

VILNIAUS UNIVERSITETAS
MEDICINOS FAKULTETAS

Baigiamasis darbas

Kartotiniai kompiuterinės tomografijos tyrimai. Suminės apšvitos vertinimas
Recurrent Computed Tomography Procedures. Cumulative Exposure
Assessment

Studentė, grupė: **Daira Paškevičiūtė** VI kursas, 11 gr.

Katedra, kurioje ruošiamas ir ginamas darbas: **Biomedicinos mokslų instituto**
Radiologijos, branduolinės medicinos ir medicinos fizikos katedra

Darbo vadovas: doc. dr. Birutė Gricienė

Katedros ir Klinikos vadovas: prof. dr. Algirdas Tamošiūnas

Mokslo tiriamojo darbo įteikimo data _____

Registracijos Nr. _____

2022 m.

Studento elektroninio pašto adresas: daira.paskeviciute@mf.stud.vu.lt

SANTRAUKA

Kompiuterinė tomografija yra greitas ir tikslus diagnostikos metodas, naudojamas kasdienėje medicinos praktikoje. Dėl tyrimo patogumo, pastaraisiais keliais dešimtmečiais vis dažniau atliekami kartotiniai vaizdiniai tyrimai. Kompiuterinė tomografija šiuo metu sudaro tik 9,6 % visų radiologinių procedūrų, tačiau lemia net 61,6 % visų pacientų gaunamų efektinių dozių. Daugėja pacientų, kurie per trumpą laiko periodą (1-5 metus) gauna dideles sumines dozes, siekiančias 100 mSv ir daugiau. Kadangi net mažos dozės gali padidinti riziką per gyvenimą susirgti vėžiu, didelės suminės efektinės dozės, kurias gauna vis daugiau pacientų, kuriems atliekami kompiuterinės tomografijos tyrimai, yra aktuali problema, į kurią atkreipia dėmesį tarptautinės radiologų, radiacinės saugos organizacijos.

Šio darbo tikslas buvo atlikti kartotinių kompiuterinės tomografijos tyrimų suminės apšvitos dozių ir vėžinių susirgimų rizikos vertinimą.

Tyrimui iš KT tyrimų duomenų bazės buvo surinkta nuasmeninta informacija apie vienos Lietuvos ligoninės pacientus (18m. amžiaus ir vyresnius), kuriems per trejus metus (nuo 2019 sausio 1d. iki 2021 gruodžio 31d.) buvo atliktas bent vienas kompiuterinės tomografijos tyrimas.

Atrinkti 5,060 pacientų, kuriems buvo atlikti 2 ir daugiau KT tyrimų, duomenys. Iš jų pasirinkti 103 pacientai, kurių informacija sistemoje buvo pateikta daugiausiai kartų.

Atlikus duomenų analizę nustatyta, jog didžiausia suminė apšvita gauta vieno paciento dėl kartotinių tyrimų buvo 638 mSv, didžiausia papildoma gyvenimo sukauptoji vėžio rizika – 9,78 %. Dažniausia indikacija atlikti kartotinius kompiuterinės tomografijos tyrimus yra onkologinės ligos eigos sekimas (83 % darbui vertintų pacientų).

Raktažodžiai: kompiuterinė tomografija, suminė efektinė dozė, kartotiniai kompiuterinės tomografijos tyrimai

SUMMARY

Computed tomography is a fast and accurate diagnostic tool used in everyday medical practice. Due to the convenience of the imaging technique, recurrent scans have become increasingly common over the last few decades. Computed tomography currently accounts for only 9.6 % of all radiological procedures, but corresponds to as much as 61.6 % of all effective doses delivered to patients. An increasing number of patients are receiving considerably high total

effective doses of 100 mSv or more in a short period of time (1-5 years). As even low doses can increase the lifetime risk of cancer, the high cumulative doses received by an increasing number of patients undergoing computed tomography scans are a cause for concern for many international radiology and radiological protection organizations.

The aim of this study was to carry out an assessment of the cumulative radiation doses and cancer risk of recurrent computed tomography examinations.

For this study, depersonalized information was collected from a computed tomography scan database on patients (aged 18 years and older) in one Lithuanian hospital who had at least one computed tomography scan during a 3-year period (from 1 January 2019 to 31 December 2021). Data from 5,060 patients with 2 or more CT scans were selected. Of these, 103 patients were selected as the ones with the highest number of submissions to the system.

Analysis of the data showed that the maximum cumulative radiation exposure to a single patient was 638 mSv, with a maximum additional cumulative lifetime cancer risk of 9.78%. The most common indication for recurrent computed tomography scans was found to be follow-up of oncological disease (83 % of the patients evaluated).

Key words: computed tomography, cumulative effective dose, recurrent computed tomography examinations

TURINYS

SANTRUMPOS	4
ĮVADAS	5
DARBO TIKSLAS IR UŽDAVINIAI	6
LITERATŪROS APŽVALGA	7
1. Kompiuterinės tomografijos tyrimai	7
1.1. Nuo medicinos personalo priklausomas dozių mažinimas.....	8
1.2. Nuo technologijų pažangos priklausomas dozių mažinimas.....	9
2. Pacientų gaunamos KT dozės.....	11
3. KT tyrimas ir vėžio rizika	13
TYRIMO METODIKA	14
REZULTATAI	16
APTARIMAS	19
IŠVADOS IR PASIŪLYMAI	22
PRIEDAI	24
LITERATŪROS SĄRAŠAS.....	25

SANTRUMPOS

AHARA – didžiausia galima nauda pacientui (angl. *As High As Reasonably Achievable*)

ALARA – žemiausia galima dozė išlaikant teisingai įvertinti įmanomą vaizdo kokybę (angl. *As Low As Reasonably Achievable*)

BEIR VII – biologinių jonizuojančiosios spinduliuotės efektų septinta ataskaita

DLP – dozės ir ilgio sandauga (angl. *dose length product* (mGy*cm))

ED – efektinė dozė (Sv)

FBP – filtruota atgalinė projekcija (angl. *filtered back projection*)

IR – iteratyvi rekonstrukcija

JS – jonizuojančioji spinduliuotė

KT – kompiuterinė tomografija

LAR – per gyvenimą įgyta suminė rizika išsivystyti navikiniam susirgimui dėl gautos jonizuojančiosios spinduliuotės apšvitos (angl. *life accumulated/attributable risk*)

LNT – tiesinė beslenkstinė teorija (angl. *linear non-threshold*)

MELODI – Europos multidisciplininė mažų dozių iniciatyva (angl. *Multidisciplinary European Low Dose Initiative*)

PNET – primityvus neuroektoderminis navikas (angl. *primitive neuroectodermal tumor*)

RadRAT – radiacinės rizikos vertinimo įrankis (angl. *Radiation Risk Assessment Tool*)

TATENA – Tarptautinė atominės energijos agentūra (angl. IAEA – *International Atomic Energy Agency*)

UNSCEAR – Jungtinių Tautų atominės radiacijos efektų mokslinis komitetas (angl. *United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation*)

VHL – von Hippel-Lindau sindromas

ĮVADAS

Diagnostinės ir intervencinės radiologijos šiais laikais nebūtų įmanoma įsivaizduoti be kompiuterinės tomografijos (KT). Dėl geros vaizdų kokybės vertinant oringus (pvz.: plaučiai) ir minkštuosius (pvz.: kepenys) audinius, KT yra pranašesnis tyrimas nei konvencinės radiografijos tyrimai, tokie, kaip rentgenografija, mamografija ir fluoroskopija, kurie susiduria su prastesnės raiškos ir superpozicijos problema ir todėl nėra tokie patikimi vertinant smulkius pakitimus persidengiančiuose audiniuose (1). Dėl vaizdų objektyvumo, KT yra lengviau pritaikoma nei ultragarsinis (UG) tyrimas, kurio kokybė labai priklauso nuo tyrimą atliekančių tyrėjų patirties (2,3). Dėl trumpesnės trukmės ir galimybės saugiai atlikti tyrimą pacientams su tam tikrais implantais (pvz.: magnetinio rezonanso tomografijos (MRT) tyrimui nepritaikytais elektrokardiostimuliatoriais (4,5)) ar kitais jų organizme esančiais feromagnetiniais objektais (pvz.: kulkomis (6)), KT yra patogesnis ir sąlyginai saugesnis tyrimas nei MRT. Vis dėlto, KT tyrimas pasižymi svarbiu trūkumu – pacientas gauna reikšmingą jonizuojančiosios spinduliuotės (JS) dozę, kai tuo tarpu konvencinės radiografijos pacientui suteikiama apšvita yra ženkliai mažesnė, o UG ir MRT tyrimai neskleidžia JS (7).

Nuo KT sukūrimo 1971 metais, šio tyrimo pritaikymas ir kokybė buvo ir vis dar yra tobulinama (8), siekiant gauti kuo tikslesnius vaizdus, tinkamus diagnostikai, tuo pat metu siekiant kiek įmanoma sumažinti JS dozę suteikiamą pacientui (9). Nors vieno bet kurios vienos srities vienfazio KT tyrimo vidutinė efektinė dozė (ED) (išskyrus galvos KT) yra tokia, kaip vidutinė metinė gamtinės apšvitos dozė (3 mSv), arba net iki penkių kartų didesnė (10), paciento tyrimo metu gauta spinduliuotė tik nežymiai didintų jo riziką gyvenimo eigoje susirgti arba numirti nuo JS apšvitos sukulto onkologinio susirgimo, jei toks tyrimas būtų tik vienas per ilgą laiko tarpą (11). Prieš kelis dešimtmečius, vieno paciento suminė iš visų tyrimų gauta dozė nesiekdavo 100 mSv per visą gyvenimą (12). Tačiau KT yra lengvai pritaikomas ir nesunkiai prieinamas tyrimas, kurio nauda diagnostikoje ir ilgalaikiame stebėjime yra nenuginčijama, ir todėl šiais laikais tyrimas taikomas vis dažniau, tam pačiam pacientui neretai skiriant pakartotinius tyrimus. Nors KT sudaro tik 11 % visų JS skleidžiančių tyrimų, paciento KT metu gaunamos dozės yra tokios didelės, kaip visų kitų tyrimų kartu sudėjus, ir kasmet KT pritaikymas klinikinėje praktikoje tik dažnėja (apie 10 % per metus) (13). Didelių dozių (100 mSv ir daugiau) apšvitos gavimas didina paciento riziką susirgti arba mirti nuo JS sukulto vėžio – vienas iš šimto onkologinių susirgimų gali būti sukeltas vienkartinės 100 mSv apšvitos (11).

