može rekonstruirati gustoća slojeva u glavi. *Oldendorf* je 1961. godine na osnovu svojih eksperimenata ukazao na mogućnost mjerenja apsorpcije zračenja u poprečnom presjeku tijela pomoću uskog snopa rtg zraka, ali je to bilo vrlo teško izračunati.

*Allan MacLeod Cormack*, fizičar, naturalizirani Amerikanac, porijeklom iz Južne Afrike se, ne znajući, nastavlja na Oldendorfov rad. Godine 1956. uočava probleme koji se javljaju pri planiranju radioterapije zbog nejednolike gustoće tkiva i slijedećih šest godina radi

na matematičkim modelima kojima bi se ti problemi prevladali. Njegovi radovi s početka šezdesetih godina u to vrijeme ostaju bez ikakvog odjeka. *Cormack* je 1963. i 1964 g. objavio dva rada o svojoj teoriji kompjutorizirane tomografije u *Journal of Applied Physics*. Predstavio je ideju da se x-zrake mogu upotrijebiti i usmjeriti pod različitim kutovima na mozak ili tijelo i htio je programirati kompjuter da bi se dobile 3 D slike.

Pedesetih je godina *Godfrey Newbold Hounsfield*, elektroničar zaposlen u firmi EMI radio na radarskoj tehnologiji i razvoju kompjutora. Tijekom rada došao je do zaključka da se nakon prolaska rendgenskih zraka kroz određeni objekt iz mnogo smjerova, te mjerenja apsorpcije zračenja može rekonstruirati unutarnja struktura objekta. Hounsfield se poslužio razrađenim matematičkim modelima i teoretskim osnovama, uz primjerene kompjutore i zadovoljavajuće rtg cijevi i nakon dugog rada i pokusa na laboratorijskim uređajima stvorio je prvi praktično upotrebljiv uređaj za kompjutoriziranu tomografiju.

Prvi uređaj za kompjutoriziranu tomografiju glave *EMI-Mark I* postavljen je 1971 g. u maloj bolnici Atkinson Morley Hospital u Wimbledonu kod Londona. Prvi CT aparat bio je isključivo za glavu. Na tom uređaju je dr. *J. Ambrose* 1972. godine učinio prvi CT pregled glave. 1972 g. su *Hounsfield* i *Ambrose* prezentirali prvi rad o CT- u Britanskom udruženju radiologa.

1979 g. *Allan M. Cormack* i *Godfrey N. Hounsfield* zajedno su dobili Nobelovu nagradu za medicinu i fiziologiju „za otkriće kompjuterski asistiranu tomografije, revolucionarne radiološke metode osobito u istraživanju bolesti nervnog sistema“. To je prva nagrada za klinički primjenjivo otkriće od nagrade Flemingu za otkriće penicilina.

Uređaji za kompjutoriziranu tomografiju stalno se tehnički usavršavaju i pri tome se bilježe dva kvalitativna pomaka – između 1982. i 1985. *Pechmann* i *Boyd* rade na uređaju koji umjesto rtg cijevi koristi akcelerator elektrona, a 1990. godine pojavljuje se prvi spiralni CT uređaj.

Posljedica velikog kliničkog i poslovnog interesa je brzi razvoj CT uređaja. Ekspozicija sloja na uređaju *EMI-Mark I* 1972 g. trajala je 4,5 minute. Prvi CT uređaj za snimanje cijelog tijela pojavljuje se 1974. godine sa ekspozicijom sloja od 2,5 minute. Već 1975. godine uređaj EMI 5000 ima ekspoziciju sloja od 18 sekundi. Danas trajanje jedne ekspozicije traje manje od jedne sekunde.

Postoje dva načina snimanja CT uređajima; sekvencijalno i spiralno. Sekvencijalnim snimanjem vršimo mjerenje slojeva za kutove od 360°, 180° (1. i 2. generacija uređaja) i 240° (3. generacija uređaja). Nakon što se određeni presjek snimi, potrebno je namjestiti pacijenta u novi položaj. Mana ovog tipa snimanja je što vrijeme ekspozicije traje relativno dugo (do 10 minuta). Također kao nedostatak može se istaknuti i loša kvaliteta 3D slike dobivena sekvencijalnim načinom snimanja. Ovaj postupak zamijenilo je spiralno snimanje (1).

Spiralni ili helikoidalni CT uređaji doveli su do poboljšanja tradicionalnih CT uređaja omogućujući skeniranje cijelog tijela bez pauze između snimanja pojedinih slojeva. Ta promjena omogućila je reduciranje vremena ekspozicije. Za vrijeme snimanja, osoba ostaje nepomična dok rendgenska cijev i detektor kontinuirano rotiraju oko pacijenta. Za razliku od tradicionalnih CT uređaja, spiralni uređaji su omogućili snimanje organa s fiziološkim pokretima u 3D prikazu. Parametri poput debljine presjeka snopa, smjera i brzine kretanja stola na kojem se nalazi pacijent određuju se neovisno jedno o drugome. Odnos kretanja stola i debljine presjeka naziva se *pitch* i računa prema formuli  $p = d/S$  gdje je  $d$  udaljenost koju stol prijeđe po jednoj rotaciji, a  $S$  debljina snimljenih presjeka. Spiralna snimanja dovela su do smanjenja vremena ekspozicije u odnosu na konvencionalna snimanja (1).

#### 4.1.1 DOZIMETRIJA

U dozimetriji se koriste različite veličine koje opisuju ozračenje pacijenata: apsorbirana doza, ekvivalentna i efektivna doza (2).

**Apsorbirana doza** - Apsorbirana doza pokazuje koliko je zračenja primila, tj. apsorbirala, tvar na koju je to zračenje djelovalo, npr. količina energije zračenja koja je ostala u organu ili tkivu. Mjerna jedinica apsorbirane doze je Gray (J/kg). Kakav utjecaj ima zračenje na pojedini dio tijela nije moguće prikazati pomoću apsorbirane doze (2).

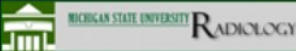
**Ekvivalentna doza** – Budući da apsorbirana doza ne prikazuje dovoljno dobro štetni učinak zračenja na neki organizam, uvedena je tzv. ekvivalentna doza. Ekvivalentnom dozom prikazujemo kakvo zračenje djeluje na neki organizam, jer svako zračenje na njega neće djelovati istom mjerom. Mjerna jedinica za ekvivalentnu dozu je Sivert, Sv (2).

**Efektivna doza** – Različiti dijelovi tijela različito odgovaraju na zračenje. Dok će za neke dijelove zračenje biti štetnije, za neke će biti manje. Taj odnos prikazuje tzv. efektivna doza. Ona se odnosi na pojedina tkiva, te predstavlja zbroj svih ekvivalentnih doza pomnoženih

s težinskim faktorom pojedinog organa, tkiva. Predstavlja stohastički zdravstveni rizik. Mjerna jedinica za efektivnu dozu je Sivert, Sv, kao i kod ekvivalentne doze (Slika 1) (2).

## FDA Dose comparisons

Type of examination	Dose (mSv)	Number of Chest X- rays (PA film) for Equivalent Effective Dose <sup>2</sup>	Equivalent days exposure to natural background exposure
Chest x ray (PA film)	0.02	1	2.4 days
Skull x ray	0.07	4	8.5 days
Lumbar spine	1.3	65	158 days
I.V. urogram	2.5	125	304 days
Upper G.I. exam	3	150	1.0 year
Barium enema	7	350	2.3 years
CT head	2	100	243 days
CT abdomen	10	500	3.3 years



Slika 1. Odnos prosječne efektivne doze pojedinih dijagnostičkih pregleda s prosječnom konvencionalnom PA snimkom pluća i prirodnim pozadinskim zračenjem

Izvor: <https://slideplayer.com/slide/4717147/>

### Specijalne radiološke veličine za CT:

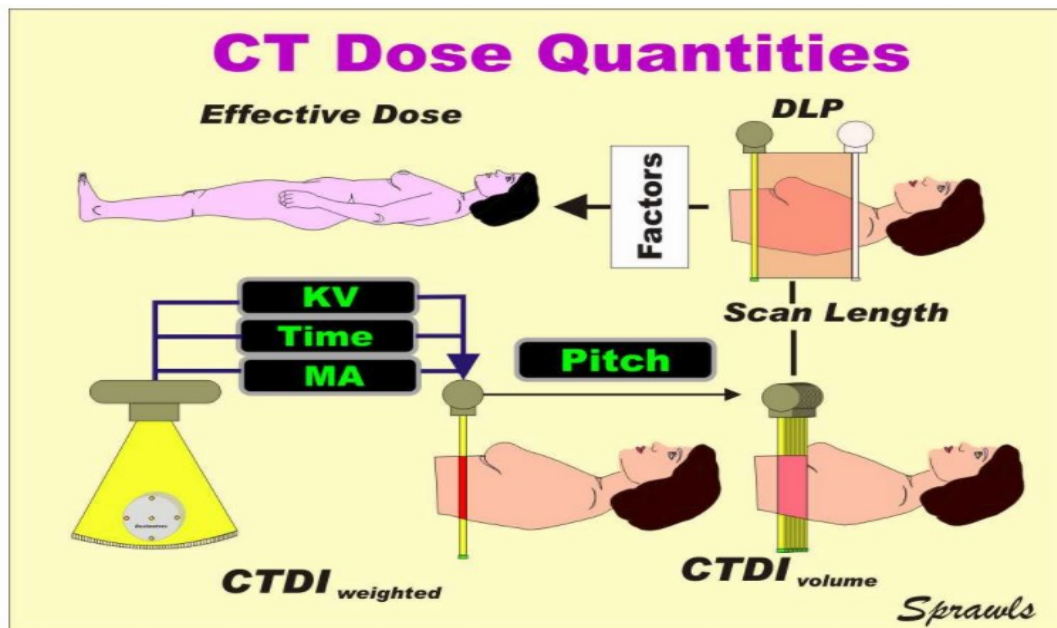
**CT Dozni indeks CTDI** (eng. *CT dose index*) – je standardizirana mjera izlazne doze zračenja u CT-u. CTDI predstavlja prosječnu apsorbiranu dozu iz niza uzastopnih ozračivanja duž z-osi. Mjerna jedinica je miligray (mGy). Za procjenu doze zračenja za specifičan protokol snimanja, koji najčešće uključuje niz snimanja, potrebno je uračunati sva preklapanja i preskakanja između rendgenskih zraka nastalih uzastopnim rotacijama rendgenske cijevi (3). To se rješava uvođenjem veličine za opis doze zračenja koja se naziva volumni CTDIw (CTDIvol) (2). Budući da CTDIvol ne ovisi o dužini snimanja, on ne pokazuje koliko je energije predano u određeno polje snimanja (3).

**Produkt duljine doze DLP** (eng. *Dose-length product*) - DLP prikazuje svu apsorbiranu energiju koja se može pripisati cjelokupnom radiološkom snimanju, a izračunava se množenjem apsorbirane doze s dužinom snimanja pa formula glasi  $DLP \text{ (mGycm)} = CTDI_{vol} \text{ (mGy)} \times \text{dužina snimanja (cm)}$  (Slika 2) (3).

**Procjena doze specifična za veličinu tijela SSDE** (eng. *size-specific dose estimate*) - je doza zračenja koju dobivamo iz CTDI-a, ali ispravljena za veličinu pacijenta tj. veličinu snimanog područja, a najčešće se koriste linearne dimenzije pacijenta izmjerene na samom pacijentu ili na njegovim snimkama. Budući da pomoću SSDE-a, za razliku od CTDI-a i DLP-a, osim proizvedenog zračenja uređaja uračunavamo i parametre koji su specifični za pacijenta poput njegove dimenzije, možemo zaključiti da je bolji u individualnoj procjeni rizika od zračenja (3).

Problemi koji nastaju na CT pregledima, a vezani su za zračenje:

- Doze zračenja su relativno visoke
- Broj i vrsta pretraga je u stalnom rastu
- Postavlja se pitanje kliničke opravdanosti pretraga
- Učestalost ponovljenih pretraga
- Doze pri CT pretragama se nisu smanjivale s vremenom kao u konvencionalnoj radiografiji



Slika 2. Specifične radiološke veličine za CT i njihov međudnos

Izvor: <https://ctscanmachines.blogspot.com/2018/10/ctdi-ct-scan.html>

## 4.1.2 KORONAVIRUS I COVID-19

Govoreći o koronavirusu govorimo o skupini već odavno poznatih virusa koji većinom uzrokuju običnu prehladu. Prvi put su opisani već u šezdesetim godinama prošlog stoljeća, a znaju biti vrlo rasprostranjeni po cijelom svijetu. Naziv su dobili prema riječi corona (na latinskom znači kruna) zbog svog karakterističnog izgleda poput krune, uslijed stršenja batićastih nastavaka izvan virusne ovojnice koji su vidljivi pod elektronskim mikroskopom.

Ipak, u ovom stoljeću su otkriveni koronavirusi koji mogu izazvati ozbiljnije upale donjeg dijela dišnog sustava (pneumonije i bronholitise) te u određenom postotku slučajeva dovesti i do smrtonosnog ishoda. Tako se 2002. godine pojavio SARS (*severe acute respiratory syndrome*) koronavirus sa smrtnošću od oko 10 %, a 2012. godine MERS (*Middle East respiratory syndrome coronavirus*) koronavirus s još ozbiljnijom smrtnošću od oko 37 %. S jednim novim smo upravo i suočeni, službenog naziva **SARS-CoV-2 (COVID-19)**, te prethodno radnog naziva 2019-nCoV, „novi koronavirus“ ili „wuhanski koronavirus“. S obzirom da oba ova virusa spadaju u podskupinu betakoronavirusa, kao i SARS-CoV-2 (koji između ostalog dijeli 80 % genetske podudarnost s inicijalnim SARS koronavirusom, što opravdava službeni naziv virusa), početni strah u suočavanju s novom epidemijom nije bez temelja (4).

### 4.1.2.1. Epidemiološki podatci

Epidemija COVID-19 započela je iz kineskog grada Wuhana potkraj prosinca 2019. godine i od tada se brzo širila na Tajland, Japan, Južnu Koreju, Singapur i Iran u početnim mjesecima. Nakon toga uslijedilo je širenje virusa diljem svijeta, uključujući i Hrvatsku. WHO (eng. *World Health Organization*) je izbijanje COVID-19 proglasio pandemijom 11. ožujka 2020. godine. Prvi slučaj COVID-19 u Hrvatskoj opisan je 25. veljače 2020. godine, a do sredine travnja 2021. godine zarazilo se 310 306, oporavilo 289 664, a umrlo 6 643 osoba. Brojke zvuče još strašnije na globalnoj razini, budući da je od COVID-19 u svijetu preminulo preko 3 milijuna osoba (5).

### 4.1.2.2. Simptomi i širenje

Simptomi koji se mogu pojaviti kod osoba oboljelih od COVID-19 su:

- Povišena tjelesna temperatura
- Iscrpljenost
- Suhi kašalj



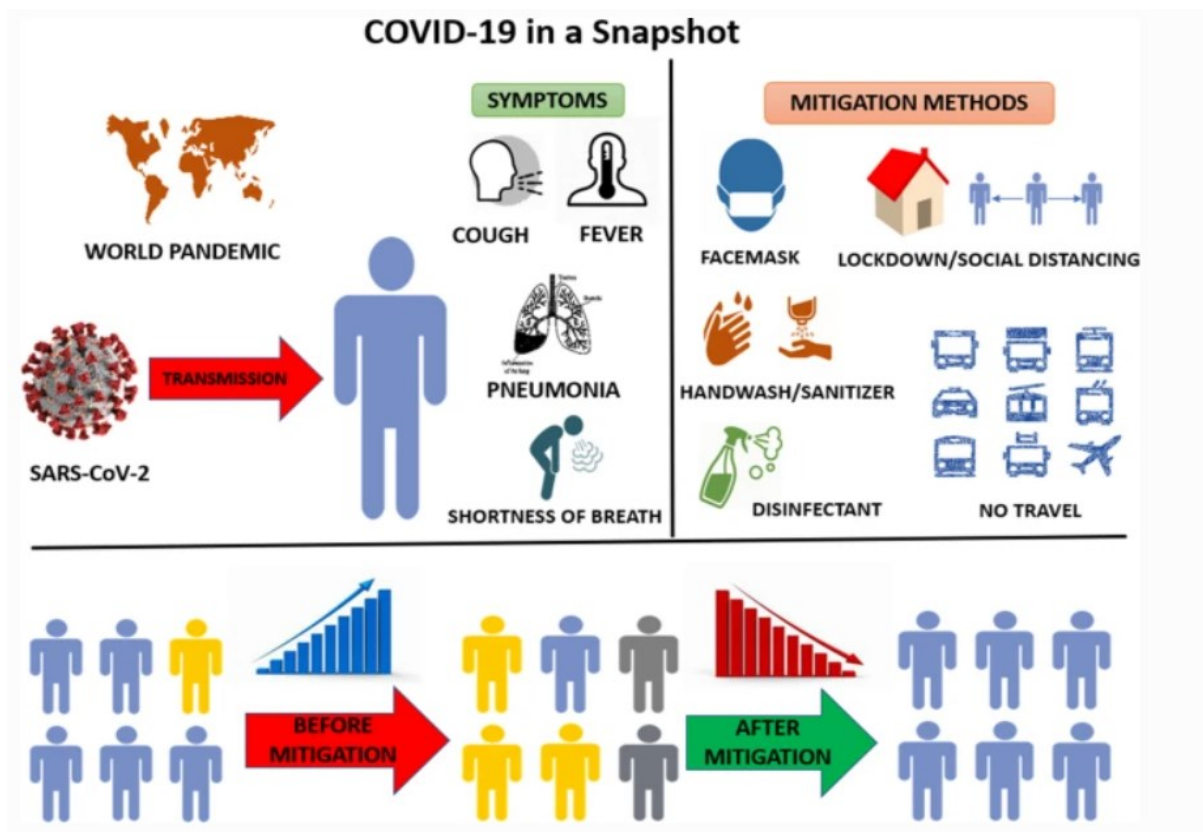
- Otežano disanje
- Gubitak osjeta okusa i mirisa
- Teška upala pluća
- Zatajenje bubrega
- Sindrom akutnog otežanog disanja
- Sepsa – septički šok – smrt

Općenito starije osobe i osobe s kroničnim bolestima (poput povišenog tlaka, srčanih bolesti, dijabetesa, bolesti jetre i bolesti dišnih puteva) imaju veći rizik razvoja težih simptoma zaraznih bolesti (5).

Početak zaraze ovim virusom povezujemo sa životinjama, točnije šišmišima. Istraživanja su pokazala kako SARS-CoV-2 ima 96% identičan genom kao bliski koronavirus šišmiša, što predstavlja vjerojatni životinjski rezervoar ove infekcije. Iako je krenulo od životinja, prijenos infekcije nastavio se s čovjeka na čovjeka. Prijenos COVID-19 može se dogoditi i od simptomatskih i od asimptomatskih bolesnika. Vjeruje se da asimptomatski bolesnici nose sličnu količinu virusa kao i simptomatski (6).

Virus se uglavnom prenosi kapljičnim putem pri kihanju i kašljanju, kao i indirektno putem kontaminiranih ruku izlučevinama oboljele osobe s obzirom da virus može preživjeti nekoliko sati na površinama kao što su stolovi i ručke na vratima, a nekoliko dana na materijalima kao što su karton, nehrđajući čelik, plastika, obrađeno drvo, staklo i novčanice (6).

