

Maria Kemi

**POTILAIKEN SÄTEILYANNOKSET SYDÄMEN TIETOKONETOMOGRAFIATUT-  
KIMUKSESSA**

Kuvaileva kirjallisuuskatsaus

# **POTILAIEN SÄTEILYANNOKSET SYDÄMEN TIETOKONETOMOGRAFIATUT- KIMUKSESSA**

Kuvaileva kirjallisuuskatsaus

Maria Kemi  
Opinnäytetyö  
Syksy 2017  
Radiografian ja sädehoidon tutkinto-  
ohjelma  
Oulun ammattikorkeakoulu

## TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu  
Radiografian ja sädehoidon tutkinto-ohjelma

---

Tekijä: Maria Kemi

Opinnäytetyön nimi: Potilaiden säteilyannokset sydämen tietokonetomografiatutkimuksessa

Työn ohjaaja: Anja Henner, Karoliina Paalimäki-Paakki

Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: Syksy 2017

Sivumäärä: 45 + 4 liitesivua

---

Sydämen tietokonetomografiatutkimus on monikäyttöinen ja laajalti käytetty sydämen kuvantamismenetelmä. Muihin kuvantamismenetelmiin verrattuna sen etuna ovat nopeus, saatavuus ja kajoamattomuus. Tutkimus aiheuttaa potilaalle kuitenkin huomattavan säteilyannoksen.

Opinnäytetyön tarkoituksena on selvittää kuvailevan kirjallisuuskatsauksen avulla, millaisia ovat aikuisten potilaiden säteilyannokset sydämen tietokonetomografiatutkimuksessa. Tavoitteena on, että tutkimustuloksia voidaan hyödyntää sydämen tietokonetomografian vertailussa muihin kuvantamismodaliteetteihin. Lisäksi tarkoituksena on kartoittaa, millaisia potilaiden säteilyannosten optimointikeinoja on kehitelty ja millaista tietokonetomografialaitteiden kehitys on ollut viime vuosien aikana. Opinnäytetyö on osana Oulun ammattikorkeakoulun Sydämen asialla-projektia.

Kirjallisuuskatsauksen tiedonhaku toteutettiin hakustrategian mukaisesti viiteen tietokantaan. Hakutuloksia saatiin tietokantojen suodattimien käytön jälkeen yhteensä 161 kpl. Nämä hakutulokset karsittiin järjestyksessä otsikon, abstraktin ja koko tekstin perusteella. Kaikkien karsintavaiheiden jälkeen hakutuloksia jäi kahdeksan tutkimusta. Kaksi tutkimuksista oli fantomitutkimuksia ja loput kliinisiä potilastutkimuksia. Valitut tutkimukset analysoitiin aineistoläheisellä analyysimenetelmällä.

Kirjallisuuskatsauksen tulokset osoittavat, että sydämen tietokonetomografiatutkimuksen potilasannoksiin vaikuttavat useat eri tekijät. Laskennalliset efektiiviset annokset potilastutkimuksissa olivat välillä 0.21 mSv—3.84 mSv. TT-laitteiden kiinteät ominaisuudet, kuten detektoririvien ja röntgenputkien määrä, gantryn pyörimisnopeus ja kuvauspöydän liikenopeus, vaikuttivat huomattavasti annoksen muodostumiseen. Kiinteiden ominaisuuksien ohella tärkeitä tekijöitä olivat myös kuvausprotokollat sekä prospektiivisen tahdistuksen ja iteratiivisen rekonstruktion käyttö. Lisäksi tutkimuksista nousi esille, kuinka tämänhetkinen annosten laskentatapa aliarvioi potilasannoksia merkittävästi ja systemaattisesti. Fantomitutkimuksen laskennalliset annokset olivat välillä 0.81—2.86 mSv kun taas mitatut annokset välillä 1.34—6.06 mSv, joten ero oli merkittävä. Myös potilaan koon ja yksilöllisen ruumiinrakenteen huomiointiin voitaisiin käyttää parempia parametrejä.