Pacientų, kurie per trumpą laiko tarpą (1-5 metus) yra gavę daugiau nei 100 mSv ED, vis daugėja. 2019 metais vykusio Tarptautinės atominės energijos agentūros (TATENA; angl. IAEA –

International Atomic Energy Agency) susitikimo metu buvo pristatyta surinkta informacija iš 26 šalių apie 3,2 milijono pacientų, kuriems 1-5 metų laikotarpyje buvo atlikti vaizdiniai tyrimai ir kurie šių tyrimų metu gavo 100 mSv ir didesnę apšvitos dozę, ir yra tikėtina, jog pasaulyje yra dar apie 0,9 milijono pacientų gavusių dideles sumines dozes. Prieš susitikimą atliktame tyrime iš 20 ligoninių (Europoje, Afrikoje ir Azijoje) pateiktų duomenų apie 0,7 mln. pacientų buvo išsiaiškinta, jog 0-5 % (vidutiniškai 0,64 %) šių pacientų gavo >100 mSv ED. (14). Tokia informacija kelia nerimą ne tik dėl dideles dozes gavusių pacientų ateities perspektyvų ir padidėjusios rizikos susirgti onkologiniu susirgimu per artimiausius 2-10 metų (minimalus latentinis periodas atitinkamai leukemijai ir solidiniams navikams) (15), tačiau ir dėl toliau atliekamų vis didesnių kiekių KT tyrimų.

KT tyrimų metu pacientų vis dažniau gaunama didelė (100 mSv ir didesnė) suminė medicininė apšvita yra svarbi problema klinikinėje praktikoje. KT yra tikslus ir kai kuriais atvejais sunkiai pakeičiamas tyrimas, todėl yra svarbu atsižvelgti į gaunamos naudos ir pacientui padaromos žalos santykį, indikacijų tyrimo paskyrimui tikslumą, techninius KT parametrus ir paciento individualias savybes, nulemiančias ED bei visos su gaunama JS susijusios informacijos rinkimą ir pritaikymą paciento diagnostikos, gydymo ir stebėjimo procese. Suminės apšvitos problema tampa vis aktualesne dėl ilgėjančios gyvenimo trukmės ir gerėjančių lėtinių bei onkologinių susirgimų gydymo rezultatų, reikalaujančių ilgesnės progresavimo arba recidyvų stebėjimo trukmės taikant vaizdinius tyrimus. Spręsti šią problemą įmanoma įvairiais būdais, tarp jų: technologijų pažanga ir jos taikymas, tyrimų indikacijų ir skenavimo protokolų atnaujinimas, nuolatinis radiologų ir technologų kvalifikacijos kėlimas bei tinkamas pacientų gautos suminės apšvitos informacijos kaupimas ir vertinimas (12–14,16–19).

Šiame darbe analizuojami galimi didėjančių JS dozių problemos sprendimo būdai ir įvertinama vienos Lietuvos ligoninės visų KT tyrimą gavusių pacientų pasirinktos pacientų grupės suminė ED apibrėžtu laikotarpiu.

DARBO TIKSLAS IR UŽDAVINIAI

Darbo tikslas: atlikti kartotinių KT tyrimų suminės apšvitos dozių ir vėžinių susirgimų rizikos vertinimą.

Uždaviniai:

1. Išsiaiškinti kartotinių KT tyrimų sumines ED specifinėje populiacijoje (vienos ligoinės ≥ 18 m. amžiaus pacientai) apibrėžtu laikotarpiu (nuo 2019m. sausio 1d. iki 2021m. gruodžio 31d.);
2. Išsiaiškinti dažniausiai pasitaikančias indikacijas, dėl kurių atliekami kartotiniai kompiuterinės tomografijos tyrimai;
3. Įvertinti pasirinktų pacientų riziką iki gyvenimo pabaigos (pagal tikėtiną gyvenimo trukmę) susirgti onkologine liga dėl gautos JS apšvitos;
4. Apžvelgti KT tyrimų metu gautos JS apšvitos dozių mažinimo būdus, taikomus, arba svarstomus taikyti, pasaulyje ir Lietuvoje.

LITERATŪROS APŽVALGA

1. Kompiuterinės tomografijos tyrimai

Per 50 metų nuo KT tyrimo taikymo medicininėje praktikoje pradžios šio radiologinio tyrimo kokybė, saugumas ir pritaikymo galimybės labai pagerėjo, tačiau ilgą laiką daugiausiai dėmesio technologijų tobulinime buvo skirta gaunamų vaizdų kokybės gerinimui. Iki XXI a. pradžios būtent diagnostiskai aiškesnio vaizdo išgavimas buvo labiau aktualus kuriant naujus vaizdinimo protokolus, nei pacientų gaunamas JS kiekis (20). Naujo tūkstantmečio pradžioje pradėjo didėti susirūpinimas ne tik dėl vis dažniau pacientų gaunamų kartotinių KT tyrimų bei jų lemiamų suminių apšvitos dozių, tačiau ir galimų JS pasekmių sveikatai – buvo skaičiuojama, jog apie 1,5 % – 2 % visų onkologinių susirgimų JAV galėtų būti išsivystę dėl KT tyrimų metu gaunamos apšvitos (9).

Pastaraisiais dešimtmečiais vis daugėja ne tik žmonių, kurie per visą savo gyvenimą gauna 100 mSv ir didesnę suminę apšvitą, tačiau ir tokių, kurie tokią suminę apšvitą gauna per trumpą laiko tarpą (1-5 metus) (14). Nors pagal tiesinę besklenkstinę teoriją (LNT) net visai maža apšvitos dozė yra reikšminga ir todėl dozių mažinimas visomis įmanomomis priemonėmis yra pageidautinas, nekyla abejonių, jog rizikos grupėms – didžiausias dozes gaunantiems pacientams – dozių mažinimas yra naudingiausias (21).

Tarptautinės atominės energijos agentūros (TATENA) 2019 metais organizuotame techniniame susitikime dėl pakartotinius radiologinius tyrimus gaunančių pacientų JS apšvitos buvo sudarytos rekomendacijos gydytojams, susiduriantiems su pacientais, gaunančiais kartotinius radiologinius tyrimus, bei rekomendacijos medicinos pramonei ir sveikatos apsaugos sistemai,

kurių indėlis sprendžiant didelių suminių apšvitos dozių problemą taip pat yra svarus (14).

Pagrindinės susitikime išskirtos rekomendacijos:

- Surinkti informaciją apie kartotinius ir didelės suminės apšvitos radiologinius tyrimus iš šalių, apie kurias informacijos šiuo metu nėra, ir įvertinus jų fiksuojamas dozes, skatinti pritaikyti dozių mažinimo priemones;
- Tyrimus skiriančių gydytojų žinių apie radiologinių tyrimų žalą pacientams, naujausias tyrimų užsakymo gaires ir pacientui jau atliktus tyrimus, gerinimas;
- Radiologų, radiologijos technologų ir medicinos fizikų kvalifikacijos kėlimas;
- Pacientų, sergančių lėtinėmis ligomis, kuriems ilgai/pakartotinai reikės vaizdinių tyrimų, tyrimų optimizavimas ir individualizavimas; sukurti modelius numatymui, kurie pacientai gaus dideles dozes; tai padėtų įvertinti naudos ir žalos santykį, nuspręsti, ar galima keisti JS skleidžiančius tyrimus į nejonizuojančius;
- Sukurti ED matavimą, kuris įvertintų paciento kūno sandarą, amžių ir lytį;
- Automatinės dozių registravimo sistemos, kuri numato dozes su standartizuotais organui specifinių dozių skaičiavimu, sukūrimas; sistemoje turėtų būti spalvomis koduojami perspėjimai apie dideles sumines apšvitos dozes;
- Medicinos pramonė galėtų sukurti KT aparatūrą, kuri gali pasiekti pakankamą vaizdo kokybę taikant 1 mSv nesiekiančias dozes;
- Sveikatos priežiūros sistemoje priimti tvarką dėl pacientų gaunamos apšvitos registravimo ir vertinimo, ir šios informacijos pasiekiamumo sveikatos specialistams (elektroninėje sveikatos sistemoje).

Šiuo metu prieinamas apšvitos mažinimo priemones galima išskirti į dvi dideles grupes: priklausomas nuo medicinos personalo ir priklausomas nuo technologijų pažangos.

1.1. Nuo medicinos personalo priklausomas dozių mažinimas

Viso medicinos personalo, ne tik tiesiogiai su tyrimais dirbančių radiologų ir radiologijos technologų, žinios apie KT ir pacientų gaunamą apšvitą šių tyrimų metu turi įtakos racionalių su vaizdiniais tyrimais susijusių sprendimų priėmimui. Specifinių indikacijų paisymas, naudos ir žalos santykio įvertinimas, alternatyvių vaizdinių tyrimų pasirinkimo galimybės apsvaistymas, yra aktualūs būdai referuojančių gydytojų darbo praktikoje, galintys sumažinti ne tik pacientų gaunamas dozes, tačiau ir išvis išvengti nereikalingų ar per didelės apimties KT tyrimų (9,22). Paskirtas KT tyrimas bet koku atveju bus bent iš dalies žalingas, tad siekiant kuo didesnės naudos,

svarbūs yra visi tyrimo pasirinkimo, vykdymo ir rezultatų gavimo procesų aspektai, tarp jų ir tinkamas bei pakankamai išsamus referavimas, nuo kurio gali priklausyti ir KT vaizdus vertinančio radiologo darbo kokybė, taigi, ir viso atliekamo tyrimo nauda (23). Situacijose, kuriose yra aptinkami atsitiktiniai radiniai ir svarstomas papildomas ar kartotinis ištyrimas KT, turėtų būti atsižvelgiama į kliniką, epidemiologinius faktorius ir toliau sprendžiama multidisciplininėje komandoje arba remiantis priimtomis gairėmis, siekiant mažiausios žalos pacientui, o ne didžiausios sąžinės ramybės gydytojui (13).