Veoma je bitno poduzimati različite mjere kako bi spriječili nastavak širenja virusa kao što su nošenje zaštitnih maski, socijalno distanciranje, pranje ruku i održavanje higijene (Slika 3).



Slika 3. Prijenos simptoma COVID-19, usvojene mjere ublažavanja i utjecaj na populaciju

Izvor: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10668-020-00884-x>

#### 4.1.2.3. Dijagnoza i liječenje

Zbog velikog i naglog broja zaraženih osoba, postala je očita potreba za pouzdanim i pristupačnim načinima testiranja na COVID-19. Dvije vrste testa su najčešće u upotrebi.

- PCR (*polymerise chain reaction*) – molekularna dijagnostička tehnika koja se temelji na dokazivanju prisustva virusne RNA molekule. Potvrđuje zaraženost neke osobe, ali ne može reći je li tijelo pokrenulo imunološki odgovor i postoje li protutijela na virus. Ova je tehnika trenutno preferirana za otkrivanje SARS-CoV-2 jer je u stanju otkriti virusne RNA u izuzetno niskim koncentracijama u ljudskoj plazmi. Zahtijevaju veći angažman zdravstvenih djelatnika, a u nekoliko faza između uzimanja uzorka i analize mogu se dogoditi pogreške. Iako ova tehnika može otkriti SARS-CoV-2, može generirati lažno pozitivne i lažno negativne rezultate (7).

- Serološki testovi – uzorkovanje krvi temelji se na otkrivanju protutijela u organizmu. Budući da su istraživanja pokazala da se protutijela razvijaju najčešće između 7 – 11 dana od zaraze serološki testovi nisu od velike pomoći za dobivanje informacije tko je sve zaražen u realnom vremenu, no daju podatak tko je bio zaražen i tko je imun na virus, što je važna informacija za definiranje u kojoj je mjeri određena populacija imuna na virus (7).
- CT prsnog koša - Nalazi CT-a prsnog koša preporučuju se kao glavni dokaz za kliničku dijagnozu bolesti zaraženih SARS-CoV-2, a utvrđeno je da je to ključni klinički nalaz za otkrivanje bolesti u ranoj fazi. Štoviše, zbog vjerojatnosti lažno negativnog rezultata RT-PCR, Nacionalno zdravstveno povjerenstvo Narodne Republike Kine potaklo je dijagnozu da se oslanja samo na CT prsnog koša. Neki slučajevi asimptomatske infekcije otkriveni su na temelju abnormalnih plućnih nalaza na CT snimanju, što podrazumijeva da CT prsnog koša treba primijeniti kod asimptomatskih visoko rizičnih osoba s poviješću izloženosti pacijentima sa SARS-CoV-2 upalom radi pojednostavljenja početne identifikacije bolesti. Znanstvenici su također predložili da se CT snimanje može primijeniti kao primarni alat za provjeru SARS-CoV-2. Štoviše, CT snimke igraju ključnu ulogu u razlikovanju upale pluća SARS-CoV-2 od ostalih bolesti dišnog sustava koje pokazuju slične kliničke znakove i simptome, pa se stoga mogu primijeniti kao primarni alat za provjeru SARS-CoV-2 (7).

Upravljanje i liječenje SARS-CoV-2 izuzetno je izazovno zbog asimptomatskih oblika i visoke zaraznosti virusa te nedostatka učinkovitih lijekova i premalog broja cjepiva. Ovisno o kliničkoj slici bolesnici bi trebali kontaktirati prvo svog doktora obiteljske medicine, a ukoliko je potrebno onda se javiti i na bolničko liječenje. Trenutno se u Hrvatskoj vrši procjepljivanje populacije trima vrstama cjepiva: Pfizer, Moderna i AstraZeneca. Cilj cijepjenja je što prije postići imunitet krda i zaustaviti daljnje širenje zaraze ovim virusom.

### 4.1.3 CT PLUĆA KOD COVID POZITIVNIH PACIJENATA

#### 4.1.3.1 Preporuke i smjernice za korištenje CT-a kod Covid pozitivnih pacijenata

Kliničko dijagnostičko ispitivanje igra ključnu ulogu u kliničkoj njezi bolesnika s zaraznim bolestima. To uključuje otkrivanje specifičnih patogena i praćenje stanja bolesnika, odlučnu terapiju, mjerenje prognoze, upravljanje i nadzor bolesti. Razne laboratorijske tehnike korištene su za potvrđivanje prisutnosti ili odsutnosti virusa, kao i za utvrđivanje njegove težine. Te tehnike uključuju metode molekularnog ispitivanja koje otkrivaju virusne RNA, poput lančane reakcije polimeraze u stvarnom vremenu (RT-PCR) i serološke metode ispitivanja za otkrivanje antitijela na SARS-CoV-2, poput imunofluorescentnog ispitivanja (IFA) (7).

Kao i svi postupci mjerenja, dijagnostički je test opterećen pogreškama mjerenja, koje dovode do lažno pozitivnih rezultata (tj. zdravim ljudima biva pridružena medicinska dijagnoza) te lažno negativnih rezultata (tj. bolesni ljudi nisu dijagnosticirani). Da bismo procijenili učinkovitost novog testa, možemo koristiti nekoliko mjera učinka. Najčešće se rezultati dijagnostičkih testova opisuju pomoću slijedeće dvije mjere učinka: 1. Osjetljivost (engl. *sensitivity*) testa je udio bolesnih osoba koje je test pravilno prepoznao kao “pozitivne” (tj. imaju bolest). 2. Specifičnost (engl. *specificity*) testa je udio zdravih ispitanika koji su pravilno prepoznati kao “negativni” (tj. nemaju bolest).

Iako RT-PCR testovi imaju visoku specifičnost, njihova osjetljivost ovisi o kvaliteti i sadržaju izvornog uzorka. Studije sugeriraju da su uzorci nazofarinksa (osjetljivost 70%) osjetljiviji od brisa orofaringea (osjetljivost 60%) za otkrivanje infekcije COVID-19. Iako su uzorci ispljuvka zabilježili pozitivne stope od 75–90%, manje od jedne trećine bolesnika stvara ispljuvak (8). U nekim slučajevima RT-PCR testovi daju lažno negativne rezultate, što znači da pacijente koji imaju Covid-19 prikazuje kao zdrave pojedince. Razlozi za lažno negativne rezultate RT-PCR mogu uključivati nedovoljno staničnog materijala za otkrivanje i nepravilnu ekstrakciju nukleinske kiseline iz kliničkih materijala. Nadalje, kao nedostatak RT-PCR testova se navodi i vrijeme za dobivanje rezultata (24h) te povremeni nedostatak samih kompleta testova zbog prevelike globalne potražnje.

Zbog svih prije navedenih nedostataka PCR testova CT se počeo koristiti kako u dijagnosticiranju tako i u praćenju napredovanja bolesti, komplikacijama i odgovorima na liječenje.

Ipak, trenutno ne postoji konsenzus o njegovoj ulozi u glavnim profesionalnim znanstvenim društvima. Na primjer, u Kini se tijekom rane faze izbijanja CT široko koristio kao pomoćni alat u dijagnozi COVID-19. Međutim, trenutne smjernice Kineskog nacionalnog zdravstvenog povjerenstva ne uključuju slikovne nalaze u dijagnostičke kriterije. Isto tako, u posljednjem ažuriranju objavljenom 22. ožujka 2020., Američki koledž za radiologiju (eng. *American College of Radiology*) nije preporučio CT prsnog koša kao primarni modalitet za snimanje prve linije kod provjere upale pluća COVID-19. Preporuke su savjetovale upotrebu CT-a kod hospitaliziranih, simptomatskih bolesnika sa specifičnim kliničkim stanjima kao što su plućna embolija, empijem i koinfekcija. Međutim, u nedavnoj izjavi *Fleischner Society* identificirao je tri glavna scenarija gdje se slikanje može koristiti kao primarni dijagnostički alat: (1) pacijenti s blagim respiratornim značajkama u skladu s COVID-19, ali s čimbenicima rizika za napredovanje bolesti, (2) pacijenti s umjerenim do teškim značajkama COVID-19, bez obzira na rezultate RT-PCR testa, i (3) pacijenti koji imaju umjereno do ozbiljne simptome u velikoj prevalenciji okruženja bolesti i s ograničenim resursima za ispitivanje (Slika 4) (9).

	Chest x-ray	Chest CT
<b>British Society of Thoracic Imaging</b> <a href="https://www.bsti.org.uk/">https://www.bsti.org.uk/</a>	For critically ill patients. For stable patients, only if clinically required.	Only for critically ill patients who have inconclusive CXR results.
<b>European Society of Radiology/European Society of Thoracic Imaging</b> <a href="https://www.myesr.org/">https://www.myesr.org/</a> <a href="https://www.myesti.org/">https://www.myesti.org/</a>	For imaging within ICU units.	Restricted use of chest CT is recommended.
<b>American College of Radiology</b> <a href="https://www.acr.org/">https://www.acr.org/</a>	Not recommended for diagnosis. No impact on clinical outcomes. Mobile CXR is suggested when clinically necessary.	Not recommended unless imaging will have an impact on management.
<b>Canadian Association of Radiologists/ Canadian Society of Thoracic Radiology</b> <a href="https://car.ca/covid-19/">https://car.ca/covid-19/</a>	Limited use has been suggested, to those in whom results will change the management plan. Mobile CXR is recommended.	Not recommended unless clinically required.
<b>Royal College of Radiologists</b> <a href="https://www.rcr.ac.uk/">https://www.rcr.ac.uk/</a>	For critically ill patients.	Suggested to be used only in critically ill patients, and when is likely to change the management plan.
<b>Fleischner Society (an international consortium of medical imaging of the lungs)</b> <a href="https://fleischner.memberclicks.net/">https://fleischner.memberclicks.net/</a>	Not recommended in patients with mild symptoms. Indicated for critically ill patients. Its lower sensitivity compared to CT is underlined. Final decision is left to clinicians.	Not recommended in patients with mild symptoms. Indicated for critically ill patients. Final decision is left to clinicians.
<b>Royal College of Surgeons of Edinburgh</b> <a href="https://www.rcsed.ac.uk/">https://www.rcsed.ac.uk/</a>	No information included.	Only when it is likely to change the management plan, and for patients who will need critical care in their postoperative recovery.
<b>Royal Australian and New Zealand College of Radiologists</b> <a href="https://www.ranzcr.com/our-work/coronavirus/position-statements-and-guidance">https://www.ranzcr.com/our-work/coronavirus/position-statements-and-guidance</a>	Recommended for hospitalised patients and monitoring of the disease.	Not recommended.
<b>International Society of Radiographers &amp; Radiological Technologists (ISRTT)</b> <a href="https://www.isrtt.org/">https://www.isrtt.org/</a> (resources shared with the EFRS website)	Mobile CXR is recommended.	Not recommended for diagnosis or as a first-line tool.

Slika 4. Sažetak službenih smjernica u vezi s radiološkom obradom pacijenata s Covid-19

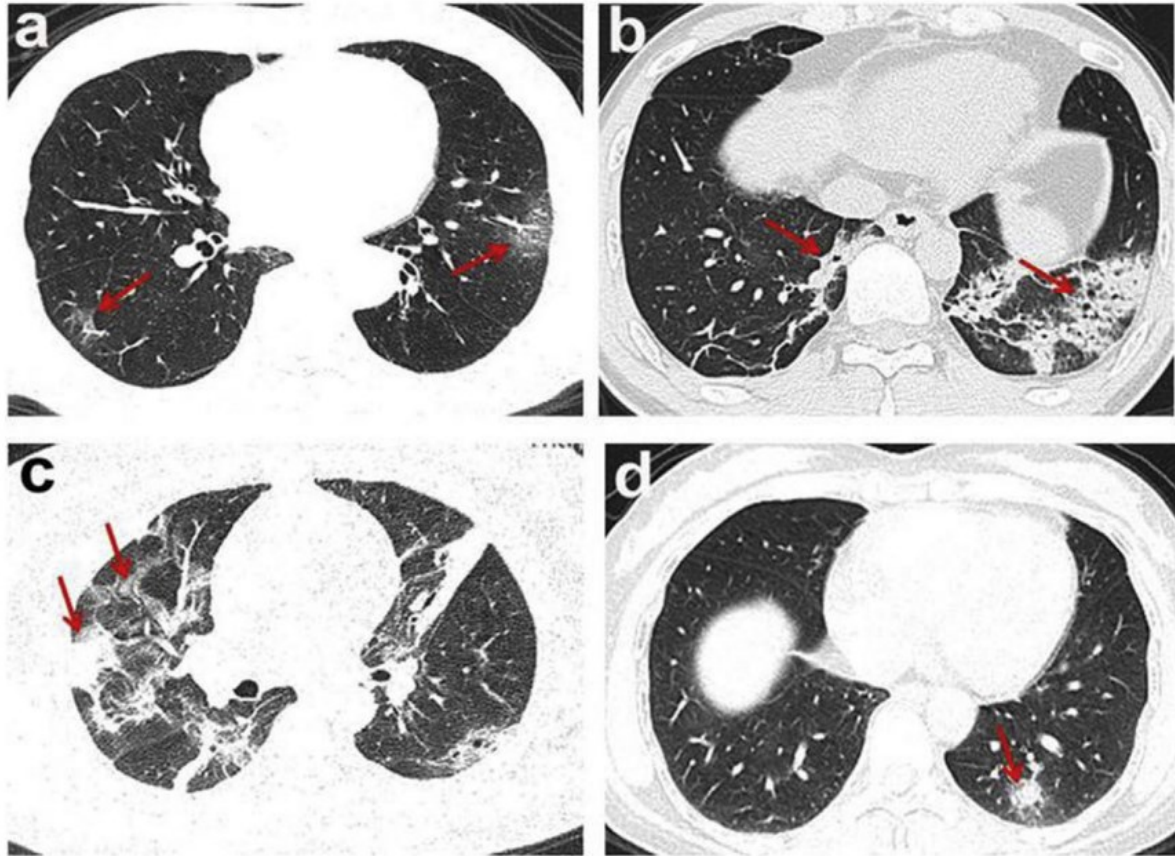
Izvor: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1078817420300845>

Međutim, konačna odluka prepuštena je kliničarima jer se mora razmotriti dostupnost ovih metoda, stručnosti i resursa. Slijedom toga, postoji konsenzus da snimanje ovih pacijenata mora biti uglavnom ograničeno na kritično bolesne i da kliničari na mjestu njege moraju uvijek provesti promišljenu analizu rizika i koristi za ove postupke, uzimajući u obzir fazu bolesti i kliničko stanje pacijenta. Među zemljama postoji određena varijabilnost u pogledu upotrebe radiološkog dijagnosticiranja, uglavnom zbog dostupnosti resursa i opreme, ali i zbog novih znanstvenih podataka o progresiji bolesti, koji s vremenom postaju dostupni. Međutim, radiološki tehnolozi bi uvijek trebali uzeti u obzir ove smjernice kako bi izbjegli nepotrebnu infekciju osoblja i pacijenta te minimalizirali dozu zračenja pacijentima provjerom traženih pregleda ili u skladu s tim minimiziranjem doze zračenja (10).

#### 4.1.3.2. Prikaz Covid-19 na CT-u pluća

Nalazi CT-a koji se često opažaju u bolesnika s upalom pluća COVID-19 izraz su akutnog intersticijskog oštećenja pluća i rezultirajuće parenhimske promjene uzrokovane olujom citokina izazvanom internalizacijom virusa u pneumocite. Posthumne studije procijenile su histološke promjene u plućima bolesnika s COVID-19, otkrivajući prisutnost plućnog edema, hijalinskih membrana i alveolarnih staničnih eksudata. Te su promjene vjerojatno supstrat za najčešće otkrivene CT nalaze kao što su neprozirnosti mljevenog stakla GGO (eng. *ground glass opacities*) i žarišne konsolidacije. U sustavnom pregledu koji je obuhvaćao 919 bolesnika s potvrđenom dijagnozom COVID-19, GGO-i su prijavljeni kao najranije abnormalnosti, sa stopom pojavljivanja do 88%, dok su konsolidacije opisane u približno 32% pacijenata. Iako su GGO dokumentirani i u izoliranom obliku i u vezi s žarišnim područjima konsolidacija, samostalna konsolidacija bila je rijedak nalaz. Raspodjela parenhimskih lezija bila je obično bilateralna (88%), multilobarna (78%) i periferna (76%), s čestim zahvaćanjem stražnjih dijelova pluća (80%). Uz to, zabilježeno je i nekoliko drugih nalaza CT-a u prsnom košu, poput interlobularnog zadebljanja septuma, bronhiektazija, „*crazy paving*“ i „halo“ znaka, s nižom prevalencijom (Slika 5) (9).

Pan i sur. definirali su četiri različite faze bolesti prema vremenu od pojave simptoma. U ranoj fazi (0–4 dana), najčešća abnormalnost bila je GGO. Umjesto toga, obilježje progresivne faze (5-8 dana) bio je sve veći broj i veličina GGO-a, postupna transformacija GGO-a u multifokalna, konsolidacijska područja i razvoj uzorka „*crazy paving*“. Vrhunac (9-13 dana) je karakteriziralo opsežnije zahvaćanje pluća i prisutnost gustih konsolidacija. Postotak zamućenja pluća dosegao je vrhunac 13. dana. U fazi apsorpcije konsolidacije su se polagano reapsorbirale i znakovi popravljana pluća su se prikazali, kao što su fibrozna vlakna (11).



Slika 5. Tipične CT manifestacije Covid-19 bolesti na CT-u. a. Neprozirnost mljevenog stakla GGO, b. Konsolidacije, c. Konsolidacije s neprozirnim mljevenim staklom GGO, d. Čvrsti čvor

Izvor: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1078817420300845>

#### 4.1.3.3. Preporučeni tehnički parametri i protokoli snimanja za CT pluća kod Covid pozitivnih pacijenata

Zlatnim standardom kod dijagnosticiranja Covid-19 bolesti pokazao se RT-PCR test. Međutim, CT pluća se također često koristi kod bolesnika sa sumnjom ili potvrđenom bolesti na COVID-19 zbog regionalnih preferencija, nedostatka dostupnosti PCR testova i lažno negativnih PCR testova, kao i za praćenje napredovanja bolesti, komplikacija i odgovora na liječenje. Zbog toga je 9. travnja 2020. godine Međunarodna agencija za atomsku energiju (IAEA eng. *International Atomic Energy Agency*) organizirala web seminar na kojem se raspravljalo o praksi CT-a i optimizaciji protokola iz perspektive zaštite od zračenja i anketirala



sudionike s pet kontinenata. Između ostalog dali su i smjernice vezane za tehničke parametre i protokole snimanja kompjutorizirane tomografije kod Covid pozitivnih pacijenata.