Jatkotutkimushaasteena nousee esille sydämen tietokonetomografiatutkimusten kuvanlaadun tarkastelu. Kuvanlaatu ja potilaan säteilyannos kulkevat usein käsi kädessä. Suurin osa kirjallisuuskatsaukseen valituista tutkimuksista sivusivat tutkimuksissaan myös kuvanlaatua. Pääasiallisesti kuvanlaatua käsittelevät tutkimukset jätettiin kuitenkin kirjallisuuskatsauksesta pois karsintavaiheessa. Olisi hyödyllistä selvittää, millainen kuvanlaatu olisi sydämen tietokonetomografiatutkimuksessa milläkin kuvausindikaatiolla riittävä.

---

Asiasanat: röntgensäteily, tietokonetomografia, sydän, säteilyannos, potilasannos

## ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences  
Degree Programme in Radiography and Radiation Therapy

---

Author: Maria Kemi

Title of thesis: Patient's radiation doses in cardiac computed tomography

Supervisor(s): Anja Henner, Karoliina Paalimäki-Paakki

Term and year when the thesis was submitted: Autumn 2017

Number of pages: 45 + 4 appendices

---

Computed tomography is a versatile and widely used cardiac imaging modality. Compared to other cardiac imaging modalities its advantages are speed, availability and noninvasiveness. However, it causes patients a notable radiation dose.

The purpose of this bachelor's thesis was to find out the adult patient's radiation doses caused by the cardiac computed tomography. These results can be utilized to compare cardiac computed tomography to other imaging modalities. An additional purpose was to examine the optimization methods of the patient radiation dose and the recent development of CT scanners. The thesis is part of "Sydämen asialla"-project.

The thesis was executed by using the methods of integrative review. Information retrieval phase of the review was executed into five databases, according to planned strategy. The search resulted a total of 161 articles. The articles not corresponding to the purpose of the thesis were eliminated based on their title, abstract and full text. After all elimination phases, a total of eight articles were accepted into study. These articles were analyzed by the qualitative content analysis method. All phases of the information retrieval and elimination were documented to ensure the reliability and the reproducibility of the thesis.

The results of the thesis indicate that the patient doses of cardiac computed tomography are consisted of several different factors. Computed effective doses in patient studies were between 0.21 mSv—3.84 mSv. Biggest factors were the technical specifications of the CT scanners, reconstruction algorithms, imaging protocols and prospective and retrospective gating. Articles also indicated that current method of calculating patient doses is underestimating the dose systematically and significantly. Computed doses in phantom study were 0.81—2.86 mSv, compared to measured doses of 1.34—6.06 mSv. Better parameters could also be used with factoring in patient's size and individual physique.

Further research could be performed on the image quality of cardiac computed tomography. Image quality and patient doses often go hand in hand. Most of the articles accepted into the thesis also touched the matter of image quality. However, the articles mainly concerning about image quality were left out from the thesis. Further research on sufficient diagnostic image quality in cardiac computed tomography would be beneficial.

---

Keywords: x-ray, computed tomography, heart, radiation dose, patient dose

## SISÄLLYS

1. JOHDANTO .....	6
2. SYDÄMEN TIETOKONETOMOGRFIATUTKIMUS .....	7
2.1. Sydämen rakenne ja toiminta .....	7
2.2. Sydämen toiminnan häiriöt ja sairaudet.....	9
2.3. Tietokonetomografian perusperiaate .....	10
2.4. Sydämen tietokonetomografiatutkimus.....	13
3. TUTKIMUKSEN TARKOITUS JA TUTKIMUSKYSYMYKSET .....	16
4. TUTKIMUSMETODOLOGIA.....	17
5. KIRJALLISUUSKATSAUKSEN SUORITTAMINEN .....	18
5.1. Tiedonhakustrategia .....	18
5.2. Tutkimusaineiston haku- ja valintaprosessi .....	20
5.3. Kirjallisuuskatsaukseen valitut tutkimusaineistot .....	24
5.4. Tutkimusaineiston analysointi .....	25
6. AIKUISEN POTILAAN SÄTEILYANNOS SYDÄMEN TIETOKONETOMOGRFIATUTKIMUKSESSA.....	28
6.1. Säteilyannoksen määrittäminen.....	28
6.2. Iteratiivisen rekonstruktion vaikutus säteilyannokseen .....	31
6.3. Säteilyannoksen potilaskohtainen optimointi .....	34
7. JOHTOPÄÄTÖKSET .....	36
8. POHDINTA .....	37
8.1. Tulosten tarkastelu .....	37
8.2. Tutkimuksen luotettavuus ja eettisyys .....	38
8.3. Omat oppimiskokemukset .....	40
8.4. Jatkotutkimushaasteet .....	41
LÄHTEET .....	42