Specifiškai radiologijos srityje dirbantis medicinos personalas turi ko gero daugiausiai įtakos paciento gaunamai JS dozei (16). Nuo jų priklauso tinkamas aparatūros ir paciento paruošimas procedūrai, technologijų optimizavimas ir tinkamų protokolų taikymas, tyrimo individualizavimas pagal paciento fizines savybes bei reikalingos informacijos suteikimas, sudarantis galimybes pacientui duoti informuotą sutikimą (13,16,24,25). Nors technologijų pažanga ir aparatūros bei programinės įrangos spartus vystymasis per pastaruosius dešimtmečius leido gerokai sumažinti pacientų gaunamas JS apšvitosis dozes, gebėjimas šias technologijas tinkamai pritaikyti ir priimti galutinius sprendimus (prisiimant už juos atsakomybę) tenka radiologams, radiologijos technologams ir medicinos fizikams. Vienas iš perspektyvių problemos sprendimo būdų – radiologijos skyriaus pastovia dalimi esančios specializuotos ir į dozių mažinimo tikslą orientuotos komandos, sudarytos iš technologų, radiologų ir medicinos fizikų, kurios atrenka didžiausias dozes turinčius ir dažniausiai naudojamus protokolus, juos įvertina ir atnaujina, išlaikant vaizdų kokybę bet sumažinant JS apšvitą, įsteigimas (26). Nuolat tobulėjant technologijoms ir gerėjant jų pritaikymo galimybėms reikėtų nepamiršti ir personalo kvalifikacijos kėlimo bei tarpdisciplininio bendradarbiavimo (14).

1.2. Nuo technologijų pažangos priklausomas dozių mažinimas

Nuo KT pritaikymo medicinoje iki šio amžiaus pradžios (1972-2000), KT kaip tyrimo metodas buvo taikomas rečiau, vaizdai buvo prastesnės diagnostinės vertės (10mm storio pjūviai, su 10 mm ir didesniais tarpais) ir mažiau ligoninių turėjo prieigą prie KT aparatūros. tad retas pacientas gaudavo 100 mSv ar didesnę JS per visą savo gyvenimą (12). Spartėjantis technologijų tobulinimas ir platesnis jų prieinamumas leido ne tik pasiekti geresnius diagnostinius rezultatus, tačiau ir tapo didžiausių JS dozių šaltiniu medicinos praktikoje (13). Nors diagnostikai naudingi patobulinimai, tokie kaip greitas viso kūno skenavimas, daugiafaziai tyrimai, persidengiantys pjūviai ir kiti prisidėjo prie dozių didinimo, buvo pradėti taikyti ir nauji ar atnaujinti kylančios dozių problemos sprendimo būdai – iteratyvi rekonstrukcija, dozės moduliavimas ir kiti (17). Kai

kurie dozių mažinimo parametrai yra prieinami jau seniai, tačiau nuolatinė pusiausvyros tarp mažiausios įmanomos dozės (ALARA principas; angl. *As Low As Reasonably Achievable*) ir geriausių įmanomų rezultatų (AHARA principas; angl. *As High As Reasonably Achievable*) paieška vis dar vyksta (18,25).

Vieni iš dažniausiai modifikuojamų parametrų siekiant sumažinti JS dozes yra rentgeno vamzdžio srovės stiprio nustatymai, vamzdžio įtampa, triukšmo lygio reguliavimas (angl. *denoising techniques*), žingsnio ilgis ir iteratyvi rekonstrukcija (IR).

Svarbūs modifikuotini ekspozicijos elementai yra rentgeno vamzdžio įtampa (matuojamas kVp) ir srovės stiprumas (matuojamas mA), bei stiprio ir ekspozicijos trukmės produktas (matuojamas mAs). Nuo šių elementų priklauso ne tik paciento gaunama JS dozė, tačiau ir gaunamo vaizdo kokybė (27). Didinant įtampą gaunama mažesnė dozė ir mažesnis vaizdo kontrastas bei didesnis triukšmo lygis. Tuo tarpu mažinant stiprį ir ekspozicijos trukmę pacientas gauna mažesnę dozę ir prastėja vaizdo kokybė. Dėl atitinkamai eksponentinės (įtampai) ir tiesioginės (stiprio ir ekspozicijos sandaugai) priklausomybės tarp dozės ir vaizdo kokybės, reikalingas adekvatus parametrų reguliavimas atsižvelgiant į paciento svorį arba taikant automatinį vamzdžio srovės moduliavimą (28). Kai kuriais atvejais (pvz.: atliekant KT su kontrastu) sumažinta įtampa gali pagerinti kontrastą, kartu sumažinant ir dozę (29). Vamzdžio srovės stiprio sumažinimas išlaikant vertinti tinkančią KT vaizdo kokybę įmanomas ir naudojamas nepriklausomai nuo to, koks vaizdų rekonstrukcijos metodas yra taikomas, tačiau ypač mažas mAs reikšmes galima pasiekti su IR (30).

IR yra senas KT vaizdų rekonstrukcijos metodas, kuris ilgą laiką nebuvo taikytas medicinos praktikoje dėl ilgai trunkančio vaizdų rekonstravimo. Šiuo metu, dėl technologijų pažangos ir galingesnių kompiuterių, IR yra lengviau pritaikyti, ir skaičiavimai, reikalingi rekonstrukcijai, užtrunka trumpiau (18). IR yra pranašesnė nei filtruota atgalinė projekcija (FBP; angl. *filtered back projection*), kuri yra dažniausiai šiuo metu taikomas rekonstrukcijos būdas: taikant IR pacientas gauna mažesnę apšvitos dozę (nuo 5-9 % iki 50 %), vaizdai yra geresnės kokybės ir pasižymi mažiau išreikštu triukšmu. Tačiau IR yra technologiškai brangi rekonstrukcija (reikalinga galinga kompiuterinė įranga skaičiavimams atlikti). Dėl kitokios nei FBP gaunamos vaizdo „tekstūros“, kuri yra neįprasta šiuo metu praktikuojantiems ir besimokantiems radiologams, teisingai vertinti su IR gautus vaizdus reikėtų mokytis papildomai ir perėjimą nuo FBP prie IR vykdyti palaipsniui (18,19,28,30). Dėl šių priežasčių – saugumo, kokybės ir kainos santykio – iteratyvi rekonstrukcija yra taikoma medicininėje praktikoje dažniau, nei prieš 20 metų, tačiau vis tik yra ne itin populiar.

2. Pacientų gaunamos KT dozės

2019 metais vykusio TATENA tarptautinio susitikimo metu įvertinus 26 šalių surinktus duomenis 3,2 milijono pacientų gautas didesnes nei 100 mSv medicininės JS apšvitos dozes, ir atsižvelgiant į trūkstamą informaciją apie galimai dar 0,9 milijono tokių pacientų, buvo prieita prie išvados, kad situacija yra blogesnė, nei buvo spėjama, pasauliniu mastu (14). Susitikimo metu buvo sukurtos rekomendacijos, turinčios padėti spręsti pakartotinių KT tyrimų metu pacientų gaunamą suminę apšvitą. Tarp šių rekomendacijų įvardijamas ir tinkamas pacientų gaunamų apšvitos dozių informacijos kaupimas bei šios informacijos pritaikymas klinikinėje praktikoje apsisprendžiant dėl pacientui reikalingo vaizdinio tyrimo poreikio (pagal aiškias indikacijas), tinkamiausio tyrimo nusprendus tokį atlikti, ir paties tyrimo parametrų. Informacijos kaupimui, sistemimui ir gydytojams bei pacientams patogiai prieigai naudinga būtų TATENA dar 2009 metais pristatyta išmaniosios kortelės (angl. *Smart Card*) iniciatyva, kurioje ne tik fiksuojamos paciento gaunamos dozės, tačiau jos konvertuojamos į ED bei sumines ED. Nors šios ir panašių programų naudojimas didėja, yra svarstymų, jog jos galėtų trukdyti gydytojui priimti sprendimą apie reikalingą vaizdinį tyrimą, jei pacientas jau yra gavęs didelę suminę dozę iš ankstesnių tyrimų (31). Taip pat kyla klausimas ir dėl ED matavimo bei sekimo naudingumo siekiant įvertinti individualią vėžio riziką. ED tinkamos lyginant skirtingų tipų tyrimus tarpusavyje, bet negali būti naudojamos apskaičiuoti absoliučią riziką kiekvienam atskiram pacientui, nes yra naudojamosi statistiniais, generalizuotais daugikliais (25,31), nebent ED skaičiuojamos KT aparatūros tyrimo metu specifiskam pacientui (32). Šiuo metu Lietuvoje jokia dozių sekimo programa nėra taikoma.

Vidutinės suminės apšvitos dozės, kurias gauna pacientai, pastaruoju metu didėja dėl galimybės greitai atlikti geros kokybės KT tyrimus bei juos derinti su kitais vaizdinimo metodais (hibridiniais tyrimais, pvz.: PET/KT) (12). Jungtinių Tautų atominės radiacijos efektų mokslinio komiteto (UNSCEAR; angl. *United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation*) 2021m. ataskaitos duomenimis KT tyrimai sudaro tik 9,6 % visų radiologinių tyrimų ir procedūrų (neįskaitant radioterapijos), tačiau net 61,6 % visų ED (33). KT tyrimų skaičius (kiekybiškai) padidėjo apie 80 %, visų ED dalis padidėjo nuo 37 % iki 62 %, palyginus su paskutine UNSCEAR ataskaita, išleista 2008m.