Iako vrlo aktualna i zdravstveno gledajući potrebna metoda CT-a kod Covid pozitivnih pacijenata nema jasne i ustaljene protokole za njenu provedbu. Međutim većina studija vezana za provedbu CT-a kod sumnje ili poznate upale pluća zbog Covid-19 bolesti izvještava o jednofaznom, bezkontrastnom protokolu koji ne zahtijeva apliciranje kontrasta niti post-kontrastne serije. Ukoliko je riječ o pacijentima kojima se stanje naglo pogoršava i kod kojih se sumnja na plućnu emboliju preporuča se napraviti CT plućnu angiografiju s kontrastnim sredstvom. Kada je moguće, CT prsnog koša mora se izvoditi u udahu uz zadržavanje daha, protežući područje skeniranja od vrha pluća do plućne baze, bez potrebe za pokrivanjem nadbubrežnih žlijezda. Pacijenti moraju dobiti jasne upute o zadržavanju daha prije skeniranja. Treba imati na umu da nekolicina pacijenata oboljelih od Covid-19 ima problem sa zadržavanjem daha ili kašlje tijekom snimanja, što može dovesti do artefakata pomaka. Stoga bi se kod ovih pacijenata trebali preferirati protokoli s bržim skeniranjem uz upotrebu bržeg vremena rotacije gentryja (0,5 s ili manje) i većih vrijednosti pitcha (veće od 1: 1). Sposobnost bržeg skeniranja ovisi o vrsti i marki CT uređaja, kao i o tjelesnom stanju pacijenta. Ipak, budući da većini pacijenata treba jednofazno snimanje CT-a s malim dozama, bez obzira na tjelesno stanje pacijenta, radiološki tehničari mogu primijeniti brže skeniranje kako bi izbjegli artefakte pokreta kod pacijenata koji ne mogu zadržati dah tijekom snimanja. To će pomoći smanjiti neoptimalno snimanje i smanjiti potrebu za ponovnim skeniranjem. Izbor određenih parametara skeniranja ovisi o vrsti i marki CT uređaja, ali općenito gledajući niskodozni CT pluća se može postići koristeći napon cijevi od 100 kV ili manje uz slabu jakost struje. Treba dati prednost upotrebi tehnike automatske modulacije struje cijevi (AEC eng. *automatic exposure control*), jer će ona omogućiti automatsko podešavanje struje cijevi na temelju tjelesnog stanja pacijenta, uzimajući u obzir čimbenike koji omogućuju brže skeniranje. Tehnike automatske modulacije struje cijevi zahtijevaju od korisnika da navedu parametar kvalitete slike kako bi se osiguralo da se pregledi CT-a prsnog koša s malim dozama izvode u nižim dozama u usporedbi s rutinskim protokolima CT-a pluća. Fiksna, niska struja cijevi također se može koristiti za niskodozni CT pluća, ali može zahtijevati određenu prilagodbu za pacijente s vrlo velikom tjelesnom masom. Tijekom odabira napona cijevi i jakosti struje cijevi, radiološki tehnolozi mogu ciljati CTDI<sub>vol</sub> na 3 mGy ili manje na većini skenera za male ili prosječne pacijente (do 80 kg), što se preporučuje i kod praćenja plućnih čvorova na niskodoznim CT-ovima ili za probir raka pluća. Doza zračenja može se dodatno smanjiti na

temelju tehnologije skenera ili metode rekonstrukcije (iterativna rekonstrukcija naspram filtrirane stražnje projekcije). Suprotno tome, za veće pacijente i pacijente kojima je potreban post-kontrastni CT prsnog koša, možda će biti potrebna veća doza zračenja. Na nekim CT skenerima izbor debljine presjeka utječe na vrijeme skeniranja (kolimacija tanjih zraka i sporija brzina stola), kao i na primijenjenu dozu zračenja. Iako su tanki dijelovi (manji ili jednaki 1,5 mm) optimalni za procjenu neprozirnosti pluća, za pacijente s poteškoćama u zadržavanju daha i većom vjerojatnosti artefakata pokreta, deblji dijelovi mogu biti optimalni na starijim skenerima gdje tanki dijelovi zahtijevaju dulje vrijeme skeniranja. Kad su dostupne, treba koristiti iterativne tehnike rekonstrukcije kako bi se mogle primijeniti niže doze zračenja bez narušavanja dijagnostičke kvalitete. Važno je napomenuti da ruke pacijenta moraju biti položene iznad glave tijekom snimanja. Ukoliko pacijent to sam ne može obaviti, operater mora ručno staviti ruke iznad glave koristeći zaštitnu opremu (rukavice). U nedostatku kontraindikacija (poput sumnje na traumu, nepokretnost i bol u ramenima), nije prihvatljivo izvoditi CT prsnog koša rukama uz pacijenta jer ruke narušavaju kvalitetu slike, uzrokuju artefakte i povezane su sa znatnim povećanjem doze zračenja u odnosu na inače nižu dozu kod CT-a prsnog koša (Slika 6) (8).

Scan parameters	Canon	GE	Philips	Siemens
	Aquilion ONE	Revolution	IQon Spectral	Definition Force
Scan type	Helical	Helical	Helical	Helical
Tube potential	120 kV	120 kV	120 kV	100Sn
Image quality parameter (AEC)	SD 20 ( <sup>SURE</sup> Exposure)	NI 20 (SmartmA)	DRI 5 (DoseRight)	QRM 100 (SmartmA)
Rotation time	0.275 s	0.35 s	0.4 s	≤0.5 s
Pitch	0.813:1	0.992:1	1:1	1.2:1
D. config (mm)	80 × 0.5	128 × 0.625	64 × 0.625	96 × 0.6
Thickness (mm)	1	Prospective 5 (Retro 1.25)	1	1
Interval (mm)	0.5	0.5	0.5	0.7
Kernels	Body and lung Std	Lung or bone	YA and A	Br40 and Br64
Reconstruction	AIDR 3D STD	ASIR-V (30)	iDose <sup>4</sup> level 5	ADMIRE level 3

*AEC* automatic exposure control, *D. config* detector configuration, *SD* standard deviation, *NI* noise index, *Retro* retrospective section thickness, *DRI* dose right index, *100 Sn* 100 kV with tin filter for spectral shaping, *QRM* quality reference mAs

Slika 6. Predloženi parametri snimanja za različite CT uređaje u svrhu postizanja niske doze zračenja

Izvor: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7332743/>

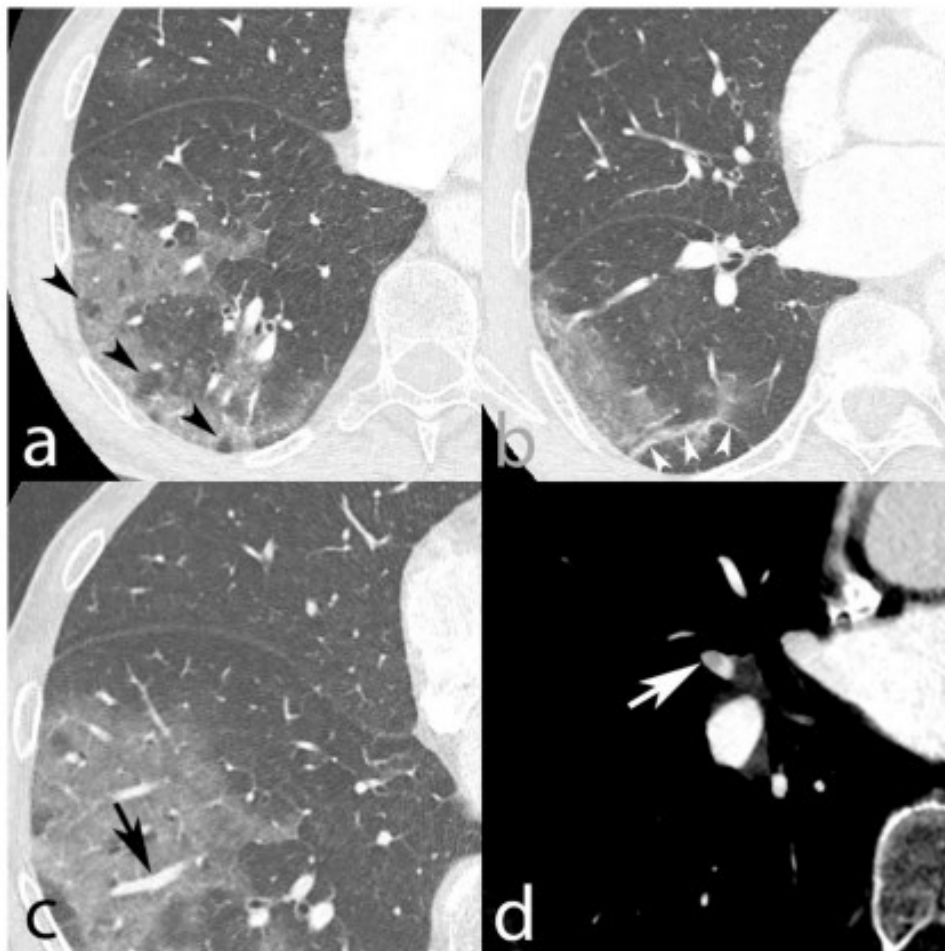
Web seminar kojeg je organizirala Međunarodna agencija za atomsku energiju IAEA 9. travnja 2020. godine uključivao je sudionike sa pet različitih kontinenata. Među sudionicima su se našli specijalisti radiologije, radiološki tehnolozi, medicinski fizičari, stručnjaci za zaštitu od zračenja i studenti, koji su bili zamoljeni da prije web seminara odgovore na anketna pitanja vezano za provedbu CT protokola i optimizaciju doza zračenja kod Covid pozitivnih pacijenata u njihovim ustanovama. Među 137 odgovora, 110 sudionika (80%) je odgovorilo da su njihove zdravstvene ustanove primila pacijente s poznatom ili sumnjom na infekciju COVID-19, dok preostalih 7% (10/137) i 12% (17/137) nisu znali ili nisu primili takve pacijente. 51% sudionika je odgovorilo da je rendgen najčešća radiološka tehnika snimanja pluća kod Covid pacijenata, dok je 48% sudionika odgovorila da je u njihovim ustanovama to CT. Kompjutoriziranu tomografiju za dijagnozu upale pluća uzrokovane Covidom-19 je koristilo 66% (84/127), za

procjenu težine bolesti 62% (79/127) i za komplikacije 51% (65/127) sudionika. Većina ispitanika navela je da često (53%, 69/130) ili uvijek (20%, 26/130) koriste CT prsnog koša za dijagnozu sumnje na COVID-19 upalu pluća. Neznatna većina odgovora favorizirala je upotrebu bezkontrastnog CT-a prsnog koša (53%, 62/118) u odnosu na povremenu primjenu kontrastnog CT-a prsnog koša (42%, 49/118) u bolesnika s poznatom ili sumnjom na COVID-19 upalu pluća. Na svu sreću čak je 82% (101/123) sudionika koristilo samo jednu fazu skeniranja na CT-u, dok je njih 18% (22/123) odgovorilo da su koristili 2 – 3 faze skeniranja. Bezkontrastna faza je dobivena kod 86% (103/120) zdravstvenih ustanova, a ostatak je koristio i 1 do 2 post-kontrastne faze. U anketi su se ispitivale i doze zračenja koje su korištene pri snimanju CT-a kod Covid pacijenata u odnosu na rutinski CT pluća. Većina odgovora (55%, 64/117) je ukazala da su pregledi CT-a prsnog koša za Covid-19 u njihovim zdravstvenim ustanovama povezani s istom dozom kao i rutinski CT prsnog koša (CTDIvol od 5-10 mGy). Niske doze zračenja (CTDIvol <5 mGy) je zabilježilo 43% (50/117) sudionika, dok je njih 3% (3-117) koristilo protokole s visokom dozom zračenja (CTDIvol > 10 mGy) (8).

Trenutne smjernice zagovaraju upotrebu bezkontrastnog CT-a prsnog koša za dijagnozu, procjenu ozbiljnosti i praćenje COVID-19 bolesti, uz što manju dozu zračenja koju će pacijent dobiti pri izlaganju istom. Međutim jasne smjernice temeljene na dokazima još uvijek nedostaju te sukladno tome postoje neka pitanja vezana za protokole snimanja na koja se još uvijek traže odgovori. Jedno od njih je treba li se pacijentima oboljelima od Covid-19 s naglim kliničkim pogoršanjem raditi CT plućnu angiografiju umjesto standardnog CT-a bez kontrasta?

Općenito, kada je indiciran CT, pregled treba provesti uz što manje štete za pacijenta. To podrazumijeva da se injekcija kontrastnog sredstva smije aplicirati samo kada je to potrebno, kako bi se spriječile moguće komplikacije (poput akutne bubrežne insuficijencije ili alergijske reakcije). Iako otkrivanje tipičnih plućnih slikovnih karakteristika za COVID-19 na CT-u ne zahtijeva upotrebu intravenskog kontrastnog sredstva, pacijenti s poznatom COVID-19 bolesti i iznenadnim kliničkim pogoršanjem s neobjašnjivim pogoršanjem dispneje ili bolovima u prsima, možda će imati koristi od provedbe CT plućne angiografije da bi se problem na odgovarajući način dijagnosticirao i pravovremeno liječio. Nekoliko studija je izvijestilo o pozitivnoj korelaciji između povišene razine D-dimera na prijemu i smrtnosti unutar bolnice od COVID-19, postavljajući pitanja u vezi s potencijalno nepoznatom plućnom embolijom i ocrtavajući moguću ulogu CT plućne angiografije u bolesnika s COVID-19 i naglim kliničkim pogoršanjem (12).

D.C. Rotzinger i suradnici izvještavaju o slučaju sedamdeset petogodišnjeg pacijenta primljenog u njihovu ustanovu u Luzani u Švicarskoj zbog niske temperature, opće slabosti i odinofagije (bolno gutanje). Nakon kliničkog pregleda zabilježeni su grubi šumovi na kraju udaha na bazi desnog plućnog krila. Nalazi krvi pokazali su leukopeniju, limfopeniju i trombopeniju, a RT-PCR test je bio pozitivan na SARS-CoV-2. Četvrti dan nakon prijema je razvio iznenadnu dispneju (otežano disanje) i tahipneju (ubrzano plitko disanje), što je dovelo do potrebe za CT plućnom angiografijom. CT je pokazao multifokalne neprozirnosti mljevenog stakla pretežno smještenih na periferiji svih pet režnja, desne bazalne subpleuralne fibrotične pruge, vakuolarni znak i vaskularni dilatacijski znak u skladu s upalom pluća COVID-19 bolesti. Ipak CT plućna angiografija je otkrila i segmentnu akutnu plućnu emboliju desnog srednjeg režnja. Pacijent je primao profilaktički niskomolekularni heparin (LMWH) od 3. dana nakon prijema (Enoxaparin 40 mg jednom dnevno supkutanom injekcijom). (Slika 7) Zaključeno je da bi pacijenti kojima je potrebno bolničko liječenje zbog upale pluća COVID-19 trebali primati profilaktički niskomolekularni heparin kako bi se spriječila tromboembolija, u odsustvu kontraindikacija. Nadalje, CT je brzo postao kamen temeljac u dijagnostičkoj obradi i praćenju infekcije SARS-CoV-2 i obično se izvodi bez intravenske injekcije kontrastnog sredstva. Ipak, pacijenti s poznatom bolesti COVID-19 mogu imati akutnu plućnu emboliju. U slučaju povišenih razina D-dimera pri prijemu ili naglog kliničkog pogoršanja, treba razmotriti izvođenje CT plućne angiografije jer je plućna embolija životno opasno, ali potencijalno izlječivo stanje (12).



Slika 7. CT plućna angiografija 75-godišnjaka pozitivnog na Covid-19. Slike prikazuju multifokalne pretežno periferne neprozirnosti mljevenog stakla u desnoj plućnoj bazi (a – c), s pripadajućim vakuolarnim znakom (crni vrhovi strelica, a), vlaknastim prugama (bijeli vrhovi strelica, b) i vaskularnim dilatacijskim znakom (crna strelica, c) sugerirajući infekciju SARS-CoV-2. U prozoru mekog tkiva pronađen je defekt ispune djelomično ocrtan kontrastnim sredstvom u lateralnom ogranku desne plućne arterije srednjeg reznja, što ukazuje na akutnu plućnu emboliju (bijela strelica).

Izvor: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7151364/>

#### 4.1.3.4 Provođenje snimanja i načini zaštite od virusa za radiološke tehnologe

Osim tehničkih parametara i protokola snimanja, radiološki tehnolozi bi trebali biti vrlo dobro informirani i o protokolima kontrole infekcije koji se moraju slijediti unutar same dijagnostike za snimanje kako bi se spriječilo širenje infekcije. Od početka pandemije do 12. veljače 2020. godine zaraženo je 3019 kineskih zdravstvenih radnika, što je činilo 3,8% ukupnih infekcija. Bolničke infekcije mogu opteretiti zdravstveni sustav, ometati medicinske usluge pacijentima i ubrzati prijenos virusa, što rezultira visokom smrtnošću (13).

Vezano za prethodno opisan problem, K. Nakajima i suradnici su napisali protokol za suzbijanje prenošenja zaraze unutar same dijagnostike za snimanje. Dva radiološka tehnologa poželjna su za CT skeniranje pacijenata za procjenu upale pluća COVID-19. Jedan radiološki tehnolog (RT-1) koristi osobna zaštitna sredstva za postavljanje pacijenta na pomični CT stol, dok drugi radiološki tehnolog (RT-2) upravlja CT konzolom iz druge prostorije (14).