# 1. JOHDANTO

Kuvantamislaitteiden nopea kehitys on nostanut tietokonetomografian laajalti käytetyksi sydämen kuvantamismodaliteetiksi. Sen etuna on kajoamattomuus, sillä tutkimus tapahtuu röntgensäteiden avulla. Tietokonetomografia soveltuu erityisesti sydämen rakenteiden kuvantamiseen, ja kuvista voidaan haluttaessa muodostaa erilaisia rekonstruktioita. Tietokonetomografiakuvaus aiheuttaa potilaalle säteilyaltistuksen, mutta uusimmilla TT-laitteilla annos on huomattavasti matalampi kuin aiemmin on ollut mahdollista. (Airaksinen, Aalto-Setälä, Hartikainen, Huikuri, Laine, Lommi, Raatikainen & Saraste 2016, 210.) Käytettäessä kuvauksessa prospektiivista tahdistusta säteilyannos pysyy yleensä alle 5 mSv, joka vastaa suunnilleen koronaariangiografiasta aiheutuvaa potilasanosta. Kuvauslaitteesta ja -tekniikasta riippuen on mahdollista saavuttaa jopa alle 1.5 mSv annoksia. (Hänninen, Holmström & Kivistö, 2012, 72.)

Sydämen tietokonetomografiatutkimus on aina tilanteesta ja potilaasta riippuvainen. Esimerkiksi potilaan suuri koko heikentää kuvanlaatua, jolloin myös säteilyannosta on nostettava diagnostisen kuvanlaadun säilyttämiseksi. Lisäksi tutkimuksessa käytetään usein jodivarjoainetta, jolloin potilaan mahdollinen munuaisten heikentynyt toimintakyky on huomioitava. Potilaan on myös siedettävä tarvittavia esilääkityksiä ja kyettävä pidättämään hengitystään riittävän kauan. Myös liikeartefaktia kuviin aiheuttavat oireet, kuten tietyt sydämen rytmihäiriöt, voivat olla este kuvauksen onnistumiselle. (McKavanagh, Walls, McCune, Malloy, Harbinson, Ball, & Donnelly 2015.) Sydäntä voidaan tutkia tietokonetomografian lisäksi angiografialla, natiivikuvauksella, gammakuvauksella, magneettikuvauksella sekä ultraäänellä. Kaikille näille kuvantamismodaliteeteille on omat käyttötarkoituksensa ja -tilanteensa. (Soimakallio, Kivisaari, Manninen, Svedström & Tervonen 2005, 179, 184–189.) On tärkeää valita oikeat potilaat sydämen tietokonetomografiatutkimukseen ja tiedostaa siitä aiheutuvat potilaiden säteilyannokset muihin kuvantamismodaliteetteihin verrattuna.

Tämän kuvailevan kirjallisuuskatsauksen tarkoituksena on kuvailla millaisia ovat sydämen tietokonetomografiatutkimuksesta aiheutuvat säteilyannokset aikuisille potilaille ja mitkä tekijät vaikuttavat niiden muodostumiseen. Kirjallisuuskatsaus on osana Oulun ammattikorkeakoulun Sydämen asiassa –projektia. Kirjallisuuskatsauksena tavoitteena on selkiyttää sydänpotilaan hoitopolkua ja tarjota sydänpotilaalle mahdollisimman turvallinen ja asianmukainen kuvantamismodaliteetti.