KT tyrimų metu gaunamos apšvitos kiekis skiriasi priklausomai nuo tyrimo parametrų, vaizdinamosios kūno srities bei individualių paciento savybių. Nors parametrai gali būti keičiami siekiant geriausio vaizdo kokybės ir mažiausios pacientui suteikiamos apšvitos santykio, pacientui specifiskų savybių (pvz.: kūno masės, amžiaus) koreguoti negalime. Nekoreguotini parametrai

turėtų būti įvertinami skaičiuojant realias ED (34,35). Į skirtingai organų sugeriamą JS atsižvelgiama taikant organų svertinius daugiklius.

Nors gaunamos apšvitos kiekis nėra pastovus dydis, yra žinomi ir klinikinėje praktikoje naudojami vidutiniai skirtingų anatominių sričių numatomi dydžiai. Šios apskaičiuotos generinės dozės nėra tinkamos individualiai paciento dozei ar rizikai vertinti, tačiau suteikia galimybę lyginti skirtingų tyrimų rūšis tarpusavyje renkantis optimaliausią vaizdinimo strategiją kiekvienam pacientui pagal situaciją (7). Pagrindinės rutininių KT tyrimų anatominės sritys ir jų teorinės ED pateikiamos 1 lentelėje.

1 lentelė. Efektinės dozės pagal anatominę sritį.

Sritis	Osei ir Darko (7)		Smith-Bidman (34)		Vilar-Palop et al. (36)	
	Ribos	Vid.	Ribos	Vid.	Ribos	Vid.
Galva	1,1 – 2,5	1,8	0,27 – 5,8	2,1	0,9 – 2,6	1,7
Krūtinė	3,6 – 13,8	7,9	1,7 – 24	8,2	4,6 – 10,1	7,0
Pilvas	–	–	–	–	5,6 – 8	6,8
Dubuo	–	–	–	–	5,7 – 9,9	7,4
Pilvas ir dubuo ¹	5,4 – 19,8	13,6	2,9 – 43	15	–	–

Pateikti intervalai (ribos) ir vidurkiai (vid.), mSv

Atliekant atskirų kūno sričių (ne viso kūno) KT, pacientas gauna skirtingas ED, iš kurių didžiausios yra abdominalinės ir dubens sritys tyrimų metu. Įvairių šaltinių duomenimis ED svyruoja tarp vidutiniškai 13,6 mSv (7) ir 15 mSv (34) bendro šių anatominių sričių vienfazio KT tyrimo be kontrasto metu. 2016m. išleistos literatūros apžvalgos duomenimis, vidutinė ED, gaunama abdominalinės ir dubens sričių KT tyrimo metu, buvo įvardinta atitinkamai 8,1 mSv ir 8,3 mSv suaugusiems pacientams (36). Pateikti duomenys apie ED varijuoja; dozės, gaunamos atliekant tuos pačius tyrimus, skiriasi ne tik tarp įvairių šalių ar regionų, tačiau ir šalies viduje, tarp ligoninių, dėl optimizacijos trūkumo. Nors tyrimai paprastai atliekami vadovaujantis ALARA principu, vis dar yra susiduriama su per didelių dozių problema. Priežasčių optimizavimo trūkumui yra ne viena, tačiau pagrindinės, kurias įvardija dauguma, yra:

- pasipriešinimas kaitai;

¹ Šaltinių, kuriuose pateikta tik suminė pilvo ir dubens sričių dozė, duomenys įvardinti šioje eilutėje.

- laiko ir resursų ribotumas (yra aktualesnių, kasdienių problemų, kurias reikia spręsti);
- sudėtinga organizacinė struktūra (skirtingas požiūris ligoninėse, esančiose centruose, ir ligoninėse, esančiose rajonuose);
- vadovybės palaikymo trūkumas;
- KT įrangos skirtumai (senesnė aparatūra turi mažiau galimybių dozių mažinimui);
- KT protokolų skirtumai (protokolai skiriasi skirtingai įrangai; protokolai labiau veikia dozių svyravimą nei aparatūra) (37).

3. KT tyrimas ir vėžio rizika

Pagrindinė problema, kuri yra iškeliamą kalbant apie vis dažniau pacientų gaunamas didelės (≥ 100 mSv) sumines dozes, yra JS sukeliama atsitiktinių (stochastinių) reiškinių, tokių kaip vėžio, padidėjusi rizika. Nors nėra visiškai nekenksmingos JS dozės, ir daugumos yra pripažįstama LNT rizikos teorija, teigianti, kad ir mažų dozių JS gali sukelti pažaidas DNR, būtent didelės dozės kelia daugiausiai nerimo (9,11). Dėl augančio KT populiarumo (dėl trumpos tyrimo trukmės, geros kokybės vaizdų ir naudos klinikinėje praktikoje), KT dabar vis dažniau taikoma ne tik labai sunkios būklės pacientams, tačiau ir lengvai sergantiems ar stebimiems pacientams, kurie neturi jokių klinikinių požymių arba galėtų būti laikomi sveikais (pasiekę ligos remisiją) (34).

Vertinant per gyvenimą įgytą suminę riziką išsivystyti navikiniam susirgimui dėl gautos JS apšvitos (LAR – angl. *life accumulated/attributable risk*), yra išskiriamos šios labiausiai pažeidžiamos pacientų grupės:

- vaikai ir jauni suaugusieji (yra labiau radiojautrūs ir turi ilgesnę tikėtiną gyvenimo trukmę, kurios metu gali išsivystyti JS indukuotas vėžys);
- moterys;
- pacientai, gaunantys kartotinius tyrimus (dažniausiai pacientai, kurie serga lėtinėmis ligomis, pvz.: Krono liga, renalinė kolika; taip pat sergantys onkologinėmis ligomis, kuriems yra taikomas ligos stebėjimas atliekant kartotinius KT tyrimus);
- pacientai, kuriems įtariama gyvybei pavojinga ūminė būklė (21,32,38).

Vis dėlto, didžiausias sumines dozes gauna ir daugiausiai KT tyrimų yra atliekama vyresnio amžiaus pacientams, pacientams su politrauma ar kita gyvybei pavojinga būkle, onkologiniams ir žmogaus imunodeficitu virusu (ŽIV) infekuotiems pacientams – visą šią grupę vienija trumpesnė tikėtina gyvenimo trukmė (32).

Po biologinių JS efektų septintos ataskaitos (BEIR VII) išleidimo padidėjus susidomėjimui realia JS didinama rizika susirgti pirmine arba antrine onkologine liga ir mirti nuo jos, buvo pradėta daugiau kalbėti apie tyrimus, skirtus specifiskai vėžio rizikai dėl JS nagrinėti bei problemos sprendimams ieškoti. Vienas iš tokių projektų – Europos multidisciplininė mažų dozių iniciatyva (angl. *Multidisciplinary European Low Dose Initiative*: MELODI). Viena iš tyrimų krypčių yra vėžio rizikos priklausomybė nuo dozės ir dozės dažnio; yra tiriami pagrindiniai mechanizmai, sveikatos rizikos vertinimas, JS apšvitos poveikio charakteristika (39). MELODI taip pat neatmeta galimybės, jog genetiniai bei socialiniai (pvz.: rūkymas) faktoriai, gali turėti įtakos JS poveikiui specifinių grupių pacientams ir jų sergamumui vėžiu – kol kas yra turima per mažai duomenų, tačiau galbūt ateityje bus kuriami KT tyrimų protokolai tam tikroms žmonių grupėms, siekiant tikslingai sumažinti dozes ir LAR.

TYRIMO METODIKA

Tyrimui iš KT tyrimų duomenų bazės buvo surinkta nuasmeninta informacija apie vienos Lietuvos ligoninės pacientus (18m. amžiaus ir vyresnius), kuriems per trejus metus (nuo 2019 sausio 1d. iki 2021 gruodžio 31d.) buvo atliktas bent vienas KT tyrimas. KT tyrimai buvo atlikti su vienu iš 3 KT aparatų: 64 sluoksnių General Electric (GE) CT64, 64 sluoksnių GE Discovery 750, 256 sluoksnių GE Revolution.

Iš gautos informacijos apie 30 313 pacientus buvo atrinkti 5 060 (16,7 % visų) pacientų, kuriems buvo atlikti 2 ir daugiau KT tyrimų, duomenys. Šie duomenys buvo sugrupuoti pagal tai, kiek tyrimų (nuo 2 iki 18²) gavo pacientai. Buvo apskaičiuotos vidutinės kiekvienos grupės dozės (DLP reikšmės) bei išskirtos didžiausios suminės dozės grupėse. Visų grupių apibendrinta informacija pateikiama 2 lentelėje.

2 lentelė. Pacientų pasiskirstymas pagal kartotinių KT tyrimų skaičių bei suminės kiekvienos grupės DLP reikšmės.

Atlikti tyrimai	Pacientų kiekis	Vidutinė suminė DLP reikšmė, mGy*cm	Didžiausia suminė DLP reikšmė, mGy*cm	Pacientų skaičius nuo visų gavusių KT tyrimą, %
2	2834	2731,6	21948	9,35
3	1081	4681,8	22938	3,57

² Iš viso 16 grupių; nei vienas pacientas negavo lygiai 15 tyrimų.

4	483	6696,5	26673	1,59
5	261	7966,8	25590	0,86
6	148	9009,0	30449	0,49
7	104	8884,6	34899	0,34
8	56	9498,2	32965	0,18
9	32	9276,3	35899	0,11
10	18	7846,8	39084	0,06
11	11	6145,7	20867	0,04
12	12	4890,9	8243	0,04
13	7	11620,4	42533	0,02
14	4	3713,5	4120	0,01
16	3	4964,0	7099	0,01
17	3	9708,0	12719	0,01
18	3	5940,3	7549	0,01

DLP – dozės ir ilgio sandauga; KT – kompiuterinė tomografija

Iš 5 060 pacientų, gavusių kartotinius tyrimus, tolesnei analizei buvo pasirinkti 103 pacientai, kurių tyrimų informacija sistemoje buvo pateikta daugiausiai kartų.