U osobna zaštitna sredstva se ubraja (Slika 8):

- zaštita za oči (naočale)
- medicinske zaštitne maske (minimalno N95, odnosno FFP2)
- jednokratne kirurške kapice
- jednokratne rukavice
- zaštitne haljine
- jednokratne navlake za cipele



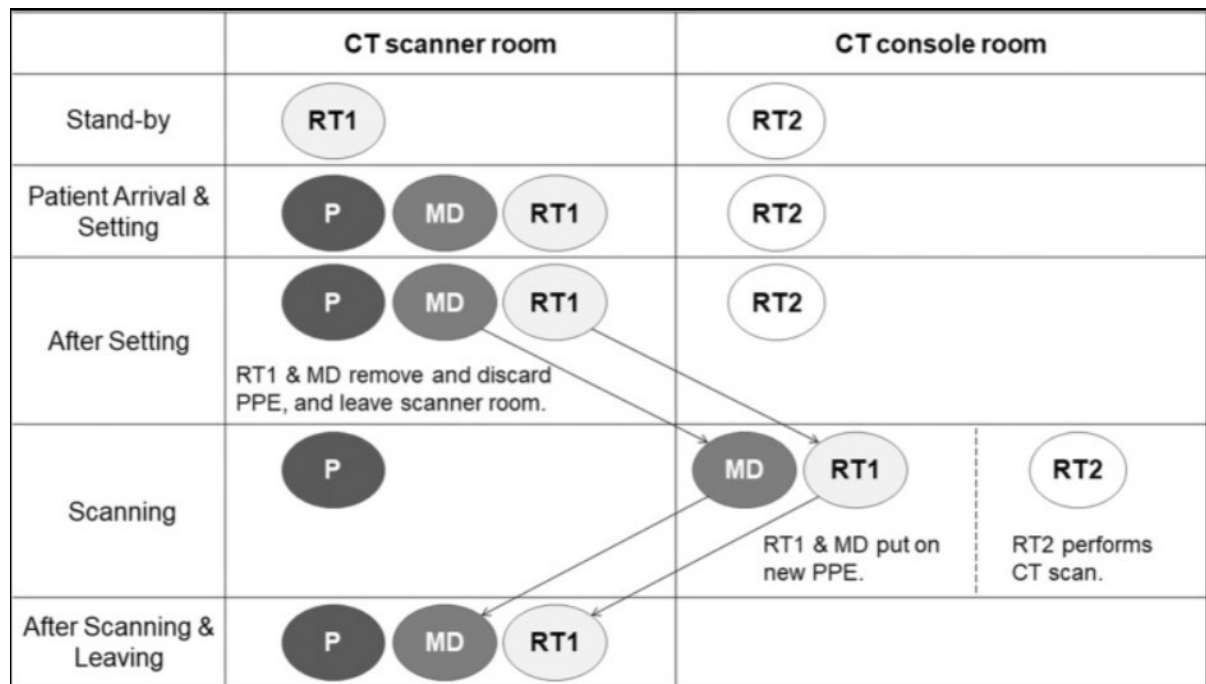
Slika 8. Osobna zaštitna sredstva radiološkog tehnologa

Izvor: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32185669/>

U principu, CT pregledi za pacijente kod kojih se sumnja ili je potvrđena infekcija na SARS-CoV-2 provode se zadnji u dnevnom rasporedu CT-a. CT pregled se izvodi na sljedeći način (1) RT-1 s osobnim zaštitnim sredstvima je u stanju pripravnosti; (2) pacijent i prateći liječnik (MD *eng. medical doctor*) dolaze u prostoriju CT skenera; (3) RT-1 i MD postavljaju pacijenta na stol za CT snimanje; (4) RT-1 i MD uklanjaju i bacaju svoja kontaminirana zaštitna sredstva unutar dijagnostike za snimanje i provode higijenu ruku; (5) RT-1 i MD napuštaju prostoriju gdje se obavlja CT snimanje; (6) RT-2 izvodi CT bez kontrasta, dok RT-1 i MD stavljaju novu zaštitnu opremu izvan sobe za CT snimanje; (7) nakon CT skeniranja, RT-1 i MD prebacuju pacijenta sa stola za CT snimanje; (8) pacijent i liječnik napuštaju sobu za CT snimanje; (9) soba za CT snimanje i konzola se dezinficiraju. Površine podložne čestom kontaktu kao što su radna konzola, prekidači, drške i kvake brišu se krpom natopljenom



dezinficijensima na bazi alkohola. Dijagnostika za snimanje CT-a dobro je zatvorena na 1 sat da se temeljito prozrači i izmjeni zrak u sobi (Slika 9) (14).



Slika 9. Postupak snimanja CT-a kod Covid pozitivnih pacijenata

Izvor: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32185669/>

U nekim ustanovama postoje i različite varijante kako izvršiti CT snimanje Covid pozitivnih pacijenata. Tako postoji verzija kada radiološki tehnolog koji je unutar same dijagnostike tj. kontaminiranog područja ne napušta to područje sve do kraja smjene. On je odgovoran za komunikaciju s pacijentom i njegovo pozicioniranje. Tako se kontrolna soba u kojoj se nalazi radna konzola održava čistim i sigurnim područjem. Po završetku smjene pozicionirajući radiološki tehnolog smije ući u čistu zonu tek nakon što se zaštitna oprema pravilno odbaci u tampon-zonu, uz strogu primjenu higijenskih postupaka.

Da bi se smanjio kontakt s pacijentom i povezani rizici prijenosa virusa, treba koristiti obradu bez papira, a kontakt s površinama treba svesti na najmanju moguću mjeru. Treba u potpunosti iskoristiti bilo koji zdravstveni informacijski sustav, BIS, PACS ili radiološki informacijski sustav (RIS). Pacijenti moraju nositi zaštitne maske visoke razine (po mogućnosti N95) kad ulaze u sobu za CT pregled. Prije skeniranja, pozicionirajući radiološki tehnolog pruža upute povezane sa skeniranjem, posebno upute vezane za disanje. Tijekom komunikacije od pacijenata treba držati udaljenost veću od 1 m. Treba biti vrlo oprezan kada se pacijentima

govori kako da slijede upute za disanje, posebno da povedu oprez na kašalj. Skenove bi trebalo pregledati radi kontrole kvalitete i odmah ih poslati na PACS kako bi radiolozi mogli brzo pružiti izvještaje. Kliničar također može automatski pregledavati snimke pacijenta putem PACS – a (13).

Za rutinski CT pregled potrebna su dva radiološka tehnologa, jedan za upravljanje radnom konzolom, a drugi za postavljanje pacijenata i pružanje uputa za disanje u sobi za skeniranje. Pozicionirajući radiološki tehnolog bi trebao provoditi stroge mjere zaštite zbog visokog rizika od infekcije. Ovaj je scenarij motivirao proizvođače opreme da prilagode CT epidemijskim situacijama kako bi smanjili kontakt između radioloških tehnologa i pacijenata. Neki CT uređaji sada su opremljeni tehnologijom umjetne inteligencije koja tehnologima omogućuje pregled bez napuštanja kontrolne sobe, zajedno s preciznim pozicioniranjem i automatskim skeniranjem, čime se uvelike smanjuje rizik od zaraze između tehničara i pacijenata te ubrzava pregled. Qu i suradnici su u svojoj ustanovi u Shanghaiu koristili *uVision* verziju umjetne inteligencije te su dobili vrlo zadovoljavajuće rezultate. Visoko rezolucijski monitoring započinje kad pacijent uđe u sobu za CT pregled. Koristeći glasovne upute, radiološki tehnolog upućuje pacijenta da legne na stol i stavi ruke iznad glave. Tada tehnologija *uVision* može inteligentno prepoznati pacijentovo lice i površinu tijela i točno locirati područje skeniranja prsnog koša, čak i ako pacijent nosi masku. Može istovremeno automatski prilagoditi tablicu za skeniranje na optimalni položaj, ovisno o cilju skeniranja, i pružiti upute za disanje. Općenito, nakon šest rundi vježbanja, od pacijenta će se tražiti da zadrži dah i započet će skeniranje. Kad se skeniranje završi, pacijenta će se zatražiti da diše, te će se stol za skeniranje izvući iz gentryja i spustiti na visinu prikladnu za ustajanje pacijenta. Zatim pacijent napušta sobu za skeniranje. Prednost ovog postupka je u tome što, iako radiološki tehnolog ne treba ući u sobu za skeniranje niti imati kontakt s pacijentom, pacijentove akcije mogu se pratiti tijekom cijelog postupka kako bi se osigurala sigurnost pacijenta. Istodobno, umjetna inteligencija može automatski dovršiti pozicioniranje i skeniranje pacijenta inteligentnim prepoznavanjem dijelova tijela pacijenta. Za ovu tehniku snimanja je potreban samo jedan radiološki tehnolog što uvelike smanjuje rizik od mogućeg daljnjeg širenja virusa (13).

#### 4.1.3.5. Optimizacija zračenja za CT pluća kod Covid pozitivnih pacijenata

Pokazalo se da kompjutorizirana tomografija (CT) prsnog koša igra ključnu ulogu u otkrivanju teške akutne upale pluća uzrokovane respiratornim sindromom koronavirusa

(SARS-CoV-2). Novija istraživanja sugeriraju da CT ne samo da pokazuje tijek bolesti i ozbiljnost zahvaćenosti, već također može predvidjeti prognozu. Iako trenutne smjernice ne preporučuju CT kao alat za provjeru, široka dostupnost, velika osjetljivost i kratak vremenski interval između rezultata i ispitivanja sugeriraju da će mnogi slučajevi sa sumnjivim kliničkim ili dvosmislenim laboratorijskim podacima imati koristi od CT-a prsnog koša za dijagnozu COVID-a -19 upale pluća, posebno tamo gdje su RT-PCR testovi ograničeni ili nije lako doći do njih. Pacijenti s većim rizikom od komplikacija, oni s popratnim bolestima, koji ne reagiraju na suportivno liječenje i koji imaju akutno kliničko pogoršanje, spadaju u skupine koje imaju najviše koristi od snimanja kompjutoriziranom tomografijom. Sve veći trend primjene CT skeniranja prsnog koša tijekom pandemije COVID-19 izaziva zabrinutost zbog opterećenja stanovništva zračenjem, kako kod pacijenata, tako i kod zdravstvenih radnika. Isti taj trend zahtijeva nove protokole sa smanjenom dozom ali uz održanu dijagnostičku točnost. Opće je prihvaćeno da ionizirajuće zračenje povećava vjerojatnost razvoja raka tijekom života.

Nedavno su Sakane i suradnici, na temelju studije na 209 pacijenata, zaključili da CT pluća standardnom dozom rezultira aberacijama kromosoma i dvostrukim pucanjem DNK, dok nije otkriven štetan učinak na ljudsku DNK ukoliko se izvodi niskodozni CT prsišta (15).

U skladu s tim, načelo ALARA (eng. *as low as reasonably achievable*) koje je predložilo Međunarodno povjerenstvo za radiološku zaštitu (ICRP eng. *International Commission of Radiological Protection*) trebalo bi slijediti u svakodnevnoj praksi radiologije, čak i u okruženju pandemije. Više prethodnih studija sugeriralo je da korištenje CT-a prsnog koša s niskim dozama primjenom smanjene struje cijevi rezultira pouzdanom osjetljivošću u usporedbi sa protokolima CT-a kod standardne doze u otkrivanju intratorakalnih patologija, poput plućnih čvorova, plućnih masa ili parenhimskih abnormalnosti. Na primjer, Zhu i sur. zaključili su da spiralni CT protokol niskih doza (40 ili 25 mAs) daje dijagnostičku kvalitetu slike, čime optimalno štiti pacijente od izlaganja zračenju (16).

Kubo i sur. izvijestili su da primjena 50 mAs kao struje cijevi za rutinski CT prsnog koša ima usporedivu dijagnostičku izvedbu kao standardna doza od 150 mAs (17).

Nedavno istraživanje Tofighija i sur. izvijestilo je o primjeni CT-a niskih doza kod upale pluća uzrokovane COVID-19 i zaključeno je da CT niskih doza i CT ultra-niskih doza imaju usporedivu učinkovitost u otkrivanju neprozirnosti mljevenog stakla i žarišnih konsolidacija. Predložili su usporedbu niskih doza i standardnog protokola u ranim fazama

bolesti, jer će u srednjim i naprednim fazama CT protokol s niskim dozama pružiti odgovarajuću kvalitetu slike i dijagnostičku točnost (18).

Nedavno objavljene studije o primjeni CT-a prsnog koša s niskom dozom zračenja kod upale pluća COVID-19 pokazale su prihvatljivu dijagnostičku točnost, iako su sve studije bile bez usporedbe s CT-om standardnih doza zračenja. Statistički naprednija studija dizajnirana na temelju unutarnje kontrole i međusobne usporedbe plućnih nalaza za COVID-19 na CT-u s niskim i standardnim dozama napravljena je tek od strane S. M. H. Tabatabaiea i suradnika. (19) U studiju su bili uključeni pacijenti stariji od 50 godina, pozitivni na Covid-19 sa razvijenim simptomima bolesti te s prethodno urednim nalazom rendgena pluća. Prvo im je napravljen CT pluća sa standardnim dozama zračenja. Ukoliko bi radiolog bez ikakve sumnje primijetio karakteristike upale pluća tipične za Covid-19 istim pacijentima bi se automatski radio i protokol za CT pluća niskih doza zračenja, bez pomicanja bolesnika sa stola. Zbog prethodno navedenih uvjeta za sudjelovanje u istraživanju od početne brojke 63 samo je 20 pacijenata na kraju bilo uključeno u studiju. CT pluća je dobiven pomoću CT skenera sa 16 detektora (Alexion TSX-034A, Toshiba, Japan). Svi su bolesnici pregledani u ležećem supinacijskom položaju. Nakon dobivanja rutinskog nativnog prikaza, dva uzastopna spiralna CT snimanja od baze vrata do kupole jetre s fiksnim naponom cijevi od 120 kV i strujama cijevi od 150 mAs (standardni protokol), a zatim 30 mAs (protokol s malim dozama) bili su izvedeni. Iz sirovih podataka svake akvizicije, slojevi debljine 3 mm rekonstruirani su na temelju algoritma za plućni parenhim. Pitch je iznosio 1 za oba protokola. Nijedan pacijent nije primio intravenski kontrastni materijal. Srednje vrijednosti volumnog CT doznog indeksa (CTDIvol) u skupinama standardnih i niskih doza bile su  $13,115 \pm 2,48$ , odnosno  $3,505 \pm 0,83$  mGy (vrijednost  $P < 0,001$ ). Srednje vrijednosti Produkta duljine doze (DLP) bile su  $412,810 \pm 91,68$  i  $112,230 \pm 26,55$  mGy · cm u skupinama sa standardnim i niskim dozama. Srednje vrijednosti efektivne doze u skupinama sa standardnim i niskim dozama bile su  $6,60 \pm 1,47$ , odnosno  $1,80 \pm 0,42$  mSv. Apsolutni rizik od nastanka karcinoma po srednjim kumulativnim vrijednostima efektivne doze dobivenima na CT-u standardnih i niskih doza bio je  $2,71 \times 10^{-4}$ , odnosno  $0,74 \times 10^{-4}$  (slika 10) (19).

Protocol type	CTDIvol (mGy)	DLP (mGy·cm)	Conversion factor (mSv/mGy·cm)	Effective dose (mSv)	Cancer absolute risk ( $\times 10^{-4}$ )
Standard-dose	13.115 $\pm$ 2.48	412.81 $\pm$ 91.68	0.016	6.60	2.71
Low-dose	3.505 $\pm$ 0.83	112.23 $\pm$ 26.55	0.016	1.80	0.74

*CTDIvol* volume CT dose index, *DLP* dose-length product

Slika 10. Podaci o dozi zračenja i apsolutnom riziku od raka proizašli su iz protokola CT-a za dozu standardnih doza i niskih doza u otkrivanju upale pluća COVID-19

Izvor: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32789807/>

U ovoj studiji srednji CTDIvol, DLP, efektivna doza pacijenta i procijenjeni rizik od nastanka raka smanjeni su za više od 73% bez žrtvovanja dijagnostičke točnosti bolesti. Parametri CT skeniranja prsnog koša primijenjeni za dijagnozu upale pluća COVID-19 u više nedavnih studija sažeti su u slici 11.

Study	kVp	mAs	Pitch factor	Slice thickness	CTDIvol
Caruso et al. [31]	120	100–250	0.98	1.25	–
Wen et al. [32]	120	145–300	–	2–3	9.34 $\pm$ 4.13
Yang et al. [12]	120	350	1	1.5	–
Pan et al. [33]	120	–	–	1.5	8.4 $\pm$ 2.0
Liu et al. [34]	120	–	–	1.5	4.1 $\pm$ 0.9
Song et al. [35]	120	180–400	1.5	5	–
Wang et al. [36]	120	320	1–1.5	1–5	–
Current study	120	150 (standard-dose) 30 (low-dose)	1	3	13.115 $\pm$ 2.48 (standard-dose) 3.505 $\pm$ 0.83 (low-dose)

*kVp* peak kilovoltage, *mAs* milliamperere-seconds, *CTDIvol* volume CT dose index

Slika 11. Parametri CT skeniranja prsnog koša primijenjeni za dijagnozu COVID-19 u literaturi

Izvor: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32789807/>

Bilo je 40 serija (20 standardnih i 20 niskih doza) CT-a prsnog koša, nasumično kodiranih i anonimnih od strane radiologa koji nije bio uključen u čitanje pregleda. Slike su neovisno pročitale tri radiologa: čitatelj A (H.R s 5-godišnjim iskustvom), čitač B (SMH. T sa 7-godišnjim iskustvom) i čitač C (HR. T s 15-godišnjim iskustvom). Ime pacijenta, datum

izvođenja CT-a i podaci o prikupljanju slika (uključujući dozu zračenja) maskirani su kako bi zaslijepili čitatelje. Radiolozi su također bili zaslijepljeni rezultatima rendgena pluća i RT-PCR testiranja. Rezultati su pokazali da nije utvrđena statistički značajna razlika između CT-a s niskom i standardnom dozom u otkrivanju radiografski normalne, laboratorijski potvrđene COVID-19 upale pluća te da se nedavno opisani tipični nalazi koji upućuju na to da se COVID-19 upala pluća na CT-u prsnog koša može na odgovarajući način procijeniti i pomoću CT protokola s niskim dozama. Prema saznanjima studije, utvrđeno je da je predloženi protokol CT-a pluća s niskim dozama pouzdan u otkrivanju upale pluća COVID-19 u svakodnevnoj praksi sa značajnim smanjenjem doze zračenja i procijenjenim rizikom od nastanka raka (19).

#### 4.1.3.6. Rizik od nastanka raka uvjetovan CT-om pluća kod Covid pacijenata

Zbog nedostataka RT-PCR testova, kao što su nedovoljna osjetljivost (između 60-71%), ovisnost o kvaliteti i sadržaju samog uzorkovanja te dostupnosti velikih količina testova, CT je na počecima pandemije uzrokovane SARS-Cov-2 virusom imao veliku ulogu u dijagnosticiranju bolesti. Zbog velike osjetljivosti od čak 97% CT pluća za Covid pacijente je korišten i kod praćenja razvijanja bolesti te njenih komplikacija. Impresivno i naglo povećanje korištenja ovog dijagnostičkog alata moglo bi dovesti do dozimetrijskih posljedica u bolesnika i preporučuju se protokoli niskih doza za CT prsnog koša u pacijenata za koje se sumnja da imaju COVID-19 upalu pluća. Zapravo, postoji zabrinutost da bi izlaganje ionizirajućem zračenju CT-a moglo povećati rizik od razvoja solidnih karcinoma i leukemije.

Zbog navedenih razloga C. Ghetti i suradnici su u Sveučilišnoj bolnici u Parmi napravili istraživanje na temu dozimetrijskog utjecaja CT-a pluća visoke rezolucije tijekom izbijanja COVID-19 pandemije. (20) U periodu od 24. veljače do 28. travnja 2020. godine napravili su 3224 CT-a pluća visoke rezolucije prikupljajući efektivne i ekvivalentne doze organa, te također procijenili doživotni rizik obolijevanja od karcinoma LAR (eng. *lifetime attributable risk LAR*) pluća i drugih velikih karcinoma. Usporedbe radi, u istom periodu prethodne godine (24. veljače do 28. travnja 2019. godine) napravili su samo 405 CT-ova pluća visoke rezolucije. Klinički protokol za CT pluća izveden je na dva Somatom Definition Edge skenera koristeći 120 kV, debljinu sloja 1 mm, 1,2 pitch i kolimaciju od 128x0,6 mm. Sličan protokol primijenjen je na Somatom Emotion 16 sa 110 kV, debljinom sloja 1 mm, pitchom 1,2 i kolimacijom od 16x0,6 mm. Na svim CT skenerima uključena je automatska kontrola ekspozicije pod nazivom CARE Dose 4D, koristeći učinkovitih 110 mAs. Za sve su pacijente

ispitali volumni CT dozni indeks kompjutorizirane tomografije (CTDIvol), produkt duljine doze (DLP), procjenu doze specifične za veličinu tijela (SSDE) i efektivnu dozu (E103) pomoću softvera za praćenje doze (Radimetrics Bayer HealthCare). Od ekvivalentne doze za organe za svakog pacijenta, LAR za rak pluća i velike karcinome procijenjen je prema metodi predloženoj u izvještaju Nacionalnog vijeća za biološke učinke ionizirajućeg zračenja BEIR VII (eng. *National Research Council Biologic Effects of Ionizing Radiation (BEIR) VII*) koja uzima u obzir dobne i spolne razlike. Od 3224 pregledanih pacijenata tijekom izbijanja COVID-19, 1843 (57,2%) bili su muškarci, a 1381 (42,8%) žene. Prosječna dob bila je  $67 \pm 17$  godina (raspon dobi 17–105 godina), a prosječna težina pregledane populacije bila je  $92,8 \pm 8,4$  kg. Za svaki dozimetrijski parametar (CTDIvol\_Body, SSDE, DLP i E103) izračunali su srednju vrijednost, medijan, standardnu devijaciju i 75. percentil. Na slici 12. su prikazani rezultati statističke analize dozimetrijskih parametara CT skenera u smislu srednje vrijednosti (MV), medijana, standardne devijacije ( $\sigma$ ) i 75. percentila (75.) za ukupnu populaciju, za žene i muškarce (20).