## 2. SYDÄMEN TIETOKONETOMOGRAFIATUTKIMUS

### 2.1. Sydämen rakenne ja toiminta

Sydän on osa ihmisen verenkiertoelimistöä, johon kuuluvat sydämen lisäksi valtimot, laskimot sekä hiussuonet. Sydän on sydänlihassoluista koostuva lihaspumppu, joka pumppaa verta elimistön tarpeiden mukaan. Verenkiertoelimistön pääasiallisena tehtävänä on turvata aineiden vaihto veren ja elimistön solujen välillä. Verenkiertojärjestelmä voidaan jakaa kahteen kiertoon: pieneen eli keuhkoverenkiertoon ja suureen eli ääreisverenkiertoon. Keuhkoverenkierto kuljettaa laskimoveren sydämen oikeasta kammioista keuhkoihin ja sieltä takaisin sydämeen. Ääreisverenkierron valtimot kuljettavat hapettuneen veren sydämen vasemmasta kammioista kaikkialle kehoon, jossa hiussuonissa tapahtuu veren ja solujen välinen aineiden vaihdunta. Laskimoverenkierto tuo veren takaisin sydämeen seuraavaa keuhkoverenkiertoa varten. (Mäkijärvi, Kettunen, Kivelä, Parikka & Yli-Mäyry, 2011, 20–21.)

Sydän jakautuu neljään onteloon: oikeaan eteiseen (atrium dextrum), oikeaan kammioon (ventriculus dexter), vasempaan eteiseen (atrium sinistrum) ja vasempaan kammioon (ventriculus sinister). Ääreisverenkierron veri saapuu aina ensin oikeaan eteiseen, joko yläonttolaskimon (vena cava superior) tai alaonttolaskimon (vena cava inferior), tai lisäksi sepelpoukaman (sinus coronarius) kautta. Oikeasta eteisestä veri virtaa sen alapuolella olevaan oikeaan kammioon. Näiden välissä on kolmiliuskaläppä eli trikuspidaaliläppä (valva tricuspidalis). Kolmiliuskaläppä koostuu kolmesta läppäpurjeesta. Oikea kammiopumppaa verta eteenpäin keuhkovaltimorunkoon ja näiden välissä sijaitsee keuhkovaltimoläppä (valva pulmonalis). Keuhkoverenkierron jälkeen veri palaa takaisin sydämeen vasempaan eteiseen, josta se etenee edelleen vasempaan kammioon. Näiden välissä on hiippaläppä eli mitraaliläppä (valva mitralis). Hiippaläppässä on kolmiliuskaläppästä poiketen vain kaksi läppäpurjetta. Vasemmasta kammioista veri pumppautuu eteenpäin aorttaan, joiden välissä on aorttaläppä. Aorttaläppä on rakenteeltaan samanlainen keuhkovaltimoläppän kanssa. Kaikkien sydämen läppien tehtävänä on estää veren takaisinvirtaus, jotta veren virtaussuunta pysyy oikeana. (Airaksinen ym. 2016, 13–14.)

Sydämen tehtävänä on toimia pumppuna ja kierrättää verta elimistössä. Pumppaustoiminnan on tarkoitus vastata muun elimistön aineenvaihdunnan tarpeisiin. Sydämen pumppaustoiminta saa

alkunsa sinussolmukkeesta, josta sähköinen ärsyke etenee eteisten seinämiin ja saa ne supistumaan. Eteisten supistuessa niiden veri virtaa kammioihin. Sillä aikaa sähköinen ärsyke etenee eteis-kammiosolmukkeseen, joka puolestaan aiheuttaa kammioiden supistumisen. Kammioiden paine nousee, jolloin eteis-kammio-läpät sulkeutuvat estämään veren takaisinvirtauksen ja vastavasti aortta- ja keuhkovaltimoläppä avautuvat. Kammioiden supistuessa kammiot tyhjenevät verestä ja veri pumpputuu aortan ja keuhkovaltimon kautta eteenpäin. (Airaksinen ym. 2016, 28-31.) Nämä sydämen pumppaustoiminnan vaiheet jaetaan kahteen osaan: systoleen ja diastoleen. Systole alkaa siitä, kun sinussolmuke levittää sähköisen ärsyksen eteenpäin ja supistuminen alkaa. Diastole taas alkaa, kun veri on pumpattu kammioista eteenpäin ja aortta- ja keuhkovaltimoläppä sulkeutuvat ja kammiot rentoutuvat. Diastolen aikana sydämen eteiset ja kammiot alkavat täyttyä uudelleen ja kierto voi alkaa taas alusta. (Mäkijärvi ym. 2011, 24–25.)