Naudojantis Microsoft Office Excel (2013) programa, duomenys apie kiekvieno paciento gautus tyrimus buvo apibendrinti, apskaičiuotos gautos suminės, vidutinės suminės, didžiausios ir mažiausios dozės (DLP reikšmės). Gautų duomenų statistinė analizė buvo atlikta naudojant SPSS 22.0 programą.

Išvestinių dydžių – ED ir LAR – apskaičiavimas buvo atliktas atsižvelgiant į analizei pasirinktų pacientų amžių, lytį, pacientams atliktų KT tyrimų anatomines sritis. Skaičiuojant ED buvo naudojamos Amerikos medicinos fizikų asociacijos (angl. AAPM – *American Association of Physicists in Medicine*) pateiktomis k faktoriaus atskiroms kūno sričių reikšmėmis (40). Apatinių galūnių KT tyrimų dozių skaičiavimui naudotasi k faktoriaus reikšmėmis, pateiktomis Saltybaeva et al. (41). LAR buvo apskaičiuota naudojantis Jungtinių Amerikos Valstijų Nacionalinio Vėžio Instituto internetine laisvos prieigos skaičiuokle RadRAT (angl. *Radiation Risk Assessment Tool* – radiacinės rizikos vertinimo įrankis) (4.2.1 versija) (42), pateikta adresu: <https://radiationcalculators.cancer.gov/radrat>.

REZULTATAI

Buvo išanalizuoti 103 pacientų duomenys. Tiriamieji pagal lytį buvo 44 vyrai ir 59 moterys. Tyrimę dalyvavę vyrai ir moterys buvo tokio paties amžiaus – jų amžius statistiškai reikšmingai nesiskyrė. Bendra abiejų grupių amžiaus mediana buvo 61 metų (vid. vyrų amžius 59,8m. ir moterų 59,7m.). Vertintas paciento amžius pirmo gauto tyrimo metu.

Tarp vyrų ir moterų nebuvo rasta skirtingo tyrimų skaičiaus. Tirtos grupės pacientų gautos suminės dozės (DLP reikšmės) statistiškai reikšmingai ($Z = -3,333$; $p = 0,001$) buvo didesnės vyrų ($M = 15845,95$; $SD = 9649,97$) negu moterų ($M = 10404,78$; $SD = 7090,18$). Vyrai ($M = 739,09$; $SD = 3102,11$) statistiškai reikšmingai ($Z = -2,847$; $p = 0,004$) gavo didesnes ED negu moterys ($M = 168,03$; $SD = 472,84$). Tyrimė nagrinėtų pacientų LAR procentais buvo vienoda – nebuvo rastas statistiškai reikšmingas skirtumas tarp lyčių. Kintamųjų palyginimas pagal lytį pateikiamas 3 lentelėje. Statistiškai reikšmingi skirtumai ($p < 0,05$) pažymėti paryškintu šriftu.

3 lentelė. Kintamųjų palyginimas tarp vyrų ir moterų

Kintamieji	Vyrai	Moterys	Z		Vyrai	Moterys
	Vidurkinis rangas (n = 44)	Vidurkinis rangas (n = 59)			M (SD)	M (SD)
Amžius	50,89	52,83	-0,327	0,744	59,34 (10,89)	59,79 (12,75)
Tyrimų skaičius	56,57	48,59	-1,362	0,173	8,23 (3,23)	7,79 (3,64)
Suminė DLP	63,36	43,53	-3,333	0,001	15845,95 (9649,97)	10404,78 (7090,18)
Suminė ED	61,70	44,76	-2,847	0,004	739,09 (3102,11)	168,03 (472,84)
LAR (%)	5,14	4,5	-0,780	0,435	3,09 (2,44)	3,59 (2,79)

Z – Z testo koeficientas, p – reikšmingumo lygmuo, M – vidurkis, SD – standartinis nuokrypis. DLP – dozės ir ilgio sandauga; ED – efektinė dozė; LAR – per gyvenimą įgyta suminė rizika išsivystyti navikiniam susirgimui dėl gautos jonizuojančiosios spinduliuotės apšvitos

Pakartotinius KT tyrimus, kurie buvo atlikti pacientams, galima suskirstyti į keturias grupes pagal tyrimo indikacijas:

1. Dėl onkologinės ligos nustatymo ir sekimo – 85 pacientai (83 %)

2. Dėl infekcijos – 1 pacientas (1 %)
3. Dėl neinfekcinės ir neonkologinės kilmės susirgimo – 2 pacientai (2 %)
4. Dėl daugiau nei vienos aukščiau išvardintų indikacijų – 15 pacientų (14 %)

Dažniausiai stebėti neinfekcinės ir neonkologinės kilmės susirgimai buvo ūminės būklės: įvairios vidutinio dydžio kraujagyslių patologijos, plaučių arterijų tromboembolija (PATE), aortos disekacija, neaiškios kilmės pilvo skausmas.

Iš 15 pacientų, gavusių kartotinius KT tyrimus dėl daugiau nei vieno tipo indikacijų, 9 (60 %) jų buvo onkologinės ir ūminės būklės, 3 (20 %) onkologinės ir infekcinės kilmės, 2 (13 %) infekcinės ir kitos ūminės būklės, ir 1 pacientui (7 %) buvo atlikti KT tyrimai dėl visų trijų tipų indikacijų.

Iš 103 tiriamųjų, 98 pacientams bent vieno tyrimo indikacija buvo susijusi su onkologiniu susirgimu.

Didžiausios suminės DLP reikšmės buvo gautos atliekant viso kūno KT dėl onkologinio susirgimo išplitimo ir kaklo-krūtinės-juosmens srities KT dėl retrofaringinio tarpo absceso sekimo. Mažiausios suminės DLP reikšmės buvo gautos atliekant krūtinės ląstos KT dėl grybelinės plaučių infekcijos ir plaučių vėžio stebėjimo, taip pat atliekant viso kūno mažų dozių kaulų KT dėl mielomos išplitimo.

LAR buvo apskaičiuota naudojantis RadRAT skaičiuokle. Darbe pateikiamos reikšmės yra gautos vertinant papildomą vidutinę LAR nuo tyrimo gavimo iki numatomos gyvenimo pabaigos, išreiškiant riziką 100,000 pacientų procentais (90% pasikliautinis intervalas).

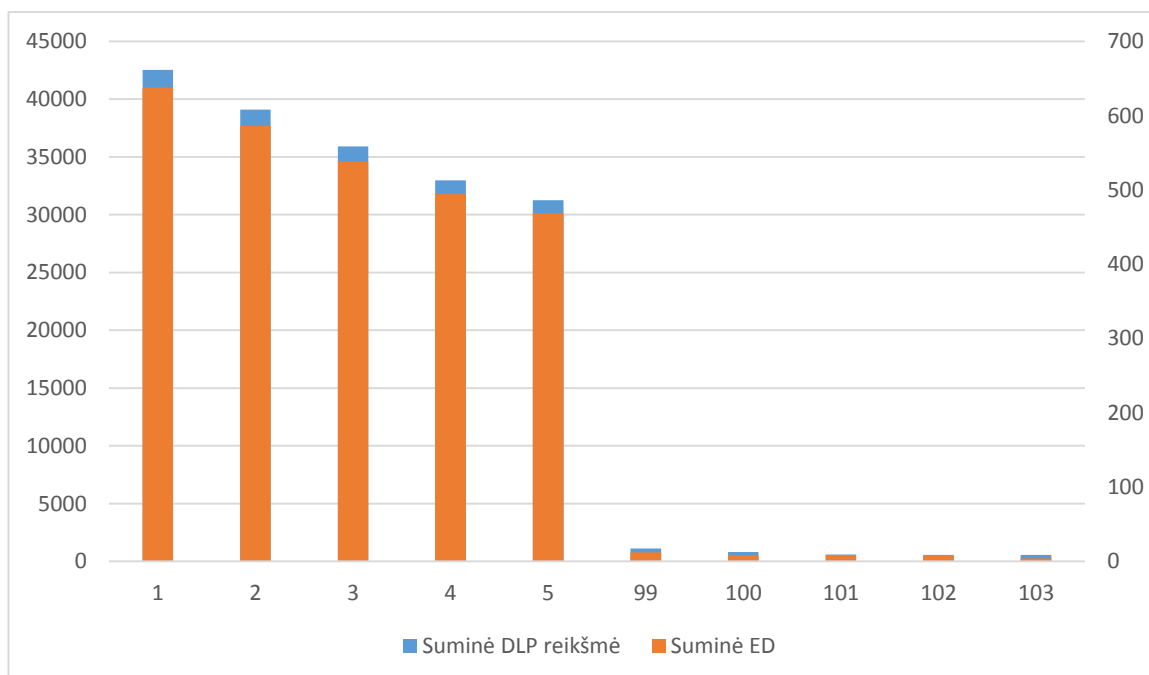
Dozių ir indikacijų iliustracijai, penkių didžiausias ir penkių mažiausias sumines dozes (pagal DLP reikšmes) gavusių pacientų duomenys pateikiami 4 lentelėje ir iliustruojami 1 paveiksle.

4 lentelė. Didžiausias ir mažiausias DLP reikšmes gavusių pacientų palyginimas.

Nr.	Amžius	Lytis	Tyrimų skaičius	Suminė DLP reikšmė, mGy*cm	Suminė ED, mSv	Indikacijos ir atlikti tyrimai	LAR
Didžiausios DLP reikšmės							
1	50	V	13	42533	637,9	Skrandžio vėžio progresavimas; kūno KT	7,7 %

2	34	M	10	39084	586,3	Infekcija; kaklo ir krūtinės KT, kūno KT	9,8 %
3	58	V	9	35899	538,5	Gydymo atsako vertinimas; kūno KT	5,4 %
4	79	V	8	32965	494,5	Prostatos vėžio progresavimas; kūno KT	1,1 %
5	61	V	7	31266	468,9	Sarkomos progresavimas; kūno KT	4,2 %
Mažiausios DLP reikšmės							
99	63	V	5	1103	12,2	Mielominės ligos sekimas; visų kaulų mažų dozių KT	0,072 %
100	70	M	3	816	8,2	Plazmocitomos sekimas; visų kaulų mažų dozių KT	0,033 %
101	66	M	3	574	8,6	Mielominės ligos sekimas; visų kaulų mažų dozių KT	0,044 %
102	74	M	3	571	8,3	Mielominės ligos sekimas; visų kaulų mažų dozių KT	0,024 %
103	70	V	2	554	4,1	Mielominės ligos sekimas; visų kaulų mažų dozių KT	0,016 %

DLP – dozės ir ilgio sandauga; ED – efektinė dozė; LAR – per gyvenimą įgyta suminė rizika išsivystyti navikiniam susirgimui dėl gautos jonizuojančiosios spinduliuotės apšvitos



1 paveikslas. Didžiausias ir mažiausias DLP reikšmes gavusių pacientų palyginimas

78 (75,7%) pacientai per 3 metų ir trumpesnę (trumpiausias – 1 diena) laikotarpį gavo sumines ED lygias 100 mSv ir didesnes. 17 (16,5 %) pacientų gavo sumines ED tarp 50 mSv ir 100 mSv.