Total	MV	$\sigma$	Median	75th
CTDIvol_Body (mGy)	6.8	2.7	6.2	8.0
SSDE (mGy)	8.7	3.0	7.8	9.8
DLP_Body (mGy·cm)	239	94	219	281
E <sub>103</sub> (mSv)	4.4	1.6	3.9	5.0
Females	MV	$\sigma$	Median	75th
CTDIvol_Body (mGy)	6.5	3.0	5.8	8.9
SSDE (mGy)	8.8	3.6	7.7	10.5
DLP_Body (mGy·cm)	218	98	195	266
E <sub>103</sub> (mSv)	4.9	1.9	4.5	5.9
Males	MV	$\sigma$	Median	75th
CTDIvol_Body (mGy)	7.0	2.4	6.4	8.0
SSDE (mGy)	8.6	2.5	7.9	9.5
DLP_Body (mGy·cm)	255	88	235	290
E <sub>103</sub> (mSv)	4.0	1.1	3.7	4.4

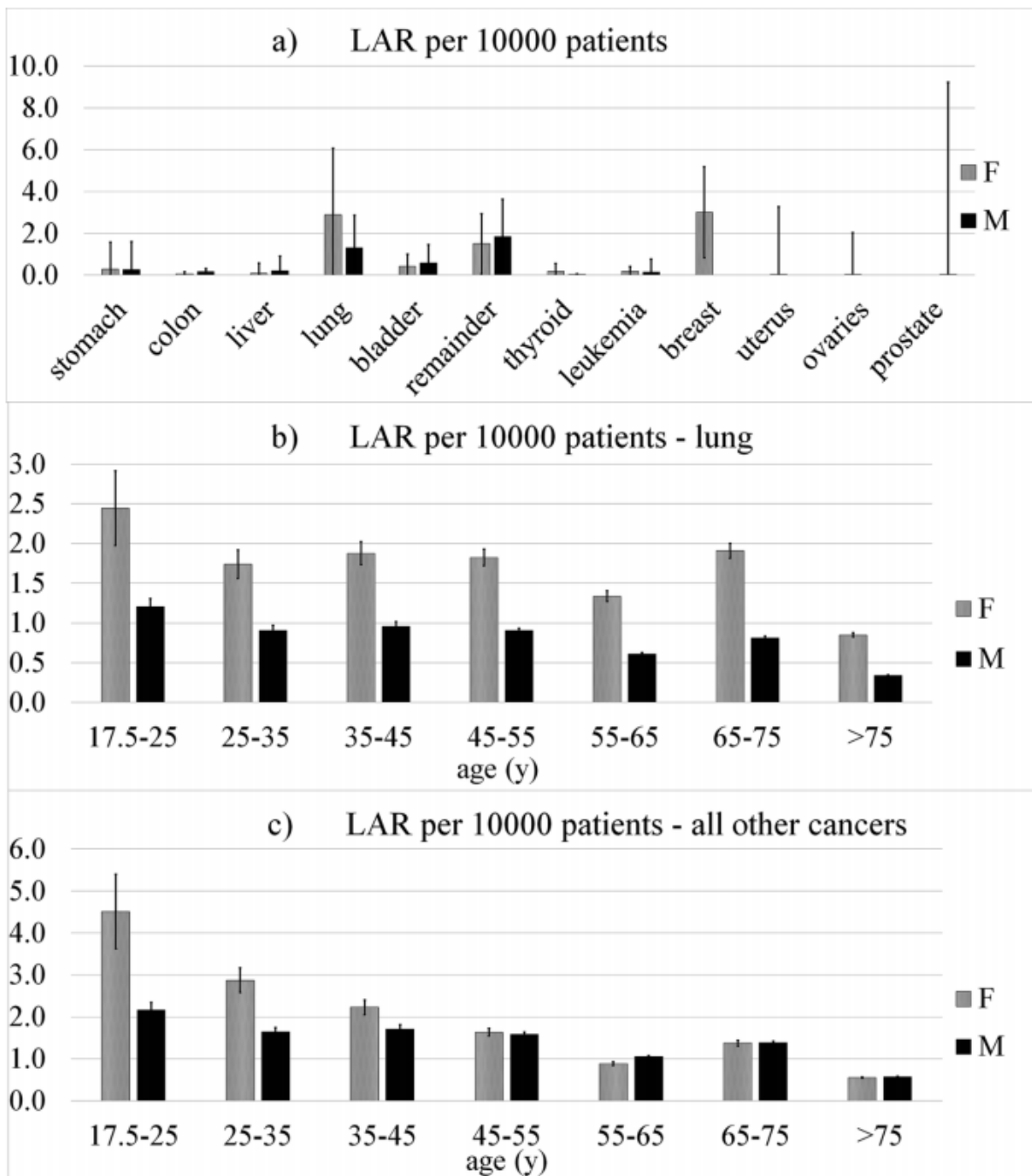
Slika 12. Srednja vrijednost (MV), medijan, standardna devijacija ( $\sigma$ ) i 75. percentil (75.) za CTDIvol\_Body, SSDE, DLP\_Body i E103 zabilježeni za ukupnu populaciju, za žene i muškarce.

Izvor: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7604119/>

Procjene rizika izvještene u BEIR VII izvješću skalirane su linearno pomoću podataka o izloženosti CT-u koji su prikupljeni u Sveučilišnoj bolnici u Parmi tijekom izbijanja COVID-

19 pandemije. Slika 13 prikazuje LAR procjene za žene i za muškarce za svaki organ s mogućnošću razvijanja karcinoma (slika 13.a). Za muškarce su primijetili glavni rizik od raka pluća, dok su za žene rizik od raka pluća i dojke bili značajni. Izračunali su i srednji LAR za cijelu populaciju, podudarajući procjenu rizika specifičnog za dob s odgovarajućom dobnom kategorijom. Prosječni LAR svih solidnih karcinoma bio je 2,1 slučaja na 10 000 bolesnika, dok je prosječni LAR leukemije bio 0,2 slučaja na 10 000 bolesnika (oba spola, sve dobne kategorije). Na slici 13.b. LAR-ove procjene raka pluća prikazane su za sve dobne kategorije kako bi se procijenilo različito ponašanje s godinama izloženosti. LAR procjene za sve ostale vrste raka za različite dobne kategorije prikazane su na slici 13.c (20).





Slika 13. Doživotni rizik obolijevanja od karcinoma (LAR) koji se može pripisati na 10 000 pacijenata podvrgnutih CT pregledu zbog COVID-19 bolesti. Slika 13.a prikazuje LAR svakog organa mogućeg za nastanak raka za žene i muškarce. Slika 13.b prikazuje LAR procjene karcinoma pluća za različite dobne kategorije, dok slika 13.c prikazuje LAR procjene za sve ostale vrste karcinoma. Za sve procjene LAR-a navedeni su intervali pouzdanosti od 95%.

Izvor: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33171381/>

Dozimetrijski rezultati u pogledu CTDIvol, SSDE, DLP i E103 usporedivi su s bolesnicima na koje postoji sumnja na idiopatsku intersticijsku upalu pluća i u skladu su s prethodnom literaturom o dozama prijavljenim za CT prsnog koša. Konkretno, > 50% slučajeva predstavlja efektivnu dozu ispod 4,5 mSv. Preciznije, dobiveni rezultati izraženi kao medijan vrijednosti za sve dozimetrijske indekse niži su u odnosu na prijavljene, posebno u onima koji sažimaju CTDIvol, SSDE i DLP za međunarodne i talijanske DRL-ove za preglede CT-om pluća. Dijagnostičke Referentne Razine (eng. *Diagnostic Reference Levels (DRLs)*) praktični su alat za promicanje optimizacije doze zračenja, a donose se na državnoj ili internacionalnoj razini. DRL, kao razina koja se koristi u medicinskom snimanju, služi kako bi se naznačilo je li u rutinskim uvjetima doza pacijentu ili količina radiofarmaka primijenjenih u određenom radiološkom postupku za medicinsko snimanje neobično visoka ili neobično niska za taj postupak. Gledajući konkretno ovo istraživanje, istraživači su dobivene rezultate uspoređivali s zakonodavnim odredbama talijanske vlade, budući da se isto izvršilo u Sveučilišnoj bolnici u Parmi. Najnoviji talijanski DRLs za CT pluća izvijestili su o CTDIvol = 15 mGy i DLP = 569 mGy·cm koji su u velikoj mjeri veći od medijana provedenog istraživanja u Parmi (CTDIvol = 6,2 mGy i DLP = 219 mGy·cm) (21).

Upotreba naprednog softvera za dozimetrijske proračune kao Radimetrics predstavlja glavnu točku ovog rada. Zapravo, ovaj softver može procijeniti srednje doze organa, a time i efektivne doze, za različite skupine pacijenata (i muških i ženskih) u skladu s njihovom tjelesnom veličinom. U nedavnom istraživanju Agostini i sur. (22), uspoređuju protokol ultra niskih doza s efektivnom dozom manjom od 1 mSv s protokolom niskih doza visoke rezolucije kod pozitivnih pacijenata na COVID-19 u smislu dijagnostičke točnosti. Unatoč maloj veličini uzorka (8 pacijenata), autori zaključuju da su dva protokola usporediva za dijagnozu pacijenta. U istraživanju provedenom u Parmi radiolozi su odlučili koristiti protokole niskih doza visoke rezolucije umjesto ultra niskih doza, jer su prvi jamčili bolje oertavanje neprozirnosti mljevenog stakla tipičnog za upalu pluća uzrokovanu COVIDom-19. Iako je sasvim jasno da su oba protokola prikladna za čvrste čvorove > 3 mm, ne postoji opći konsenzus o upotrebi protokola ultra niskih doza za plućni emfizem, čvorove neprozirnosti mljevenog stakla ili mikro čvorove, posebno za pacijente s BMI > 25 kg / m<sup>2</sup>, jer visoki BMI utječe na razinu šuma slike na CT skeniranju. Zaključno, rak pluća bila je glavna bolest koja se mogla izazvati dijagnostičkom izloženosti CT-u kod oba spola (slika 13.a), dok je rizik i od raka dojke bio značajan kod ženske populacije pacijenata.

#### 4.1.3.7. Umjetna inteligencija kod CT-a pluća za Covid-19 pacijente

Budući da CT pregledi predstavljaju glavni uzrok izlaganja zračenju široj javnosti iz dijagnostičkih medicinskih postupaka snimanja, razvoj protokola CT-a niskih doza vrlo je poželjan. Kako je već prije navedeno u radu, studije su pokazale da su se dvolančani prelomi DNA i aberacije kromosoma povećali kod pacijenata koji su podvrgnuti CT-u standardnih doza, dok nije otkriven učinak na ljudsku DNA kod pacijenata koji su podvrgnuti CT-u niskih doza. Iako je zabilježeno mnoštvo hardverskog i softverskog tehnološkog napretka u smanjenju doze CT-a, uključujući detektore visoke osjetljivosti, nove sustave automatske kontrole ekspozicije (AEC), adaptivni napon rentgenske cijevi i nove algoritme za rekonstrukciju slike, CT još uvijek nije modalitet slikanja koji spada u modalitete niskih doza. Stoga je razina izloženosti zračenju iz ovog modaliteta i dalje zabrinjavajuća. Ipak, prelazak s konvencionalnih protokola s normalnom dozom na niske doze CT-a nije jednostavan zadatak zbog straha od povećanja lažno pozitivne stope zbog povišene razine šuma i nedostajućih anatomskih struktura. Brojna profesionalna društva, znanstvenici i kliničari predložili su odgovarajuće CT protokole niskih doza za COVID-19. Međutim, ti protokoli nisu široko primijenjeni u kliničkim centrima iz istih gore navedenih razloga. Kliničari i radiolozi često koriste ustaljene CT protokole koji podrazumijevaju normalne doze, a često im nedostaje vremena ili nerado razvijaju ili usvajaju nove protokole, posebno tijekom hitnih situacija, kao što je tijekom izbijanja COVID-19. Uz konvencionalne pristupe otklanjanju šuma, predložen je niz algoritama dubokog učenja za analizu medicinske slike, kako bi se poboljšala kvaliteta CT slike uz što manje doze zračenja (23).

Shiri i suradnici su u svojoj studiji imali za cilj koristiti algoritme dubokog učenja na CT slikama ultra-niskih doza COVID-19 pacijenata kako bi generirali visokokvalitetne slike za usporedivu dijagnostičku točnost s CT slikama velikih doza (eng. *full-dose CT*). Obuhvatili su 1141 volumetrijski CT prsnog koša iz 9 medicinskih centara, među kojima je 312 volumetrijskih CT snimaka bilo PCR-pozitivnih bolesnika s COVID-19. Pacijenti s COVID-19 prikupljeni su iz tri centra i različitih modela skenera, uključujući Emotion 16 (Siemens Healthcare), NeuViz Dual (Neusoft Medical Systems) i Optima CT580 (GE Healthcare). Sve CT snimke dobivene su u svakom centru koristeći isti protokol i rekonstruirane su pomoću algoritma za filtriranu povratnu projekciju (FBP). Na temelju Beer-Lambertovog zakona ( $I = I_0 \exp(-\int \mu(e, x) dx)$ ), razina upadnog toka skeniranja ultra-niskih doza ( $I_0$ ) može se izračunati odgovarajućim skaliranjem razine upadnog toka odgovarajućeg skena pune doze. Prema fizici podataka o prijenosu CT-a, simulirali su podatke o projekciji ultra-malih doza CT-a iz

projekcija punih doza u domeni sinograma dodavanjem statistički neovisne Poissonove raspodjele šuma i Gaussove raspodjele šuma. Kao referenca predviđenim slikama dobivenih fizičkim jednadžbama služili su CT protokoli ultra-niskih doza. Referentne ultra-niske doze CT slike dobivene su prema specifičnom protokolu ultra niskih doza za dijagnozu COVID-19 na MX 16-presječnom CT skeneru (Philips Healthcare) sa smanjenim indeksom doze CT-a (CTDI<sub>vol</sub>) od oko 0,72 mGy (Slika 16). Parametri akvizicije protokola bili su sljedeći: potencijal cijevi od 90 kVp, raspon struje cijevi od 20–45 mA, vrijeme rotacije od 0,5 s i pitch od 0,75 s FBP postupkom rekonstrukcije slike (Slika 14) (23).

Parameters	Full-dose CT	Low-dose CT
CTDI <sub>vol</sub> (mGy)	6.5 (4.16–10.5)	0.72 (0.66–1.03)
Voltage (kVp)	100–120	90
Tube current (mA)	100–150	20–45
Pitch factor	1.3–1.8	0.75

Slika 14. Parametri akvizicije full-dose CT-a i low-dose CT-a pluća

Izvor: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00330-020-07225-6>

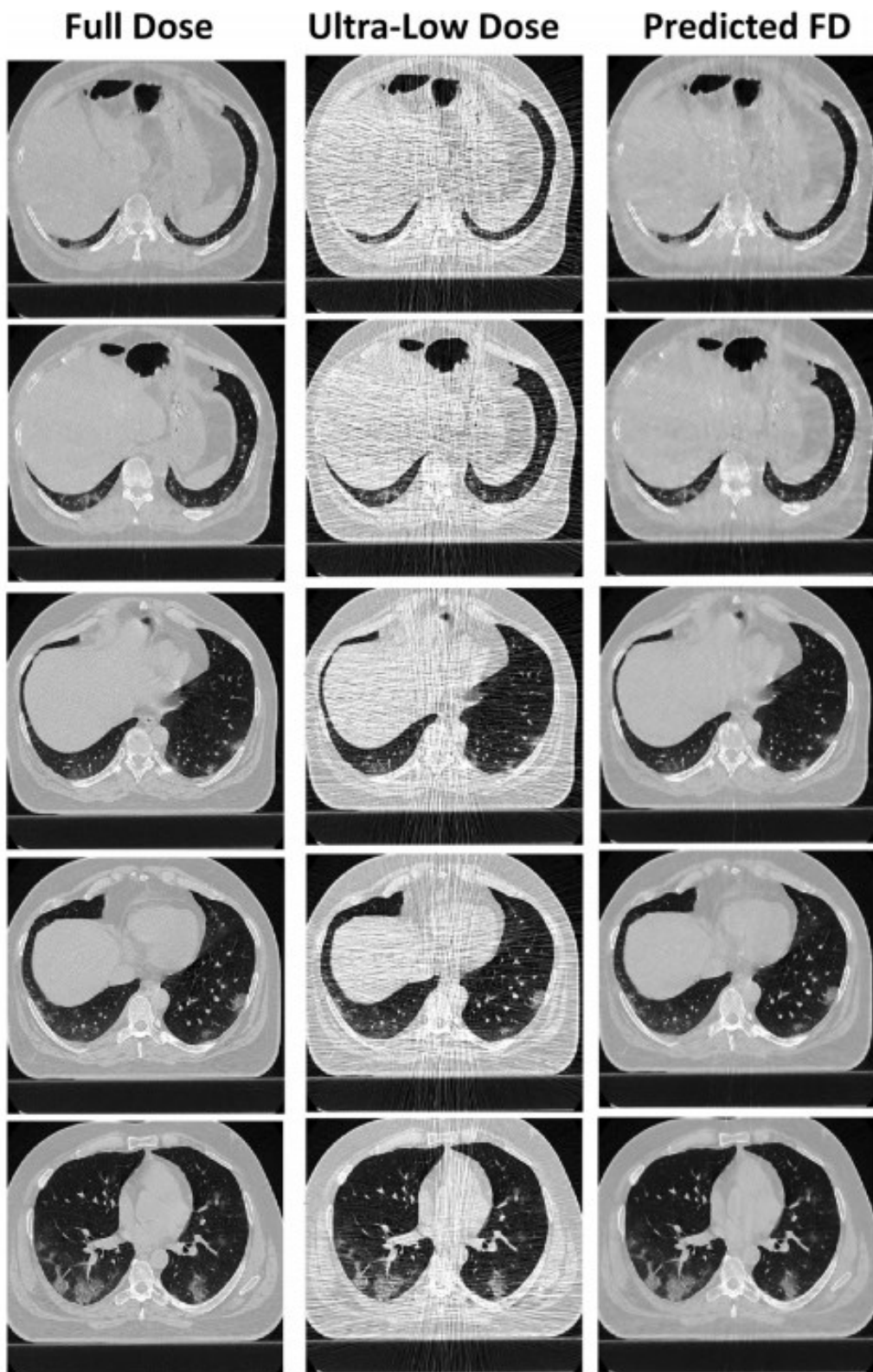
Sve CT slike pacijenta klasificirane su u tri skupine, i to u visoke doze, ultra niske doze i fizički predviđene doze. Slijepu kvalitativnu procjenu CT slika obavio je radiolog s 10 godina iskustva. Kliničke procjene radiologa temeljile su se na kvalitativnoj procjeni, uključujući procjenu gustoće lezija, oblika, položaja i margine, uz analizu tipa lezije. Za kvalitativnu procjenu, svakoj se slici dodijelila ocjena u rasponu od 1 do 5, kako slijedi: izvrsno, 5; dobro, 4; adekvatno, 3; loše, 2; i nerazumljivo, 1. Ova shema bodovanja zasebno se koristila za ukupnu procjenu svakog tipa lezije. Tipovi lezija uključivali su neprozirnost mljevenog stakla (GGO), crazy paving (CP), konsolidacije (CS), nodularne infiltrate (NI), bronhovaskularno zadebljanje (BVT) i pleuralni izljev (PE). Ukupne ocjene kvalitete slike koje su promatrači dodijelili za različite lezije sažete su u slici 15. Sveukupno bodovanje pokazuje da su slike s visokom dozom dobile najvišu ocjenu ( $4,72 \pm 0,57$ ), dok su slike s ultra niskom dozom ocijenjene s najnižim ocjenama ( $2,78 \pm 0,9$ ). Predviđene CT slike pomoću algoritma dubokog učenja postigle su

ocjenu  $4,42 \pm 0,8$ . Predloženi pristup ultra niskih doza zasnovan na algoritmima dubokog učenja uspio je smanjiti CTDIvol do 89%, što odražava značajno smanjenje doze zračenja povezano s dijagnostičkim CT pregledima. Rezultati ove studije pokazali su da bi se pomoću konvolucijskih neuralnih mreža (CNN-a) moglo generirati slike sa znatno nižom dozom i prihvatljivom kvalitetom slike. Iako kvaliteta slike na predviđenim slikama nije bila potpuno identična CT-ovima visoke doze, većina značajki COVID-19 upale pluća, uključujući nodularni infiltrat, konsolidaciju i crazy paving, postigla je visoke rezultate, gotovo slične CT-ovima visokih doza (slika 15) (23).