Jotta sydänlihas voisi toimia tehokkaasti pumppuna, sen on saatava itsekin hapekasta verta. Sydämen omasta verenkierrosta huolehtii sepelvaltimokierto, joka tapahtuu suurimmaksi osaksi diastolen aikana. Sepelvaltimot alkavat aortan tyvestä heti aorttaläpän yläpuolelta. Sepelvaltimot haarautuvat kahteen pääruntoon: oikeaan sepelvaltimeen (right coronary artery, RCA) ja vasempaan sepelvaltimeen (left coronary artery, LCA). Näistä ne jakautuvat edelleen useisiin haaroihin, joista käytetään yleensä niiden englanninkielisiin nimiin perustuvia lyhenteitä. Vasemmalla sepelvaltimolla on lyhyt yhteinen päärunko, vasen tyvihaara (left main, LM). Siitä haarautuvat vasemmalle eteen laskeva haara (left anterior descendens, LAD) ja vasen kiertävä haara (left circumflex, LCX). Oikea sepelvaltimo ja sen haarat kiertyvät sydämen taakse oikealta puolelta. Haaroja ovat taakse laskeva sivuhaara (posterior descendens artery, PDA) ja postolateraalin sivuhaara (posterolateral artery, PLA). Ne vievät verta suurimmaksi osaksi oikean kammion etu- ja takaseinämistä. (Mäkijärvi ym. 2011, 31–33.) Sydänlihas eroaa oleellisesti muista elimistön kudoksista sillä, että se käyttää suurimman osan siihen saapuvan veren hapesta. Sydämen hapen kulutus verestä on noin 75 % eikä se kykene juurikaan lisäämään tätä prosenttiosuutta. Tästä syystä sepelvaltimoiden virtauksen on lisäännyttävä kun sydämen hapentarve kasvaa. (Airaksinen ym. 2016, 40.) Sepelvaltimot säätelevätkin toimintaan tehokkaasti itse eli autoregulaatiolla. Jos sydänlihaksessa syntyy rasituksen vuoksi hapenpuutetta, sen pH-arvo laskee ja hiilidioksidin, adenosiinin ja maitohappojen määrä kasvaa. Tämä käynnistää sepelvaltimoiden pienimpien suonten ja hiussuonten laajenemisen, jolla turvataan riittävä verenvirtaus. (Mäkijärvi ym. 2011, 34.)



## 2.2. Sydämen toiminnan häiriöt ja sairaudet

Sydänsairaudet voidaan jakaa synnynnäisiin ja hankittuihin sydänsairauksiin. Synnynnäisiä sydänsairauksia ovat esimerkiksi monet rakenteelliset viat, kuten läppäviat ja väliseinäaukot, sekä myös osa rytmihäiriöistä ja sydänlihassairauksista. Yleisin hankittu sydänsairaus on sepelvaltimotauti. Hankitut sydänsairaudet kehittyvät ajan ja iän myötä, eivätkä ilmaannu yhtäkkiä. Tietyt elämäntavat, lääkkeet ja tulehdukset voivat edistää niiden kehittymistä. Sydämen toiminnan häiriöt ja sairaudet vaikuttavat usein koko elimistöön, sillä sydämen pumppaustoiminnan heikentyminen vaikuttaa kaikkien kehon kudoksien hapensaantiin. Oireet voivat olla paikallisia, kuten rintakipua ja painon tunnetta rinnassa, mutta myös kokonaisvaltaisia kuten heikotusta, huimausta ja tajunnan menetystä. Myös kipuheijastumat käsivarsissa, kaulalla ja kyljissä ovat tyypillisiä sydänoireita. (Mäkijärvi ym. 2011, 8–10.)