Palyginus pacientų gautas sumines DLP reikšmes ir ED su LAR, buvo nustatyti ryšiai tarp šių parametru. Koreliacijos tarp kintamųjų pateiktos 5 lentelėje.

Suminės DLP reikšmės silpnai susijusios ($r = -0,280$; $p < 0,01$) su pacientų amžiumi – kuo jaunesnis pacientas, tuo didesnės gautos suminės DLP reikšmės. Silpna koreliacija yra ir tarp suminės DLP ir tyrimų skaičiaus ($r = 0,242$; $p < 0,05$), bei tarp suminės ED ir tyrimų skaičiaus ($r = 0,381$; $p < 0,01$) – kuo daugiau tyrimų atlikta, tuo didesnė gauta suminė dozė. Suminė ED vidutiniškai susijusi ($r = -0,593$; $p < 0,01$) su sumine DLP – kuo didesnė suminė DLP reikšmė, tuo mažesnė suminė ED.

5 lentelė. Amžiaus, tyrimų skaičiaus, DLR, ED ir LAR sąsajos.

Nr.	Kintamieji	Koreliacijos koeficientai (r)				
		1	2	3	4	5
1	Amžius	-				
2	Tyrimų skaičius	- 0,183	-			
3	Suminė DLP	- 0,280**	0,242*	-		
4	Suminė ED	- 0,193	0,381**	- 0,593**	-	
5	LAR (%)	- 0,026	- 0,135	0,075	0,009	-

* $p < 0,05$; ** $p < 0,01$. Statistiškai reikšmingos koreliacijos pažymėtos paryškintu šriftu. DLP – dozės ir ilgio sandauga; ED – efektinė dozė; LAR – per gyvenimą įgyta suminė rizika išsivystyti navikiniam susirgimui dėl gautos jonizuojančiosios spinduliuotės apšvitos

APTARIMAS

Kartotinių KT tyrimų metu pacientų gaunama didelė suminė apšvita, galimi dozių mažinimo būdai ir tikėtinos ateities problemos yra aktyviai nagrinėjama tema mokslinėje literatūroje.

Šiame darbe pasirinkta pacientų grupė – vienos ligoninės visi suaugę (nuo 18m.) pacientai per apibrėžtą laiko periodą (3 metus) gavę 2 ir daugiau KT tyrimų – leido vertinti dažniausiai

pasitaikančias indikacijas, kurios lemia kartotinių KT tyrimų pasirinkimą, atlikimą bei sumines ED, specifinėje, tačiau bendro pobūdžio populiacijoje (nebuvo išskirtos smulkesnės grupės pagal gretutines ir lėtines ligas, žalingus įpročius, tiriamos būklės ūmumą, pacientų rasę).

Dabartinėje literatūroje vertinant kartotinius KT tyrimus yra specifiškai atsižvelgiama į rizikos grupes, tarp jų ir pacientus, kurie gauna daugiausiai kartotinių tyrimų per trumpą laiko tarpą (pvz. traumas patyrę, kitų ūminių būklių pacientai) arba yra tikėtina, kad kartotinių tyrimų reikės ilgą stebėjimo laiką (pvz. onkologiniai pacientai).

Hinzpeter et al. tyrime buvo vertinti į traumos centrą perkelti traumas patyrę pacientai, kuriems juos referavusiose ligoninėse jau buvo atlikti KT tyrimai (43). Iš 85 tirtų pacientų, 74 (87 %) buvo atliktas pakartotinis KT tyrimas traumos centre dėl nepilno duomenų perdavimo (t.y. nebuvo pasiekiami anksčiau atliktos KT vaizdai), jau nustatyto sužeidimo sekimo arba kartotinis galvos KT atliekant viso kūno KT traumos centre. Apsunkintas duomenų perdavimas buvo įvardintas kaip potencialiai išvengiama tyrimų kartojimo priežastis, dėl kurios pacientai papildomai gavo vidutiniškai 21,8 mSv JS apšvitos. Tonolini tyrime buvo vertinti kartotinius pilvo-dubens KT su kontrastu tyrimus per 26 mėnesius gavę jauni (18-45m.) pacientai su ne trauminėmis ūminėmis pilvo būklėmis³ (32). Iš atrinktų 305 pacientų, 61 (20 %) gavo daugiau nei vieną KT tyrimą (2 – 8 tyrimus, vidutiniškai 2,7). Vidutinė suminė ED buvo 70,1 mSv, didžiausia – 436,6 mSv; 16 (26,2 %) pacientų per mažiau nei 3 metų laikotarpį gavo sumines ED, kurios buvo didesnės nei 100 mSv. Apskaičiavus LAR, didžiausia papildoma (nuo bazinės) rizika pacientui buvo 1,3 %. Tirosh et al. vertino pacientų, stebimų dėl von Hippel-Lindau (VHL) sindromo su primityviais neuroektoderminiais navikais (angl. PNET – *primitive neuroectodermal tumors*), gaunamas sumines ED sekimo metu atliekant kartotinius KT tyrimus. Dėl šiuo metu priimto ir taikomo VHL sekimo algoritmo, pacientai, kurie yra stebimi nuo 40 iki 65 metų amžiaus, per gyvenimą gauna vidutiniškai nuo 682 mSv (naviko skersmuo iki 1,2 cm) iki 2124 mSv (naviko skersmuo daugiau nei 3 cm) sumines ED. Didelės suminės dozės, kurias gauna jauno ir vidutinio amžiaus pacientai skatina ieškoti būdų sumažinti sumines ED, ir siūlomas algoritmo koregavimas – retesnis ir vėliau pradedamas sekimas, dvigubos energijos KT vietoj trijų fazių KT – galėtų sumažinti dozes beveik perpus (atitinkamai iki 388 mSv ir 775 mSv); asimptominių, ypač jaunų, pacientų stebėjimui galėtų būti taikomas MRT tyrimas, taip dar labiau sumažinant per gyvenimą gaunamą suminę ED ir kartu riziką kitiems vėžiniams susirgimams išsivystyti.

³ Į tyrimą nebuvo įtraukti pacientai, sergantys ŽIV infekcija, onkologinėmis ligomis, vaskulinėmis ligomis, uždegiminėmis žarnų ligomis bei šlapimo takų akmenlige

Tyrimui šiame darbe atrinktoje 103 pacientų grupėje peržvelgus kiekvieno individualaus tyrimo indikacijas ir apibendrinus visų pacientų jiems dažniausiai atliktų KT indikacijas, buvo nustatyta, jog dažniausiai KT buvo atliktas dėl su onkologija siejamų priežasčių – stebėjimo po taikyto gydymo ir išplitimo vertinimo. Su onkologiniu procesu susijusių indikacijų dominavimas yra išskiriamas ir dabartinėje literatūroje.

Stopsack ir Cerhan tyrime taip pat buvo pasirinkta nespecifinė, t.y. tik geografiškai apribota, populiacija; retrospektyvinio tyrimo trukmė buvo 10 metų (35). Iš tyrime nagrinėtų 54 447 pacientų duomenų buvo pasirinkta 100 mSv ir didesnes ED per 10 metų periodą gavusių 200 pacientų grupė (pacientai buvo atrinkti atsitiktinai). Įvertinus dažniausias indikacijas buvo nustatyta, jog 30,5 % jų buvo siejamos su onkologija (18,3 % solidinių navikų ir 12,2 % limfomų sekimas). Iš dažniausiai pasitaikiusių su tyrimu nesusijusių susirgimų visoje grupėje onkologiniai susirgimai buvo antroje vietoje (45 pacientai iš 200); dažniau pasitaikė tik hipertenzija (75 iš 200). Svarbu paminėti, jog tarp tyrimui pasirinktų 54 447 pacientų nebuvo išėitios stadijoje esančių pacientų (t.y. visi tiriamieji buvo gyvi dar bent 3 metus po paskutinio tyrimo). Lumberras et al. tyrime buvo surinkti visų vienos ligoninės pacientų (154 520) duomenys apie JS skleidžiančius tyrimus (ne tik KT), kuriuos pacientai gavo per 12 metų. 4844 (3,1 %) pacientai gavo ED tarp 50 mSv ir 100 mSv, o 2298 (1,5 %) pacientai gavo ED virš 100 mSv; iš jų atitinkamai 43,14 % ir 73,0 % pacientų sirgo onkologinėmis ligomis (44). Tuo tarpu Brambilla et al. tyrime, kurio metu buvo vertinami pacientai per vieną dieną arba vieną mėnesį gavę 100 mSv ir didesnes sumines ED, nustatė, jog iš 427 tirtų pacientų, net 295 (69 %) pacientų indikacijos KT tyrimams buvo neonkologinės kilmės; dėl onkologinių susirgimų buvo ištirti 132 (31 %) pacientai (45).

Nors onkologiniai pacientai yra viena iš rizikos grupių didelėms suminėms ED, kai kurių onkologinių susirgimų diagnozavimas ir sekimas yra saugesnis dėl mažų dozių protokolų pritaikymo. Šiame darbe mažiausias sumines ED gavę pacientai buvo tirti dėl mielomos išplitimo ir grybelinės plaučių infekcijos, abiem šiais atvejais taikant mažų dozių KT tyrimus, atitinkamai viso kūno ir krūtinės ląstos.