Lesions	Full-dose	Ultra-low-dose	Predicted
GGO	$4.70 \pm 0.47$	$2.67 \pm 0.61$	$3.90 \pm 1.09$
CS	$4.52 \pm 0.87$	$3.36 \pm 0.64$	$4.92 \pm 0.28$
CP	$5.00 \pm 0.00$	$3.00 \pm 0.00$	$4.50 \pm 0.71$
NI	$5.00 \pm 0.00$	$3.25 \pm 0.50$	$4.75 \pm 0.50$
BVT	$4.79 \pm 0.41$	$2.44 \pm 1.11$	$4.44 \pm 0.56$
PE	$5.00 \pm 0.00$	$2.50 \pm 1.05$	$4.50 \pm 0.55$

Slika 15. Ocjene kvalitete slike koje dodjeljuju ljudski promatrači za različite lezije. GGO, neprozirnost mljevenog stakla; CS, konsolidacija; CP, crazy paving; NI, nodularni infiltrati, BVT, bronhovaskularno zadebljanje; PE, pleuralni izljev (PE). Rezultati (izvrsno, 5; dobro, 4; primjereno, 3; loše, 2; i nerazumljivo, 1)

Izvor: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00330-020-07225-6>



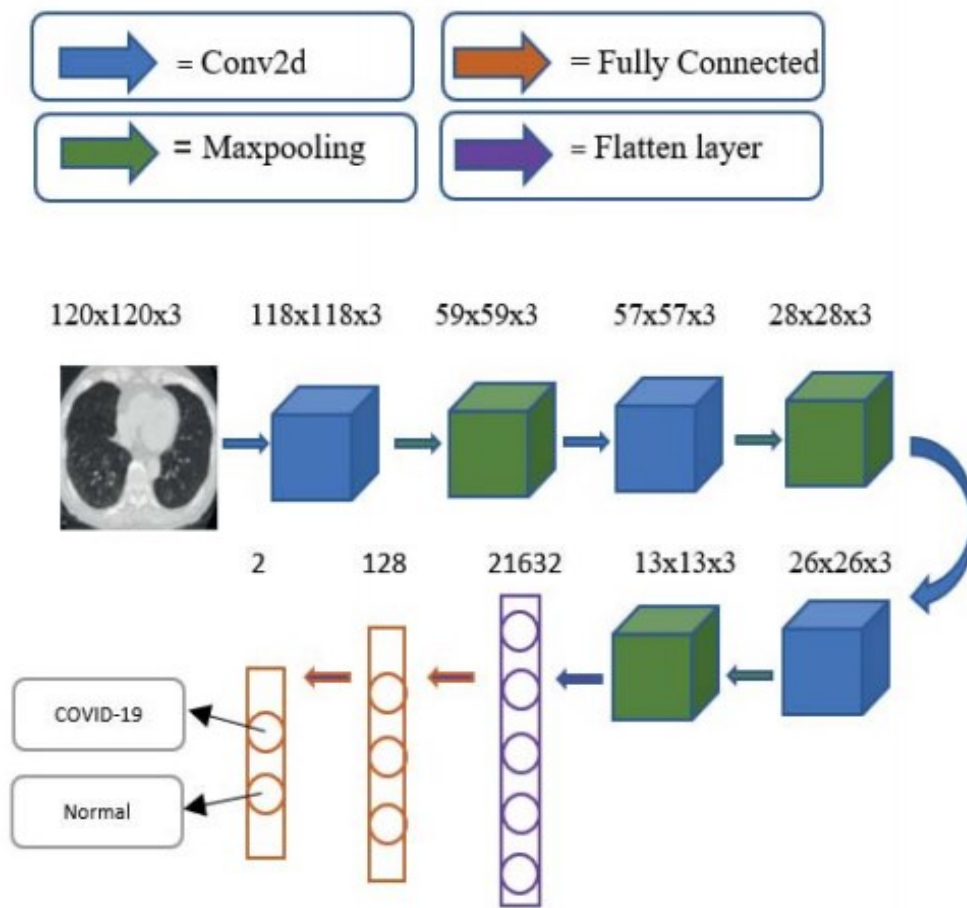
Slika 16. Reprezentativne slike CT-a pluća visoke doze, odgovarajuće ultra male doze i predviđene slike dobivene iz CT-a visoke doze

Izvor: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00330-020-07225-6>

Otkrivanje Covid-19 danas je važan zadatak za medicinske radnike zbog njegovog brzog širenja. Da bi prevladali ovaj problem, medicinski su se stručnjaci koristili raznim tehnikama i metodama kako bi otkrili inhibiranje proliferacije Covid-19. CT skeniranje trenutno je najbolja metoda za otkrivanje Covid-19. Ova dijagnostička metoda vrlo je točna jer može vidjeti organe u tri dimenzije. Međutim, ova metoda podrazumijeva radiologa da otkrije bolest i zahtijeva dugo vrijeme, što znači da će skratiti dragocjeno vrijeme za liječnike ukoliko je pacijent bolestan. Stoga je potrebno brzo implementirati sustav za automatsko otkrivanje koronavirusa kao alternativu.

Studija koju su proveli James i suradnici (24) je koristila metodu Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization (CLAHE) za povećanje kontrasta CT skenova slika pluća i konvolucijske neuralne mreže (CNN) za otkrivanje i klasifikaciju plućnih CT slika skenova Covid-19. Cilj ove studije je bio pomoći liječnicima da otkriju COVID-19 pomoću slika CT skenova pluća pacijenata s COVID-19. Studija je koristila skup podataka koji je prethodno dobiven na Githubu, a odobren je od strane iskusnog Kineskog radiologa. Navedeni skup podataka su bili CT slike skenova pluća, koji su bili razvrstani u dvije grupe. Prva grupa su bili CT skenovi pluća zdrave populacije, a u drugu su spadali CT skenovi pluća pacijenata oboljelih od Covid-19 bolesti. Svaka od grupa imala je po 349 skenova, što daje krajnju brojku od 698 CT skenova. U prvoj fazi studije radila se preobrada slika ekstrahiranjem skenova pomoću CLAHE-a. CLAHE je metoda koja ima za cilj smanjenje šuma i povećanje kontrasta slike. Također određuje matricu jezgre i radi na tome da vrijednost intenziteta svakog piksela ulazne slike zamijeni prosječnom cijenom ponderiranja jezgre za svaki susjedni piksel i sam piksel. U procesu smanjenja šuma, veličina jezgre također utječe na postizanje dobrih rezultata slike. Veličina jezgre korištene u ovoj studiji je 3x3, dok je veličina svake jezgre promijenjena na 120x120 piksela kako bi prilagodili veličinu slike veličini ulaznih podataka sustava. Druga faza studije je klasifikacija gdje je izvršeno nekoliko priprema, počevši od stvaranja arhitekture neuronske mreže (CNN), procesa obrade podataka do ocjenjivanja podataka. U instalacijskoj arhitekturi autori traže onu ispravnu mijenjanjem nekoliko parametara, poput broja epoha i omjera podataka, kako bi pronašli koja je arhitektura najbolja. U stvaranju algoritma konvolucijske neuralne mreže se koristilo više različitih slojeva kao što je vidljivo u slici 17 (24).





Slika 17. Arhitektura konvolucijske neuralne mreže za detektiranje Covid-19 iz CT plućnih skenova

Izvor: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9332069>

Nakon provođenja testova i mijenjanja različitih omjera skupova podataka, najbolji se pokazao onaj scenarij u kojem je omjer podataka iznosio 80:20, a broj epoha 75. Provedenim istraživanjem zaključeno je da se ekstrakcijom slike metodom Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization (CLAHE) i algoritmom konvolucijskih neuralnih mreža (CNN) ,koji koristi 3 konvolucijska sloja, 3 udružujuća sloja i 2 potpuno povezana sloja, može otkriti CT slike pluća COVID -19 pacijenata prilično dobro. Studija je također postavila pitanje može li broj epoha i omjeri skupova podataka utjecati na rezultate otkrivanja. To istraživanje provodilo se koristeći šest različitih scenarija na temelju broja epoha i skupova podataka. Ova je studija zaključila da broj epoha i omjeri skupova podataka mogu utjecati na rezultate točnosti.



Scenariji koji koriste omjer podataka od 80:20 i epohu od 75 dali su najbolje rezultate s točnošću od 83,28%, preciznošću 81,57% i opozivom 88,07% (24).

#### 4.1.3.8. Njemačka studija vezana za optimizaciju doze zračenja kod CT protokola pluća za Covid-19 pacijente

Otkrivanje koronavirusne bolesti 2019 (COVID-19) lančanom reakcijom polimeraze reverzne transkripcije (RT-PCR) ima različitu osjetljivost. Kompjutorizirana tomografija (CT) prsnog koša može otkriti infekciju u bolesnika s kliničkim simptomima i negativnim rezultatom testa, ubrzavajući liječenje i mjere za sprečavanje daljnje zaraze. Međutim, CT koristi ionizirajuće zračenje. Mali broj studija obuhvatio je karakteristike CT protokola i povezano izlaganje zračenju, iako većina publikacija uglavnom pokriva manifestacije COVID-19 u CT-u ili njegove dijagnostičke performanse.

Zbog tih razloga Steuwe i suradnici provode istraživanje u kojem je cilj bilo procijeniti postavke protokola, povezano izlaganje zračenju, kvalitetu slike i dijagnostičke performanse CT protokola s niskim dozama te njegovu dijagnostičku točnost za otkrivanje COVID-19 (25).

U ovoj prospektivnoj studiji našlo se 105 početnih CT pregleda prsnog koša pacijenata sa sumnjom ili dijagnozom SARS-CoV-2-infekcije koji su podvrgnuti nekontrastnom CT prsnom košu na Odjelu za dijagnostičku i intervencijsku radiologiju u Dusseldorfu između 17. ožujka i 17. travnja 2020. Svi su pacijenti imali respiratorne simptome i mogući kontakt s osobama zaraženim SARS-CoV-2 virusom. 89 pacijenata je imalo kliničke simptome Covid-19 i negativni PCR test. 1 pacijent je imao simptome, ali rezultati njegovog testa su bili nepoznati, dok je 15 pacijenata imalo pozitivan PCR test te je CT kod njih rađen zbog procjene težine plućne bolesti. Nalazi kompatibilni sa infekcijom SARS-CoV-2 mogu se otkriti na CT slikama bez potrebe za ubrizgavanjem kontrastnog medija. CT protokol prsnog koša odabran u ovoj studiji osmišljen je kako bi pružio dijagnostičke informacije i o plućima i o mekom tkivu (npr. limfnim čvorovima). Stoga je odabran potencijal cijevi od 100 kV, neovisno o indeksu tjelesne mase (BMI) ili težini pacijenta, kako bi se povećao kontrast mekih tkiva u nativnom prikazivanju CT-a. Samo su bolesnici s teškim tijekom bolesti i kliničkom indikacijom snimljeni dva puta ili više. Nadalje, fiksni tim od dva radiologa koji rade na CT-u dobio je predložak za strukturirano izvješće, koje je pokrivalo tipične manifestacije COVID-19 na CT-u. Radiolozi nisu bili svjesni rezultata RT-PCR prilikom očitavanja snimaka. Sve snimke dobivene su na CT skeneru treće generacije (Somatom Definition Edge, Siemens Healthineers, Forchheim, Njemačka). Pacijenti su skenirani u ležećem položaju s podignutim rukama kada

je stanje pacijenta omogućavalo pravilno postavljanje i uz zadržavanje daha nakon udisaja. Opseg snimanja bio je od vrha pluća do baza pluća. Primijenjeni parametri CT protokola opisani su u slici 18. Slike su iterativno rekonstruirane uporabom ADMIRE-a (Siemens Healthineers, Forchheim, Njemačka) kako je opisano u slici 19 (25).

Parameter	
tube potential [kV <sub>p</sub> ]	100
reference TCTP [mAs]	60
tube current modulation	X-CARE, semi: 100 kVp fixed, CARE Dose4D
spiral pitch	0.6
rotation time [s]	0.28
collimation	128 × 0.6 mm
total collimation width [mm]	38.4
FOV [cm]	50
contrast enhancement	None

Abbreviations—FOV: field of view; TCTP: tube current–time product

Slika 18. Tehnički parametri za CT pluća kod Covid pacijenata korišteni u studiji

Izvor: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1361-6498/aba16a>

	R1	R2	R3	R4	R5
stack orientation	axial	axial	axial	coronal	sagittal
slice thickness [mm]	2.0	2.0	2.0	3.0	3.0
increment [mm]	1.6	1.6	2.0	2.4	2.4
kernel (IR-level)	I30 f (2)	I70 f (2)	I70 f (2)	I70 f (2)	I70 f (2)
windowing	soft issue	bone	lung	lung	lung
FOV	full view	full view	lung	lung	lung

Abbreviations—IR: iterative reconstruction, R1–R5: reconstructions 1–5

Slika 19. Parametri rekonstrukcije CT-a prsnog koša za svaku akviziciju

Izvor: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1361-6498/aba16a>

Od 105 bolesnika, 60/105 (57%) su bili muškarci, a 45/105 (43%) žene. Prosječna dob bila je  $66,6 \pm 16,7$  godina (raspon 19–94 godine), a prosječni BMI  $26,6 \pm 5,3$  kg m<sup>-2</sup> (raspon 16–46 kg m<sup>-2</sup>). Za 105 CT pregleda, efektivni TCTP (eng. *tube current time product*) bio je  $70,4 \pm 22,3$  mAs (35–169 mAs) pri 100 kV što je rezultiralo srednjim CTDI<sub>vol</sub> od  $2,8 \pm 0,9$  mGy (1,4–6,7 mGy). Srednji efektivni promjer pacijenta na središnjem CT presjeku bio je  $29,6 \pm 3,1$  (24,2–41,9 cm). S duljinom skeniranja od  $30,0 \pm 3,3$  cm (21–38 cm), postignut je DLP od  $89,3 \pm 27,7$  mGy·cm (48,5–201,7 mGy·cm). Kombinirajući efektivni promjer i CTDI<sub>vol</sub>, dobiven je srednji SSDE od  $3,4 \pm 0,8$  mGy (2,1–7,6 mGy). Povezana efektivna doza CT pregleda iznosila je  $1,3 \pm 0,4$  mSv (0,7–2,9 mSv). Srednji SNR (eng. *signal to noise ratio*) pluća, srca i zraka bili su  $12,5 \pm 2,7$  (raspon 5,5–19,4),  $0,4 \pm 0,1$  (raspon 0,1–0,8), odnosno  $23,5 \pm 4,2$  (raspon 14,8–41,9). Prosječni CNR (eng. *contrast to noise ratio*) bio je  $9,8 \pm 1,8$  (raspon 5,4–14,7). Srednja buka slike ocijenjena je kao 'prosječna' ( $2,95 \pm 0,56$  (raspon 2,00–4,00)). Svi navedeni podatci prikazani su u slici 20 (25).

(a) Total patient cohort

	Total patient cohort, $N = 105$			
	Mean	SD	Minimum	Maximum
age [years]	66.6	16.7	19.0	94.0
BMI [kg m <sup>-2</sup> ]	26.6	5.3	16.3	45.8
effective TCTP [mAs]	70.4	22.3	35.0	169.0
scan length [cm]	30.0	3.3	21.0	38.4
effective diameter [cm]	29.6	3.1	24.2	41.9
CTDI <sub>vol</sub> [mGy]	2.8	0.9	1.4	6.7
DLP [mGy·cm]	89.3	27.7	48.5	201.7
effective dose [mSv]	1.3	0.4	0.7	2.9
SSDE [mGy]	3.4	0.8	2.1	7.6
image noise grade	2.95	0.56	2.00	4.00
SNR lung	12.5	2.7	5.5	19.4
SNR heart	0.4	0.1	0.1	0.8
SNR air	23.5	4.2	14.8	41.9
CNR	9.8	1.8	5.4	14.7

Slika 20. Konačni rezultati 105 pacijenata gledano za cijelu skupinu

Izvor: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1361-6498/aba16a>

Između skupina različitog BMI-a, pacijenti s BMI <25 kg m<sup>-2</sup> imali su značajno niže TCTPe<sub>eff</sub>, CTDI<sub>vol</sub>, DLP, efektivne doze i SSDE. TCTPe<sub>eff</sub> i CTDI<sub>vol</sub> bili su 40% viši u skupini s visokim BMI (BMI ≥ 25 kg m<sup>-2</sup>) u odnosu na skupinu s niskim BMI (BMI <25 kg m<sup>-2</sup>). SSDE u skupini s visokim BMI bio je 23% veći od SSDE u skupini s niskim BMI, uzimajući u obzir efektivni promjer pacijenta. Koristeći konverzijski faktor neovisan o BMI, efektivna doza se povećavala s efektivnim promjerom (1,1 ± 0,2 mSv (BMI <25 kg m<sup>-2</sup>) naspram 1,4 ± 0,4 mSv (BMI ≥ 25 kg m<sup>-2</sup>)). Ocijenjeni šum slike malo se povećavao s porastom BMI-a (2,81 ± 0,59 za BMI <25 kg m<sup>-2</sup> i 3,05 ± 0,53 za BMI ≥ 25 kg m<sup>-2</sup>). TCTPe<sub>eff</sub>, CTDI<sub>vol</sub>, DLP, SSDE i efektivna doza značajno koreliraju s BMI i efektivnim promjerom, ali ne i s dobi. BMI i efektivni promjer su u snažnoj korelaciji (*r* > 0,5) za TCTPe<sub>eff</sub>, CTDI<sub>vol</sub>, DLP i efektivnu dozu. Šum slike ocijenjen je s 2 kod 19/105 (18%) bolesnika, 3 kod 72/105 (69%) bolesnika i 4 kod 14/105 (13%) bolesnika. Nijedna slika nije ocijenjena s 0 (minimalni šum slike) ili 5 (neprihvatljivi šum slike) (Slika 21) (25).