Sydänsairauksien hoito on tapauskohtaista. Lääkehoitoa käytetään silloin, kun oireita ei pystytä hallitsemaan pelkkien elintapamuutosten avulla. Tällaisia ovat esimerkiksi kohonneen verenpaineen ja kohonneen kolesterolin hoito. Leikkaus- ja katetrihoidoilla pystytään korjaamaan sydämen sisäisiä rakennevikoja, kuten eteisten väliseinäaukon sulkeminen. Suuret rakenneviat korjataan avoleikkauksella, mutta pienemmät pystytään usein hoitamaan turvallisemmalla katetrihoidolla. Sydämen rytmihäiriöitä voidaan hoitaa asentamalla potilaalle tahdistin, jonka avulla voidaan esimerkiksi kompensoida sydämen harvalyöntisyyttä. Useita sydänsairauksia voidaan myös pyrkiä ennaltaehkäisemään oikeilla elintavoilla. Kohonnut verenpaine, kohonnut kolesterolin ja sokeriaineenvaihdunnan häiriöt ovat riskitekijöitä monille sydänsairauksille, joten niiden hoitaminen usein parantaa myös sydänsairauksien hoitotuloksia. (Mäkijärvi ym. 2011, 10–17.)

### **Sepelvaltimotauti**

Sepelvaltimotauti on merkittävä kansantauti Suomessa. Tilastokeskuksen vuoden 2015 kuolinsyyskatsauksen mukaan verenkiertoelinten sairaudet, ja näistä yleisimpänä sepelvaltimotauti, ovat edelleen suomalaisten yleisin kuolinsyy. Kuolleisuus sepelvaltimotautiin on vähentynyt vuosikymmenten aikana ja siihen kuolleiden mediaanikeski-ikä on noussut. Tästäkin huolimatta sepelvaltimotauti aiheutti vuonna 2015 joka viidennen kuoleman Suomessa eli yli 10 000 henkeä. (Tilastokeskus 2015, viitattu 3.9.2017.) Sepelvaltimotaudin kehittymiseen vaikuttavat useat tekijät. Ihmisen perimän on todettu olevan yksi riskitekijöistä. Geenimutaatiosta johtuva hyperkolesterolemia eli veren korkea LDL-kolesterolin pitoisuus on yksi haitallisista geenivirheistä. Luonnollisesti myös ikä

vaikuttaa sepelvaltimotaudin kehittymiseen, sillä valtimoiden rasvoittuminen tapahtuu vuosikymmenien aikana. Elintavoista tupakointi, kohonnut verenpaine ja kakkostyyppin diabetes vaikuttavat sepelvaltimotaudin riskiin. (Airaksinen ym. 2016, 284–289.)

Sepelvaltimotaudissa sepelvaltimoiden seinämiin kertyy LDL (Low Density Lipoprotein) -kolesterolia. Rasvoittuminen alkaa jo nuorena lapsuusiässä. Kertyminen tapahtuu valtimon sisäkerroksessa eli intimassa. Rasvoittumia kertyy etenkin haaraumakohtiin, sillä niissä sepelvaltimoiden intima on pakumpaa. (Airaksinen ym. 2016, 293.) Intimassa ei ole imusuonia, joten LDL-kolesteroli jää sinne jumiin ja alkaa hapettua. Hapettuneet rasvat aiheuttavat intimaan tulehdusreaktion, johon makrofagit reagoivat. Makrofagit alkavat syödä LDL-hiukkasia ja siirtää niissä olevan kolesterolin pois intimasta HDL-hiukkasten avulla. Tämä prosessi on kuitenkin epätasapainoinen, eikä kolesterolia poistu tarpeeksi. Näin intiman syvään kerrokseen syntyy rasvaydin ja ajan myötä rasvoittuma alkaa kasvaa. Näiden rasvoittumien eli ateroomien koostumus vaihtelee. Epävakaat ateroomat voivat revetä ja aiheuttaa verihyytymän takia sepelvaltimokohtauksen. Aterooman päälle voi muodostua ajan myötä sidekudoskerros, jolloin sen rasvasta koostuva ydin eristyy verenkierrosta, ja aterooma stabiloituu. Tätä kutsutaan fibroateroomaksi ja se ei ole yhtä altis repeämään. Pitkälle kehittynyt fibroaterooma voi myös kalkkeutua. Tätä tapahtuu etenkin isoissa epikardiaalisissa eli sydämen ulkopinnan haaroissa. (Airaksinen ym. 2016, 289–293.) Sepelvaltimoiden ahtautuminen aiheuttaa sydänlihaksen hapenpuutetta. Tämä oireilee angina pectoris -rasitusrintakipuna, kun sydänlihaksen lisääntynyt hapentarve ei täyty. Epävakaassa angina pectoriksessa kipu voi tuntua myös levossa, mikä voi enteillä sepelvaltimokohtausta. Sepelvaltimokohtauksessa aterooma repeää, mikä aiheuttaa verihyytymän sepelvaltimeen ja verenvirtaus estyy. Mikäli koko valtimo tukkeutuu, syntyy lopulta sydänlihakseen kuolio eli sydäninfarkti. (Mäkijärvi ym. 2011, 250.)