Rampinelli et al. tyrime buvo vertinti asimptominiai aukštos rizikos (rūkantys/metę rūkyti asmenys po ≥ 20 pakmečių) pacientai, kuriems nebuvo nustatytas vėžys pastaruosius 5 metus, ir kurie buvo 50 metų amžiaus ar vyresni studijos pradžioje (46). Atrinktų 5203 pacientų per 10 m. trukmės stebėjimą gautos suminės ED ir apskaičiuotas LAR buvo įvertinti, siekiant nustatyti, ar mažų dozių KT yra tinkamas atrankos tyrimas rizikos grupės pacientams t.y. naudos-žalos santykis priimtinas. Buvo nustatyta, jog per 10 metų pacientų gautų suminių ED mediana buvo 9,3 mSv vyrams ir 13,0 mSv moterimis. Tiriamojoje grupėje buvo nustatyti 259 plaučių vėžiai. Apskaičiavus

LAR buvo įvertinta, jog 10 metų trukmės stebėjimas šiuoje kohortoje galėjo sukelti papildomai 1,5 plaučių vėžį ir 2,4 didžiųjų (leukemijos, skrandžio, storosios žarnos, kepenų, plaučių, šlapimo pūslės, skydliaukės, krūties, kiaušidžių, gimdos) vėžį. Nors rizika yra nenuneigiama, nauda yra didesnė dėl galimybės anksčiau nustatyti ir pradėti gydyti vėžį (Europoje vidutinis 5 metų plaučių vėžio išgyvenamumas yra 15 % (47)).

Nagrinėtų tyrimų iš paskutinių 5 metų literatūros, kalbančių apie dideles sumines KT dozes bendrai populiacijai arba specifinėms pacientų grupėms, duomenys yra apibendrinti ir pateikti 5 lentelėje (žr. skyrelį „Priedai“).

IŠVADOS IR PASIŪLYMAI

Išvados:

1. Nustatyta, jog iš 103 tirtų pacientų, 95 (92,2% visų) per sekimo laikotarpį gavo 50 mSv ir didesnes sumines efektines dozes; 78 (82% gavusių ≥ 50 mSv) pacientai gavo sumines efektines 100 mSv ir didesnes dozes. Didžiausia suminė efektinė dozė gauta vieno paciento dėl kartotinių tyrimų buvo 638 mSv.

2. Dažniausiai pasitaikiusi indikacija atlikti kartotinius kompiuterinės tomografijos tyrimus buvo onkologinės ligos eigos sekimas (83 % darbui vertintų pacientų). Šiame darbe mažiausias sumines ED gavę pacientai buvo tirti dėl mielomos išplitimo ir grybelinės plaučių infekcijos, abiem šiais atvejais taikant mažų dozių KT tyrimus, atitinkamai viso kūno ir krūtinės ląstos.

3. Nustatyta, jog didžiausia papildoma rizika susirgti vėžiu dėl gautos jonizuojančiosios spinduliuotės apšvitos – 9,8 %.

4. Atlikus literatūros analizę, galima išskirti šiuos kompiuterinės tomografijos tyrimų metu gautos jonizuojančiosios spinduliuotės apšvitos dozių mažinimo būdus: specifinių indikacijų paaiskinimas, naudos ir žalos santykio įvertinimas, alternatyvių vaizdinių tyrimų pasirinkimo galimybės apsvaistymas, išsamus ir tinkamas aprašymas siuntime, tinkamas aparatūros ir paciento paruošimas procedūrai, technologijų optimizavimas ir tinkamų protokolų taikymas, tyrimo individualizavimas pagal paciento fizines savybes bei reikalingos informacijos suteikimas, sudarantis galimybes pacientui duoti informuotą sutikimą, radiologinių tyrimų komandos kvalifikacijos kėlimas, rentgeno vamzdžio srovės stiprio nustatymai, vamzdžio įtampos, žingsnio ilgio, triukšmo lygio reguliavimas ir iteratyvi rekonstrukcija.

Pasiūlymai:

Dėl didelių pacientų gaunamų suminių efektinių dozių, ypač atliekant stebėjimą dėl solidinių, išplitusių navikų bei vertinant pacientus su ūminėmis būklėmis, galėtų būti aktualu įvertinti šiuo metu klinikinėje praktikoje taikomus skenavimo protokolus ir juos optimizuoti ne tik ligoninės, tačiau ir šalies mastu (gairių, rekomendacijų principu), remiantis kitų šalių diagnostikos centrų gera praktika. Šiems darbams reikalinga komanda, kurią sudarytų medicinos fizikas, technologas ir gydytojas radiologas.

Darbe buvo įvertinti tik pacientų per tris metus vienoje gydymo įstaigoje atliekant kompiuterinės tomografijos tyrimus gautos efektinės dozės. Nebuvo galimybės tiksliai įvertinti pacientų per gyvenimą įgytos rizikos susirgti onkologine liga dėl laiko apribojimų, galimybės gauti tyrimus privačioje klinikoje, kitų jonizuojančiąją spinduliuotę skleidžiančių tyrimų, kuriuos pacientas galėjo gauti. Dėl visų šių faktorių visumos galime daryti prielaidą, jog tikroji rizika susirgti onkologine liga yra didesnė, nei buvo išmatuota šiame darbe. Ateityje atliekant tyrimus kartotinių kompiuterinės tomografijos tyrimų didinamos vėžio rizikos tema reikėtų atsižvelgti į šio darbo apribojimus.

Didžioji dalis pacientų, gaunančių dideles efektines dozes yra vyresnio amžiaus ir serga onkologinėmis ligomis, tačiau dėl ilgėjančios gyvenimo trukmės ir prieinamų geresnių gydymo galimybių, rizika susirgti kitu vėžiu nėra nereikšminga. Dėl šios priežasties tyrimai apie apšvitos vertinimą ir mažinimo būdus yra svarbūs.

PRIEDAI

6 lentelė. Straipsnių apie kartotinius tyrimus santrauka.

Nr.	Autorius, metai	Tirtų pacientų grupė	Tirtų pacientų skaičius	Tirtų pacientų amžius (mediana)	Efektinės dozės (ED), mSv	Įvertinta rizika	Taikyti skanavimo protokolai
1	Hinzpeter et al., 2017 (43)	Traumos pacientai	85 (74 gavo kartotinius KT)	56	2-3 (galvos) 8-18 (krūtinės/pilvo)	-	120kVp; galvos 320mAs, stuburo 200mAs, krūtinės ir pilvo 150mAs; pjūviai 1-2mm; taikyta IR (3lygis)
2	Tonolini, 2018 (32)	Ne trauminiai pacientai su ūmine pilvo būkle	61	34,2 (18-45)	14,1-436,6 (70,1)	Didžiausia papildoma rizika (nuo bazinės) – 1,3 %	Įvairūs
3	Tirosh et al., 2019 (48)	Pacientai, sergantys VHL sindromu turintys PNET	124	47,6	Pilvo-dubens 10 (moterų) – 7 (vyrų) trifazis; 4 (moterų) – 3 (vyrų) dvigubos energijos (medianos)	-	Trijų fazių protokolas; dvigubos energijos virtualus nekontrastinis protokolas.
4	Stopsack ir Cerhan, 2019 (35)	Visi suaugę ligoninės pacientai (išskyrus tuos, kurie gavo bent vieną KT tyrimą) per 10m.	54,447 (visi) 18,544 (34 %) (>1 KT)	44,0	0,1 - \geq 100	-	Įvairūs
5	Lumbreras et al., 2019 (44)	Visi vienos ligoninės pacientai	156 848	0-80+	16,3 (max 1419,3)	-	Įvairūs
6	Brambilla et al., 2021 (45)	Pacientai, gavę 100 ir daugiau mSv apšvitą KT metu per 1 dieną arba per 1 mėn.	497	63 (per 1 mėn.) 67 (per 1 d.)	100 – 262	-	Įvairūs
7	Rampinelli et al., 2017 (46)	Rūkantys/metę rūkyti asmenys (\geq 20 pakmečių), kuriems nebuvo nustatytas vėžys pastaruosius 5 m.	5203	50+	1,0 (vyrų) – 1,4 (moterų)	LAR: 1,5 plaučių vėžių 2,4 didžiųjų vėžių	Mažų dozių krūtinės ląstos KT

KT– kompiuterinė tomografija; ED – efektinė dozė; LAR – per gyvenimą įgyta suminė rizika išsivystyti navikiniam susirgimui dėl gautos jonizuojančiosios spinduliuotės apšvitęs; PNET – primityvus neuroektoderminis navikas; VHL – von Hippel-Lindau sindromas