(b) Grouped by BMI

	BMI < 25 [kg m <sup>-2</sup> ] N = 43*		BMI ≥ 25 [kg m <sup>-2</sup> ] N = 62		<i>p</i> < 0.05
	Mean	SD	Mean	SD	
age [years]	65.9	17.1	67.2	16.6	
BMI [kg m <sup>-2</sup> ]	21.8	2.5	29.9	4.0	X
effective TCTP [mAs]	56.7	13.0	79.9	22.6	X
scan length [cm]	31.1	3.4	29.2	3.0	X
effective diameter [cm]	27.7	2.2	31.1	2.9	X
CTDI <sub>vol</sub> [mGy]	2.3	0.5	3.2	0.9	X
DLP [mGy-cm]	74.2	16.7	99.8	29.1	X
effective dose [mSv]	1.1	0.2	1.4	0.4	X
SSDE [mGy]	3.0	0.5	3.7	0.9	X
image noise grade	2.81	0.59	3.05	0.53	X
SNR lung	13.3	2.7	12.0	2.6	X
SNR heart	0.4	0.1	0.4	0.1	
SNR air	24.2	3.7	23.0	4.4	X
CNR	10.4	1.8	9.4	1.8	X

Abbreviations—TCTP: tube current–time product; BMI: body mass index; SSDE: size-specific dose estimate; CTDI<sub>vol</sub>: volumetric computed tomography dose index; DLP: dose–length product; SD: standard deviation.

Slika 21. Konačni parametri gledajući Indeks tjelesne mase (BMI)

Izvor: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1361-6498/aba16a>

Rezultati provedene studije su pokazali maksimalnu osjetljivost (100%) ovog protokola, dok je specifičnost iznosila 78%. Za većinu pacijenata koji su sudjelovali u studiji šum na slici ocijenjen je kao "prosječan", čak i za pacijente s visokim BMI. Nije bilo slika s neprihvatljivim šumom slike, što bi ukazivalo na nedovoljan signal detektora. S druge strane, niti jedna slika nije ocijenjena minimalnim šumom slike; dakle, pacijenti nisu bili izloženi previsokom izlaganju zračenju. Kvaliteta slike, i kvalitativna i kvantitativna, nije bila u snažnoj korelaciji s BMI ili efektivnim promjerom. Stoga, čak i za velike pacijente, kvaliteta slike ostaje dovoljna, unatoč konstantnom potencijalu cijevi od 100 kV, koji nije prilagođen BMI pacijenta za poboljšanje kontrasta mekih tkiva. U kohorti studije, pacijenti koji su na kraju bili pozitivno testirani na infekciju SARS-CoV-2, imali su tipične manifestacije na početnim CT slikama, poput neprozirnosti mljevenog stakla ili konsolidacije. To pokazuje da njihov CT postupak, s obzirom na indikaciju za CT i CT protokol, omogućuje pouzdanu dijagnozu zaraženih pacijenata s niskom efektivnom dozom ( $1,3 \pm 0,4$  mSv). U usporedbi s Njemačkom dijagnostičkom referentnom razinom za CT prsnog koša (5mSv), prosječna efektivna doza predloženog CT protokola je 74% niža. Zaključno, ova Njemačka studija je predstavila protokol CT-a prsnog koša s malim dozama kao robustan slikovni postupak s dovoljnom kvalitetom slike za dijagnozu COVID-19 s visokom osjetljivošću u okruženju simptomatskih bolesnika s uglavnom negativnim PCR testovima. CT niskih doza s kontrastom s može se razviti kao način izbora koji podržava dijagnozu COVID-19 u okruženju simptomatskih bolesnika s početno negativnim PCR-om i za praćenje klinički teške bolesti (25).

#### 4.1.3.9. Internacionalna studija vezana za varijacije u upotrebi CT-a, protokolima i dozama zračenja kod upale pluća COVID-19

Osim zdravstvene zaštite, pandemija Covid-19 imala je ogroman učinak na financijsku i socijalnu dobrobit kako najbogatijih, tako i najsiromašnijih dijelova svijeta. Većina zdravstvenih politika slaže se da je potrebno na vrijeme izolirati asimptomatske bolesnike i kontakte zaraženih kako bi se spriječilo daljnje širenje ovog virusa. Preferiranim dijagnostičkim pomagalom smatra se RT-PCR test, no njegovi problemi se očituju u dostupnosti (ovisno o kojim dijelovima svijeta govorimo) i velikom broju lažno negativnih rezultata. Zbog toga se sve češće upotrebljava CT kao primarni dijagnostički alat za dijagnozu, procjenu težine bolesti, progresiju, komplikacije i odgovor na liječenje. Kako je općepoznato da CT koristi ionizirajuće zračenje koje je štetno po ljudski organizam, potrebno je koristiti CT

niskih doza u snimanju pacijenata oboljelih od Covid-19. Nedavno istraživanje pokazalo je da samo nekoliko zdravstvenih ustanova koristi protokole skeniranja smanjenih doza (s manjim zračenjem doza u usporedbi s rutinskim ili općim CT protokolom za pluća) za snimanje pozitivnih pacijenata ili za one koje se sumnja da imaju Covid-19. Unatoč izvještajima o radiografiji prsnog koša i snimanju na osnovi neionizirajućih zračenja pomoću ultrazvuka, CT ostaje preferirani način snimanja kod upale pluća Covid-19. Budući da više od 95% pacijenata s infekcijom Covid-19 preživljava, a upotreba CT-a koji koristi ionizirajuće zračenje je velika, važno je razumjeti upotrebu CT-a i pripadajućih doza zračenja u različitim institucijama.

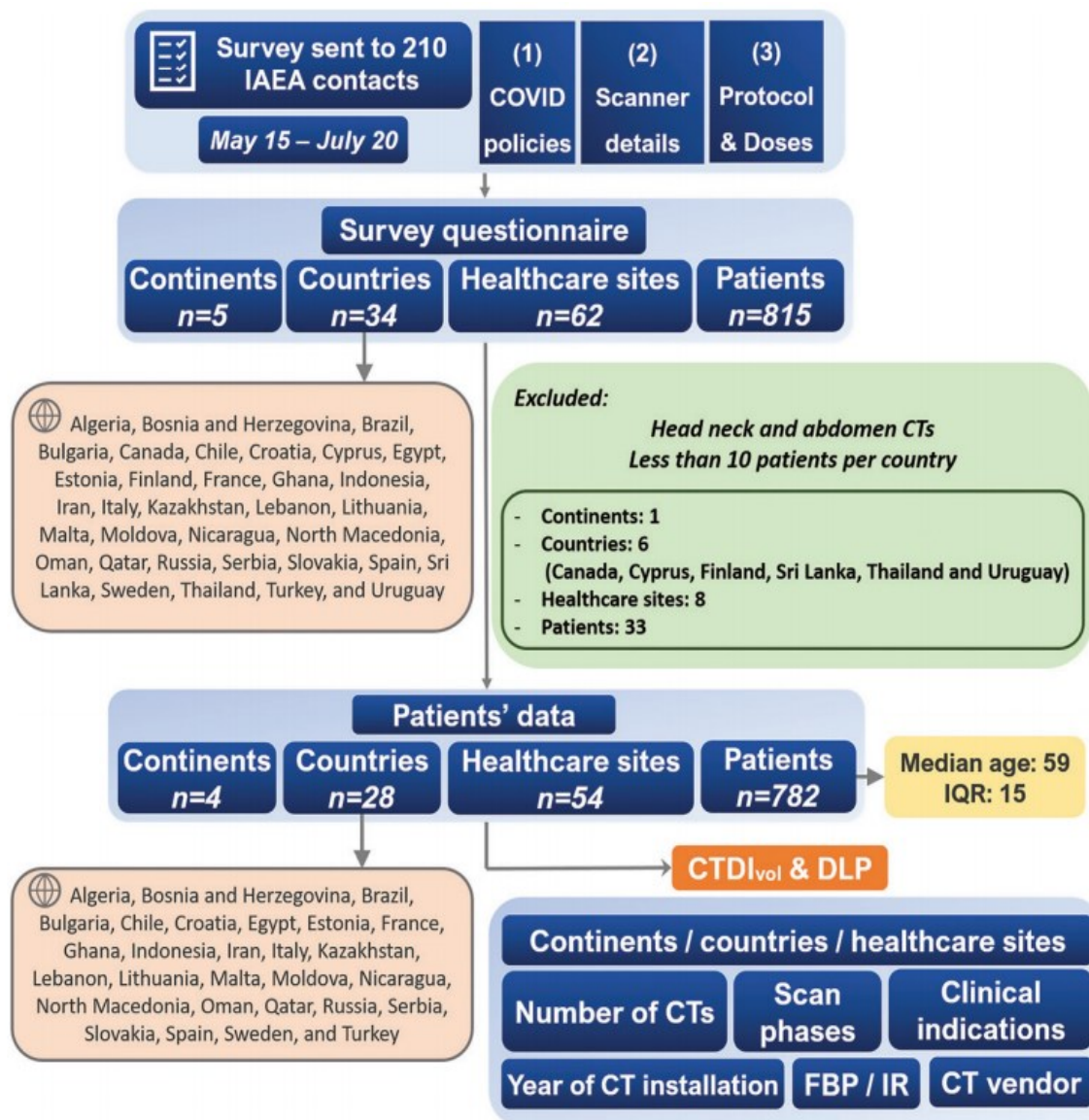
Zbog toga je organizirana velika internacionalna studija (26) pod koordinacijom Međunarodne agencije za atomsku energiju (IAEA) u kojoj su sudjelovale 34 države sa 5 različitih kontinenata. Istraživanje je provedeno između svibnja i srpnja 2020 godine. Svrha ove studije bila je procijeniti međunarodne varijacije u korištenju CT-a, protokolima i dozama zračenja u bolesnika s upalom pluća COVID-19. Sudionici ove studije podijelili su potpuno anonimne podatke o njihovim pacijentima s upalom pluća COVID-19 u skladu s njihovim institucionalnim odborima za pregled. U obzir su dolazili samo anonimni CT skenovi, koji čak nisu imale podatke o pacijentovom spolu zbog toga što su neke zdravstvene ustanove imale jako malo pacijenata. Dvodijelno istraživanje uključivalo je upitnik i obrazac za popunjavanje s parametrima skeniranja i podatke povezane s dozom kod pozitivnih pacijenata ili za one koje se sumnjalo da imaju COVID-19 upalu pluća. Pojednostiti u anketi ispunjavali su medicinski fizičari, radiološki tehnolozi i / ili specijalisti radiologije (26).

U upitniku je zatraženo od zdravstvenih ustanova koje sudjeluju da odgovore na sljedećih 12 pitanja:

1. Koliko je pacijenata s upalom pluća COVID-19 vidjela vaša bolnica?
2. Koje je preferirano sredstvo za dijagnozu COVID-19 u vašoj bolnici?
3. Koji je najčešće korišteni slikovni test za pacijente s upalom pluća COVID-19?
4. Koristite li CT za početnu dijagnozu bolesnika s sumnjom na infekciju COVID-19?
5. Koliko često koristite CT za ambulantne bolesnike s infekcijom COVID-19?
6. Koristite li CT za procjenu ozbiljnosti infekcije COVID-19?
7. Izvodite li CT kod svih pacijenata primljenih u bolnicu s COVID-19 upalom pluća?
8. Koliko često koristite CT za praćenje infekcije COVID-19?
9. Pridržava li se vaša bolnica pisanih pravila u vezi s upotrebom CT-a za upalu pluća COVID-19?

10. Imate li namjenski CT protokol za pacijente s COVID-19?
11. Koliko CT uređaja ima vaša bolnica?
12. Koji je najčešće korišteni CT protokol u bolesnika s COVID-19 upalom pluća?

Od zdravstvenih ustanova koje koriste CT kod infekcije COVID-19 zatraženo je da pruže sljedeće neidentificirane podatke: kliničke pojedinosti (dob pacijenta u godinama, tjelesna težina u kilogramima i kliničke indikacije za svaki CT), informacije CT uređaja (ime bolnice s CT uređajem, dobavljačem uređaja, nazivom uređaja, brojem redova detektora i godinom instalacije), parametrima skeniranja (broj faza skeniranja, područje tijela, mjesta početka i završetka skeniranja, spiralni ili aksijalni način skeniranja, upotreba fiksne struje cijevi nasuprot automatskoj kontroli ekspozicije, primijenjena struja cijevi ili parametar kvalitete slike specifičan za dobavljača za automatsku kontrolu ekspozicije, potencijal cijevi, konfiguracija detektora, pitch, vrijeme rotacije gentrija, rekonstruirana debljina presjeka budućih ili početnih poprečnih CT slika i filtrirana pozadinska projekcija ili iterativna tehnika rekonstrukcije) i deskriptori doze zračenja (zasebni indeks doze CT-a [CTDIvol] i proizvod duljine doze [DLP] za svaku stečenu fazu na mjestima zdravstvene zaštite s višefaznim protokolima skeniranja). Za višefazne CT protokole zabilježena je specifična vrsta faze sa i bez pojačanja kontrasta (poput nekontrastne, postkontrastne arterijske, venske i / ili odgođene faze). Za svaku fazu upućeno je uključenim zdravstvenim mjestima da daju zasebne vrijednosti CTDIvol i DLP. Za pacijente s više od jednog CT pregleda, klinički podaci, parametri skeniranja i podaci povezani s dozom bilježeni su odvojeno za svaki pregled. Svaka zdravstvena ustanova trebala je osigurati navedene podatke za najmanje 10-20 pacijenata. One ustanove koje su imale manje pacijenata ili su osigurale podatke o nekim drugim anatomskim regijama, a ne o prsištu, bile su isključene iz istraživanja (Slika 22) (26).



Slika 22. Dijagram toka sažima uključivanje različitih sudionika u studiju Međunarodne agencije za atomsku energiju zajedno s kriterijima za izuzeće

Izvor: <https://pubs.rsna.org/doi/10.1148/radiol.2020203453>

Odgovori na anketne upitnike iz 62 zdravstvene ustanove (34 različitih zemalja) dali su sljedeće rezultate. Većina ustanova (63%, 39 od 62) imala je značajan teret pacijenata (mjestas > 100 pozitivnih pacijenata ili onih za koje se sumnjalo da imaju infekciju COVID-19 u vrijeme prikupljanja podataka) (1. pitanje). Većina ustanova (60%, 37 od 62) naznačila je upotrebu testova antigena ili antitijela kao primarnu metodu dijagnoze (pitanje 2) infekcije COVID-19; druga mjesta koristila su CT (22%, 14 od 62) ili radiografiju (18%, 8 od 62) kao



primarne metode dijagnoze. Nekoliko ustanova (52%, 32 od 62; pitanje 4) izvijestilo je o uporabi CT-a za dijagnozu COVID-19 upale pluća u 26% - 50% bolesnika. Radiografija prsnog koša najčešći je slikovni test na 60% mjesta za dijagnozu i praćenje bolesnika (37 od 62 ustanove; pitanje 3). Primjena CT-a u bolesnika primljenih u bolnicu s COVID-19 (63%, 39 od 62 ustanove) bila je veća od one koja se koristi kod ambulantnih bolesnika (23%, 14 od 62 ustanove; pitanja 5 i 7). CT prsnog koša obično se koristio za procjenu težine bolesti (76%; 46 od 62 ustanove; pitanje 6) i za rutinsko praćenje bolesnika s COVID-19 upalom pluća kod 51% ustanova (32 od 62 ustanove; pitanje 8). Polovica ustanova imala je posebni CT protokol za snimanje pacijenata s infekcijom COVID-19 (pitanje 10). Nekontrastni CT prsnog koša (67%; 41 od 62 ustanove; pitanje 12) bio je najčešći protokol praćen smanjenim dozama nekontrastnog CT-a prsnog koša s dozom zračenja manjom od rutinskog ili općeg protokola CT-a prsnog koša (20%, 12 od 62 ustanove). Većina ustanova zdravstvene zaštite izjavila je o dostupnosti više CT uređaja za snimanje pacijenata s COVID-19 (više od dva CT skenera, 71% [44 od 62 ustanove]; pitanje 11) instaliranih nakon 2010. godine (85%; 34 od 50 odgovora) (26).

Anonimni podaci od 782 pacijenta (srednja dob, 59 godina [interkvartilni raspon, 15 godina]) prikupljeni su iz 54 zdravstvene ustanove u 28 zemalja. Većina pacijenata podvrgnuta je jednom CT pregledu (71%; 557 od 782). Nije bilo razlika u medijanu CTDIvol-a (8–9 mGy;  $P = .41$ ) i DLP-a (299–344 mGy · cm;  $P = .84$ ) između CT pretraga prsnog koša provedenih na različitim kontinentima (slika 23). Međutim, zbog učestalosti višestrukog praćenja CT-a prsnog koša, kumulativni DLP za pacijente u Latinskoj Americi (503 mGy · cm) bio je veći u usporedbi s odgovarajućim vrijednostima s ostala tri kontinenta (306–382 mGy · cm) ( $P = .03$ ). I medijan CTDIvol-a (7-11 mGy;  $P < .001$ ) i DLP-a (280-439 mGy · cm;  $P = .018$ ) razlikovali su se kod CT uređaja od četiri glavna dobavljača. CT skeneri instalirani između 2016. i 2020. (medijan, 7 mGy [interkvartilni raspon, 6 mGy]) i 2006. i 2010. (medijan, 8 mGy [interkvartilni raspon, 5 mGy]) povezani su s nižim CTDIvol u usporedbi sa skenerima instaliranim između 2011. i 2015. (medijan, 10 mGy [interkvartilni raspon, 7 mGy]) ( $P = .006$ ). Odgovarajuće srednje vrijednosti DLP nisu se razlikovale (255–390 mGy · cm;  $P = .075$ ) (Slika 23). CT uređaji s više od 64 reda detektora povezani su s nižim CTDIvol (8–9 mGy;  $P < .001$ ) i medijanom DLP-a (285–334 mGy · cm;  $P = .002$ ) u usporedbi s onima sa 64 ili manje redova detektora. CT ispitivanja izvedena s iterativnom rekonstrukcijom (u 33 od 54 zdravstvene ustanove) generiranja slike povezana su s nižim dozama zračenja u usporedbi s onima dobivenim konvencionalnom metodom filtrirane stražnje projekcije (na 21 od 54 mjesta

zdravstvene zaštite) (medijan CTDIvol, 7 mGy [ interkvartilni raspon, 6 mGy] nasuprot 10 mGy [interkvartilni raspon, 7 mGy], a DLP je bio 305 mGy · cm nasuprot 523 mGy · cm) ( $P = .03$ , odnosno  $P = .01$ ). Donja granica skeniranja bila je postavljena na plućnim bazama u 47% (370 od 782) bolesnika ili na nadbubrežnim žlijezdama u 41% (322 od 782) bolesnika. Podaci o rasponu skeniranja bili su nedostupni kod nekih pacijenata (12%, 90 od 782). Najčešća indikacija za 1183 CT-a prsnog koša obavljena u 782 pacijenta bila je praćenje dijagnoze povezana s potvrđenom ili sumnjom na COVID-19 upalu pluća (551 CT-pregled prsnog koša; medijan CTDIvol, 9 mGy; medijan DLP, 341 mGy · cm) nakon čega slijedi početna dijagnoza sumnje na infekciju COVID-19 ( $n = 461$ ; medijan CTDIvol, 8 mGy; medijan DLP, 278 mGy · cm), komplikacije ( $n = 107$ ; medijan CTDIvol, 7 mGy; medijan DLP, 332 mGy · cm) i druga ili nespecificirana klinička stanja ( $n = 64$ ; medijan CTDIvol, 8 mGy; medijan DLP, 413 mGy · cm). Postojala je razlika u CTDIvol i DLP za CT preglede prsnog koša provedene za različite kliničke indikacije ( $P < .001$ ) (26).