LITERATŪROS SĄRAŠAS

1. Ebner L, Bütikofer Y, Ott D, Huber A, Landau J, Roos JE, et al. Lung Nodule Detection by Microdose CT Versus Chest Radiography (Standard and Dual-Energy Subtracted). *American Journal of Roentgenology*. 2015 Apr;204(4):727–35.
2. Rhea JT, Garza DH, Novelline RA. Controversies in emergency radiology. *Emergency Radiology*. 2003 Jul 12;1(1):1–1.
3. Wertz JR, Lopez JM, Olson D, Thompson WM. Comparing the Diagnostic Accuracy of Ultrasound and CT in Evaluating Acute Cholecystitis. *American Journal of Roentgenology*. 2018 Aug;211(2):W92–7.
4. Ahmed FZ, Morris GM, Allen S, Khattar R, Mamas M, Zaidi A. Not All Pacemakers Are Created Equal: MRI Conditional Pacemaker and Lead Technology: MRI Conditional Pacemaker and Lead Technology. *J Cardiovasc Electrophysiol*. 2013 Sep;24(9):1059–65.
5. Russo RJ, Costa HS, Silva PD, Anderson JL, Arshad A, Biederman RWW, et al. Assessing the Risks Associated with MRI in Patients with a Pacemaker or Defibrillator. *N Engl J Med*. 2017 Feb 23;376(8):755–64.
6. Dedini RD, Karacozoff AM, Shellock FG, Xu D, McClellan RT, Pekmezci M. MRI issues for ballistic objects: information obtained at 1.5-, 3- and 7-Tesla. *The Spine Journal*. 2013 Jul;13(7):815–22.
7. Osei EK, Darko J. A Survey of Organ Equivalent and Effective Doses from Diagnostic Radiology Procedures. *ISRN Radiology*. 2013 Sep 6;2013:1–9.
8. Wesolowski JR, Lev MH. CT: History, Technology, and Clinical Aspects. *Seminars in Ultrasound, CT and MRI*. 2005 Dec;26(6):376–9.
9. Brenner DJ. Computed Tomography — An Increasing Source of Radiation Exposure. *The New England Journal of Medicine*. 2007;8.
10. Mettler FA, Huda W, Yoshizumi TT, Mahesh M. Effective Doses in Radiology and Diagnostic Nuclear Medicine: 2008;248(1):10.
11. Health Risks from Exposure to Low Levels of Ionizing Radiation: BEIR VII Phase 2 [Internet]. Washington, D.C.: National Academies Press; 2006 [cited 2021 Sep 4]. Available from: <http://www.nap.edu/catalog/11340>
12. Rehani MM. Challenges in Radiation Protection of Patients for the 21st Century. *American Journal of Roentgenology*. 2013 Apr;200(4):762–4.
13. Remedios D. Cumulative radiation dose from multiple CT examinations: stronger justification, fewer repeats, or dose reduction technology needed? *Eur Radiol*. 2020 Apr;30(4):1837–8.
14. Brambilla M, Vassileva J, Kuchcinska A, Rehani MM. Multinational data on cumulative radiation exposure of patients from recurrent radiological procedures: call for action. *Eur Radiol*. 2020 May;30(5):2493–501.
15. Hsieh WH, Lin IF, Ho JC, Chang PW. 30 years follow-up and increased risks of breast cancer and leukaemia after long-term low-dose-rate radiation exposure. *Br J Cancer*. 2017 Dec;117(12):1883–7.
16. Castellano IA. How to use the equipment you have for appropriate quality at low radiation dose. *Radiat Prot Dosimetry*. 2015 Jul;165(1–4):150–5.
17. Jeukens CRLPN, Boere H, Wagemans BAJM, Nelemans PJ, Nijssen EC, Smith-Bindman R, et al. Probability of receiving a high cumulative radiation dose and primary clinical indication of CT examinations: a 5-year observational cohort study. *BMJ Open*. 2021 Jan;11(1):e041883.
18. Kataria B, Smedby Ö. Patient dose and image quality in low-dose abdominal CT: a comparison between iterative reconstruction and filtered back projection. *Acta Radiol*. 2013 Jun;54(5):540–8.

19. Kordolaimi SD, Argentos S, Pantos I, Kelekis NL, Efstathopoulos EP. A New Era in Computed Tomographic Dose Optimization: The Impact of Iterative Reconstruction on Image Quality and Radiation Dose. *J Comput Assist Tomogr.* 2013;37(6):8.
20. Rubin GD. Computed Tomography: Revolutionizing the Practice of Medicine for 40 Years. *Radiology.* 2014 Nov;273(2S):S45–74.
21. Sodickson A, Baeyens PF, Andriole KP, Prevedello LM, Nawfel RD, Hanson R, et al. Recurrent CT, Cumulative Radiation Exposure, and Associated Radiation-induced Cancer Risks from CT of Adults. *Radiology.* 2009 Apr;251(1):175–84.
22. Report of a consultation on justification of patient exposures in medical imaging,. *Radiation Protection Dosimetry.* 2009 Jul 1;135(2):137–44.
23. Harris M. Inadequate Clinical Indications in Computed Tomography Chest and Abdomen/Pelvis Scans. *permj* [Internet]. 2018 [cited 2021 Nov 9]; Available from: <http://www.thepermanentejournal.org/issues/2018/fall/6870-computed-tomography-scans.html>
24. Al Ewaidat H, Zheng X, Khader Y, Spuur K, Abdelrahman M, Alhasan MKM, et al. Knowledge and Awareness of CT Radiation Dose and Risk Among Patients. *Journal of Diagnostic Medical Sonography.* 2018 Sep;34(5):347–55.
25. Maldjian PD, Goldman AR. Reducing Radiation Dose in Body CT: A Primer on Dose Metrics and Key CT Technical Parameters. *American Journal of Roentgenology.* 2013 Apr;200(4):741–7.
26. Poehler GH, Alikhani B, Klimes F, Hauck EF, Ringe KI, Sonnow L, et al. Impact of active dose management on radiation exposure and image quality in computed tomography: An observational study in 1315 patients. *European Journal of Radiology.* 2020 Apr;125:108900.
27. Basevičius A, Lukoševičius S, Jonaitienė E, Kulakienė I, Dobrovolskienė L. *Radiologijos pagrindai.* 2nd ed. Kaunas: LSMU Leidybos namai; 2013. 408 p.
28. Patino M, Fuentes JM, Singh S, Hahn PF, Sahani DV. Iterative Reconstruction Techniques in Abdominopelvic CT: Technical Concepts and Clinical Implementation. *American Journal of Roentgenology.* 2015 Jul;205(1):W19–31.
29. Kaza RK, Platt JF, Goodsitt MM, Al-Hawary MM, Maturen KE, Wasnik AP, et al. Emerging Techniques for Dose Optimization in Abdominal CT. *RadioGraphics.* 2014 Jan;34(1):4–17.
30. Padole A, Ali Khawaja RD, Kalra MK, Singh S. CT Radiation Dose and Iterative Reconstruction Techniques. *American Journal of Roentgenology.* 2015 Apr;204(4):W384–92.
31. Vano E. Challenges for managing the cumulative effective dose for patients. *BJR.* 2020 Dec 1;93(1116):20200814.
32. Tonolini M, Valconi E, Vanzulli A, Bianco R. Radiation overexposure from repeated CT scans in young adults with acute abdominal pain. *Emerg Radiol.* 2018 Feb;25(1):21–7.
33. Report of the United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation [Internet]. New York: United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation; 2021 p. 36. Available from: <https://undocs.org/en/A/76/46>
34. Smith-Bindman R. Radiation Dose Associated With Common Computed Tomography Examinations and the Associated Lifetime Attributable Risk of Cancer. *Arch Intern Med.* 2009 Dec 14;169(22):2078.
35. Stopsack KH, Cerhan JR. Cumulative Doses of Ionizing Radiation From Computed Tomography: A Population-Based Study. *Mayo Clinic Proceedings.* 2019 Oct;94(10):2011–21.
36. Vilar-Palop J, Vilar J, Hernández-Aguado I, González-Álvarez I, Lumbreras B. Updated effective doses in radiology. *J Radiol Prot.* 2016 Dec;36(4):975–90.

37. Whitebird RR, Solberg LI, Bergdall AR, López-Solano N, Smith-Bindman R. Barriers to CT Dose Optimization: The Challenge of Organizational Change. *Academic Radiology*. 2021 Mar;28(3):387–92.
38. Moloney F, Fama D, Twomey M, O’Leary R, Houlihane C, Murphy KP, et al. Cumulative radiation exposure from diagnostic imaging in intensive care unit patients. *WJR*. 2016;8(4):419.
39. Kreuzer M, Auvinen A, Cardis E, Durante M, Harms-Ringdahl M, Jourdain JR, et al. Multidisciplinary European Low Dose Initiative (MELODI): strategic research agenda for low dose radiation risk research. *Radiat Environ Biophys*. 2018 Mar;57(1):5–15.
40. McCollough C, Cody D, Edyvean S, Geise R, Gould B, Keat N, et al. The Measurement, Reporting, and Management of Radiation Dose in CT. College Park, MD: American Association of Physicists in Medicine; 2008 Jan p. 28. Report No.: 96.
41. Saltybaeva N, Jafari ME, Hupfer M, Kalender WA. Estimates of Effective Dose for CT Scans of the Lower Extremities. *Radiology*. 2014 Oct;273(1):153–9.
42. de Gonzalez AB, Iulian Apostoaei A, Veiga LHS, Rajaraman P, Thomas BA, Owen Hoffman F, et al. RadRAT: a radiation risk assessment tool for lifetime cancer risk projection. *J Radiol Prot*. 2012 Sep;32(3):205–22.
43. Hinzpeter R, Sprengel K, Wanner GA, Mildenerberger P, Alkadhi H. Repeated CT scans in trauma transfers: An analysis of indications, radiation dose exposure, and costs. *European Journal of Radiology*. 2017 Mar;88:135–40.
44. Lumbreras B, Salinas JM, Gonzalez-Alvarez I. Cumulative exposure to ionising radiation from diagnostic imaging tests: a 12-year follow-up population-based analysis in Spain. *BMJ Open*. 2019 Sep;9(9):e030905.
45. Brambilla M, Cannillo B, D’Alessio A, Matheoud R, Agliata MF, Carriero A. Patients undergoing multiphase CT scans and receiving a cumulative effective dose of ≥ 100 mSv in a single episode of care. *Eur Radiol*. 2021 Jul;31(7):4452–8.
46. Rampinelli C, De Marco P, Origgi D, Maisonneuve P, Casiraghi M, Veronesi G, et al. Exposure to low dose computed tomography for lung cancer screening and risk of cancer: secondary analysis of trial data and risk-benefit analysis. *BMJ*. 2017 Feb 8;j347.
47. OECD, European Union. Health at a Glance: Europe 2020: State of Health in the EU Cycle [Internet]. OECD; 2020 [cited 2022 May 8]. (Health at a Glance: Europe). Available from: https://www.oecd-ilibrary.org/social-issues-migration-health/health-at-a-glance-europe-2020_82129230-en
48. Tirosh A, Journy N, Folio LR, Lee C, Leite C, Yao J, et al. Cumulative Radiation Exposures from CT Screening and Surveillance Strategies for von Hippel-Lindau–associated Solid Pancreatic Tumors. *Radiology*. 2019 Jan;290(1):116–24.