Parameter	No. of Countries	No. of Sites	No. of Patients	Median CTDI <sub>vol</sub> (mGy)	Median DLP per Examination (mGy · cm)	Median Cumulative DLP (mGy · cm)
<b>Different continent</b>						
Africa	3	3	46	9 (6)	310 (245)	331 (289)
Asia	6	9	122	8 (6)	299 (350)	306 (414)
Europe	16	35	506	8 (7)	321 (292)	382 (475)
Latin America	3	7	108	9 (5)	344 (210)	503 (618)
<i>P</i> value	...	...	...	.41	.84	.03
<b>Different vendor</b>						
Canon	9	11	135	7 (6)	280 (220)	305 (306)
GE	11	13	186	9 (7)	307 (252)	354 (387)
Philips	8	10	135	11 (6)	439 (269)	672 (1032)
Siemens	14	22	326	7 (5)	280 (300)	363 (470)
<i>P</i> value	...	...	...	< 0.001	.018	.004
<b>Year of CT installation</b>						
2006–2010	11	11	166	8 (5)	324 (240)	362 (447)
2011–2015	14	18	265	10 (7)	390 (255)	465 (405)
2016–2020	17	27	351	7 (6)	255 (256)	326 (516)
<i>P</i> value	...	...	...	.006	.075	.13

Note.—Data in parentheses are interquartile ranges. Table is a summary of the data of volume CT dose index (CTDI<sub>vol</sub>) and dose length product (DLP) examinations organized by continent, scanner from different CT vendors, and year of installation. Cumulative DLP represents sum of DLP of initial and follow-up chest CT examinations in each patient. Total number of countries and health care sites are greater than 28 and 54, respectively, because some countries and health care sites had more than one scanner.

Slika 23. Razlike između kontinenata, glavnih dobavljača i godina proizvodnje CT uređaja u izvođenju CT pluća za Covid pacijente izražene kroz medijan za CTDI<sub>vol</sub> i DLP

Izvor: <https://pubs.rsna.org/doi/full/10.1148/radiol.2020203453>

Temeljem ovog istraživanja o varijacijama u korištenju CT-a, protokolima i dozama zračenja pokazao se nedostatak smjernica za protokole CT-a, što doprinosi promjenjivoj praksi CT-a kod upale pluća koronavirusne bolesti 2019 (COVID-19) na različitim mjestima zdravstvene zaštite. CT se najčešće koristio za procjenu težine bolesti, a rjeđe za pacijente za koje se sumnja da imaju COVID-19 upalu pluća i one u ambulantnim uvjetima. Nekoliko je zdravstvenih ustanova izvijestilo o usvajanju pisanih pravila o uporabi CT-a kod upale pluća COVID-19 i preferencijalnoj uporabi radiografije prsnog koša u odnosu na CT prsnog koša. Oko 29% pacijenata (225 od 782) imalo je dva do osam pregleda CT-a prsnog koša u manje od 1 mjesec. Protokoli višefaznog skeniranja i njihova povezanost s većom dozom zračenja odnosili su se na 11 od 54 mjesta zdravstvene zaštite iz četiri od 28 zemalja u provedenoj studiji. Zdravstvene ustanove razlikovale su se po svojim CT protokolima: neki su usvojili jednofazni protokol bez kontrasta i izvršili samo jedan CT pregled pluća, neki su koristili protokol CT-a prsnog koša sa smanjenom dozom, a neki su smanjili dozu zračenja za praćenje dijagnoze Covida-19 na CT-u pluća u usporedbi na prvotno CT skeniranje. Samo je jedna od

28 zemalja izvijestila o medijanu CTDIvol manjem od 3 mGy za preglede CT-a prsnog koša. Suprotno tome, niskodozni CT prsnog koša na novijim uređajima (instaliranim između 2016. i 2020.) i oni s iterativnom rekonstrukcijom sugeriraju pravilnu upotrebu uređaja. Primjena CT-a prsnog koša s kontrastom opravdana je u bolesnika za koje se sumnja da imaju vaskularne komplikacije i superponiranu nekrotizirajuću infekciju. Međutim, većina drugih promjena karakterističnih za pluća zaražena COVIDom-19 može se dijagnosticirati jednofaznim nekontrastnim CT-om pluća. Ne postoje određene preporučene ili ciljane doze u bolesnika s upalom pluća COVID-19, ali kada je dijagnostička procjena ograničena na plućni parenhim, CTDIvol manji od 3 mGy, kao što se preporučuje za niskodozni CT prsnog koša za probir raka pluća, može biti dovoljan za COVID -19 upalu pluća. Zaključno, studijom je utvrđena hitna potreba za namjenskom radnom skupinom koja će uspostaviti posebne smjernice i preporuke o učestalosti korištenja CT-a kao i posebne protokole skeniranja kako bi se umanjili učinci kumulativnog izlaganja zračenju iz višestrukih CT pregleda i višefaznih CT protokola (26).

## 5. ZAKLJUČAK

Zbog nedostataka PCR testova CT se počeo koristiti kako u dijagnosticiranju tako i u praćenju napredovanja bolesti, komplikacijama i odgovorima na liječenje kod Covid-19 pacijenata. Među zemljama postoji određena varijabilnost u pogledu upotrebe radiološkog dijagnosticiranja CT-om, uglavnom zbog dostupnosti resursa i opreme, ali i zbog novih znanstvenih podataka o progresiji bolesti, koji s vremenom postaju dostupni. Neovisno o zemlji u kojoj se njihova zdravstvena ustanova nalazi, radiološki tehnolozi bi uvijek trebali voditi brigu o protokolima koje koriste i sukladno tome dozi zračenja koju prima pacijent.

Trenutno ne postoji posebni protokol CT-a za Covid-19 pacijente, međutim većina studija vezana za provedbu CT-a kod sumnje ili poznate upale pluća zbog Covid-19 bolesti izvještava o jednofaznom, bezkontrastnom protokolu niskih doza zračenja. Nekolicina Covid-19 pacijenata ne može zadržati dah tijekom snimanja, pa bi se u svrhu izbjegavanja artefakata pomaka trebali preferirati protokoli s bržim skeniranjem uz upotrebu bržeg vremena rotacije gentryja (0,5 s ili manje) i većih vrijednosti pitcha (veće od 1: 1). Izbor određenih parametara skeniranja ovisi o vrsti i marki CT uređaja, ali općenito gledajući niskodozni CT pluća se može postići koristeći napon cijevi od 100 kV ili manje uz slabu jakost struje. Treba dati prednost upotrebi tehnike automatske modulacije struje cijevi (AEC), jer će ona omogućiti automatsko podešavanje struje cijevi na temelju tjelesnog stanja pacijenta, uzimajući u obzir čimbenike koji omogućuju brže skeniranje. Doza zračenja, izražena kroz CTDIvol, kojoj bi radiološki tehnolozi trebali težiti iznosi 3mGy ili manje, kao što se preporuča kod probira za rak pluća na niskodoznim CT-ovima. Pri spomenutim parametrima dijagnostička vrijednost pregleda ostaje zadovoljavajuća uz višestruko smanjenu dozu koju prima pacijent. Doza zračenja može se dodatno smanjiti na temelju tehnologije skenera ili metode rekonstrukcije (iterativna rekonstrukcija naspram filtrirane stražnje projekcije). Primjena CT-a prsnog koša s kontrastom opravdana je u bolesnika za koje se sumnja da imaju vaskularne komplikacije i superponiranu nekrotizirajuću infekciju.

Zaključno, utvrđena je hitna potreba za uspostavljanjem posebnih smjernica i preporuka o učestalosti korištenja CT-a kao i za posebnim protokolima skeniranja kako bi se umanjili učinci kumulativnog izlaganja zračenju iz višestrukih CT pregleda i višefaznih CT protokola.

## 6. POPIS KRATICA

CT – kompjutorizirana tomografija (eng. *computed tomography*)

CTDI – CT dozni indeks (eng. *CT dose index*)

CTDI – volumni CTDI

DLP – produkt duljine doze (eng. *Dose-length product*)

SSDE - procjena doze specifična za veličinu tijela (eng. *size-specific dose estimate*)

SARS Cov-2 - Severe Acute Respiratory Syndrome Coronavirus-2

COVID-19 - Coronavirus disease 2019

WHO - Svjetska zdravstvena organizacija (eng. *World Health Organization*)

RT-PCR - Reverse transcription polymerase chain reaction

GGO – neprozirnosti mljevenog stakla (eng. *ground glass opacities*)

IAEA - Međunarodna agencija za atomsku energiju (eng. *International Atomic Energy Agency*)

AEC - automatska modulacija struje cijevi (eng. *automatic exposure control*)

ICRP - Međunarodno povjerenstvo za radiološku zaštitu (eng. *International Commission of Radiological Protection*)

LAR - doživotni rizik obolijevanja od karcinoma (eng. *lifetime attributable risk*)

BEIR VII – Biological Effects of Ionizing Radiation 7th Report

DRL - dijagnostičke referentne razine (eng. *Diagnostic Reference Levels*)

CNN - konvolucijske neuralne mreže (eng. *convolutional neural network*)

SNR – odnos signala i šuma (eng. *signal to noise ratio*)

CNR – odnos kontrasta i šuma (eng. *contrast to noise ratio*)

## 7. LITERATURA

1. Čupurdija A, Petrinec B. Kompjuterizirana tomografija – CT. Matematičko – fizički list, LXVIII 2, (2017. – 2018.): 80 – 86.
2. Graovac A, Optimizacija doze i kvalitete slike uređaja za kompjutorsku tomografiju. Diplomski rad. Osijek, 2015. Dostupno na:  
<https://repositorij.fizika.unios.hr/islandora/object/fizoz%3A11/datastream/PDF/view>
3. Huljev V, Čimbenici koji utječu na dozu zračenja kod koronarografije kompjuteriziranom tomografijom. Zagreb, 2018. Dostupno na:  
<https://repositorij.mef.unizg.hr/islandora/object/mef%3A1765/datastream/PDF/view>
4. Novi koronavirus i COVID-19. Pliva Zdravlje, Pristupljeno 19.04.2021. Dostupno na:  
<https://www.plivazdravlje.hr/tekst/clanak/33401/Novi-koronavirus-i-COVID-19.html>
5. Koronavirus.hr. Pristupljeno 20.04.2021. Dostupno na: <https://www.koronavirus.hr/>
6. Kaur, S., Bherwani, H., Gulia, S. et al. Understanding COVID-19 transmission, health impacts and mitigation: timely social distancing is the key. Environ Dev Sustain 23, 6681–6697 (2021).
7. Khaled Habas, Chioma Nganwuchu, Fanila Shahzad, Rajendran Gopalan, Mainul Haque, Sayeeda Rahman, Anwarul Azim Majumder & Talat Nasim (2020) Resolution of coronavirus disease 2019 (COVID-19), Expert Review of Anti-infective Therapy, 18:12, 1201-1211.
8. Kalra, M.K., Homayounieh, F., Arru, C. et al. Chest CT practice and protocols for COVID-19 from radiation dose management perspective. Eur Radiol 30, 6554–6560 (2020).
9. Pontone G, Scafuri S, Mancini ME, Agalbato C, Guglielmo M, Baggiano A, Muscogiuri G, Fusini L, Andreini D, Mushtaq S, Conte E, Annoni A, Formenti A, Gennari AG, Guaricci AI, Rabbat MR, Pompilio G, Pepi M, Rossi A. Role of computed tomography in COVID-19. J Cardiovasc Comput Tomogr. 2021 Jan-Feb;15(1):27-36.
10. Stogiannos N, Fotopoulos D, Woznitza N, Malamateniou C. COVID-19 in the radiology department: What radiographers need to know. Radiography (Lond). 2020 Aug;26(3):254-263.
11. Pan F, Ye T, Sun P, Gui S, Liang B, Li L, Zheng D, Wang J, Hesketh RL, Yang L, Zheng C. Time Course of Lung Changes at Chest CT during Recovery from Coronavirus Disease 2019 (COVID-19). Radiology. 2020 Jun;295(3):715-721.

12. Rotzinger DC, Beigelman-Aubry C, von Garnier C, Qanadli SD. Pulmonary embolism in patients with COVID-19: Time to change the paradigm of computed tomography. *Thromb Res.* 2020 Jun;190:58-59.
13. Qu J, Yang W, Yang Y, Qin L, Yan F. Infection Control for CT Equipment and Radiographers' Personal Protection During the Coronavirus Disease (COVID-19) Outbreak in China. *AJR Am J Roentgenol.* 2020 Oct;215(4):940-944. AJR.20.23112.
14. Nakajima K, Kato H, Yamashiro T, Izumi T, Takeuchi I, Nakajima H, Utsunomiya D. COVID-19 pneumonia: infection control protocol inside computed tomography suites. *Jpn J Radiol.* 2020 May;38(5):391-393.
15. Sakane H, Ishida M, Shi L, Fukumoto W, Sakai C, Miyata Y, Ishida T, Akita T, Okada M, Awai K, Tashiro S. Biological Effects of Low-Dose Chest CT on Chromosomal DNA. *Radiology.* 2020 May;295(2):439-445.
16. Zhu X, Yu J, Huang Z. Low-dose chest CT: optimizing radiation protection for patients. *AJR Am J Roentgenol.* 2004 Sep;183(3):809-16.
17. Kubo T, Ohno Y, Nishino M, Lin PJ, Gautam S, Kauczor HU, Hatabu H; iLEAD study group. Low dose chest CT protocol (50 mAs) as a routine protocol for comprehensive assessment of intrathoracic abnormality. *Eur J Radiol Open.* 2016 Apr 27;3:86-94.
18. Tofighi S, Najafi S, Johnston SK, Gholamrezanezhad A. Low-dose CT in COVID-19 outbreak: radiation safety, image wisely, and image gently pledge. *Emerg Radiol.* 2020 Dec;27(6):601-605.
19. Tabatabaei SMH, Talari H, Gholamrezanezhad A, Farhood B, Rahimi H, Razzaghi R, Mehri N, Rajebi H. A low-dose chest CT protocol for the diagnosis of COVID-19 pneumonia: a prospective study. *Emerg Radiol.* 2020 Dec;27(6):607-615.
20. Ghetti C, Ortenzia O, Maddalo M, Altabella L, Sverzellati N. Dosimetric and radiation cancer risk evaluation of high resolution thorax CT during COVID-19 outbreak. *Phys Med.* 2020 Dec;80:119-124.
21. Padovani R, Compagnone G, D'Ercole L, Orlacchio A, Bernardi G, De Ponti E, Marzola MC, Grande S, Palma A, Campanella F, Rosi A 2020, v, 62 p. Rapporti ISTISAN 20/22 (in Italian) Istituto Superiore di Sanità. Diagnostic reference levels for national practice of diagnostic and interventional radiology and of diagnostic nuclear medicine. Update of Rapporto ISTISAN 17/33.
22. Agostini A, Floridi C, Borgheresi A, Badaloni M, Esposto Pirani P, Terilli F, Ottaviani L, Giovagnoni A. Proposal of a low-dose, long-pitch, dual-source chest CT protocol on third-



- generation dual-source CT using a tin filter for spectral shaping at 100 kVp for CoronaVirus Disease 2019 (COVID-19) patients: a feasibility study. *Radiol Med.* 2020 Apr;125(4):365-373.
23. Shiri, I., Akhavanallaf, A., Sanaat, A. et al. Ultra-low-dose chest CT imaging of COVID-19 patients using a deep residual neural network. *Eur Radiol* 31, 1420–1431 (2021).
24. R. M. James and A. Sunyoto, "Detection Of CT - Scan Lungs COVID-19 Image Using Convolutional Neural Network And CLAHE," 2020 3rd International Conference on Information and Communications Technology (ICOIACT), 2020, pp. 302-307.
25. Steuwe A, Rademacher C, Valentin B, Köhler MH, Appel E, Keitel V, Timm J, Antoch G, Aissa J. Dose-optimised chest computed tomography for diagnosis of Coronavirus Disease 2019 (COVID-19) - Evaluation of image quality and diagnostic impact. *J Radiol Prot.* 2020 Sep;40(3):877-891.
26. Homayounieh F, Holmberg O, Umairi RA, Aly S, Basevičius A, Costa PR, Darweesh A, Gershan V, Ilves P, Kostova-Lefterova D, Renha SK, Mohseni I, Rampado O, Rotaru N, Shirazu I, Sinitsyn V, Turk T, Van Ngoc Ty C, Kalra MK, Vassileva J. Variations in CT Utilization, Protocols, and Radiation Doses in COVID-19 Pneumonia: Results from 28 Countries in the IAEA Study. *Radiology.* 2021 Mar;298(3):E141-E151.

## 8. ŽIVOTOPIS

### OSOBNI PODACI

**Ime i prezime:** Borna Šunjić

**Datum i mjesto rođenja:** 20. siječnja, 1996. god., Split

**Državljanstvo:** Hrvatsko

**Adresa:** Šibenska 9, Split

**Mobitel:** 098/ 185 – 7322

**E-mail:** borna.sunjic123@gmail.com

### OBRAZOVANJE I OSPOSOBLJAVANJE

2002. – 2010.            Osnovna škola „Kman - Kocunar“, Split
2010. – 2014.            I. Jezična gimnazija, Split
2014. – 2017.            Sveučilišni odjel zdravstvenih studija, Split  
Preddiplomski sveučilišni studij  
Smjer: Radiološka tehnologija
2018. – 2021.            Sveučilišni odjel zdravstvenih studija Split  
Diplomski sveučilišni studij  
Smjer: Radiološka tehnologija

### RADNO ISKUSTVO

2017. – 2018.            Stručno osposobljavanje, Klinički bolnički centar Split, Firule
- Veljača, 2020. -        Inženjer medicinske radiologije, Klinički bolnički centar Split, Firule

## **VJEŠTINE I STUDENTSKE AKTIVNOSTI**

2020. - Predsjednik studentskog zbora Sveučilišnog odjela zdravstvenih studija u Splitu

Strani jezici: Engleski (aktivno), Talijanski (aktivno), Španjolski (pasivno)

Rad na računalu: Aktivno i svakodnevno korištenje MS Office paketa i interneta