### **2.3. Tietokonetomografian peruserä**

Tietokonetomografiakuvauksessa hyödynnetään röntgensäteilyä. Röntgensäteily on ionisoivaa sähkömagneettista säteilyä, joka koostuu fotoneista. Fotoneilla ei ole sähkövarausta, mutta ne ionisoivat epäsuorasti sekundäärisäteilyn kautta ja voivat vaurioittaa DNA:ta. DNA:n vaurioituminen voi aiheuttaa useita eri haittoja, kuten perimän vaurioitumista, solukuolemaa tai syöpäsolun esias- teeksi muuttumista. On myös mahdollista, että DNA onnistuu korjaamaan vaurionsa ja jatkaa toi- mintaansa normaalina. (Mustonen & Salo 2002, 28–31.) Ionisoivasta säteilystä aiheutuvat haitta- vaikutukset jaetaan kahteen kategoriaan: deterministisiin ja stokastisiin. Deterministiset eli suorat

haittavaikutukset ilmenevät säteilyannoksen tietyn kynnsarvon ylittyessä. Mitä suurempi säteilyannos on, sitä suurempi on deterministisen haitan vakavuus. Stokastiset eli tilastolliset haittavaikutukset taas eivät ole riippuvaisia säteilyannoksen kynnsarvosta, vaan voivat aiheutua mistä säteilyannoksesta tahansa. Suurempi säteilyannos ei vaikuta haitan vakavuuteen, mutta kasvattaa sen todennäköisyyttä. Syntynyttä haittaa ei voida usein yhdistää tiettyyn säteilyaltistukseen, sillä haitat ilmenevät vasta vuosien kuluessa. Tällaisia haittavaikutuksia ovat mm. syövät ja perinnölliset haitat. (Paile 2002, 44–46.) Kudokset ja elimet ovat eri tavalla säteilylle herkkiä. Kudosten ja elinten säteilyherkkyydet on ilmoitettu niille asetetuissa painotuskertoimissa. Painotuskertoimet määrittää ICRP (International Commission on Radiological Protection) eli Kansainvälinen säteilysuojelukomissio. Painotuskertoimet ilmaisevat, kuinka paljon stokastista haittaa kuhunkin kudokseen tai elimeen osunut säteily aiheuttaa suhteessa muihin. (IAEA 2014, 560-561.)

Lääketieteellisessä kuvantamisessa röntgensäteilyä muodostetaan röntgenputkessa. Röntgenputki on tyhjiöputki, jonka vastakkaisilla puolilla sijaitsevat katodi ja anodi. Katodia kuumennetaan röntgengeneraattorilla, jolloin siitä irtoaa elektroneja. Elektronit kiihdytetään röntgenputken tyhjiön läpi ja törmätetään anodiin. Törmätessään anodimateriaaliin ne jarruuntuvat ja syntyy nimensä mukaisesti jarrutus säteilyä, sekä pieni osa karakteristista säteilyä. Suurin osa energiasta vapautuu lämpöenergiana, minkä takia anodia pyöritetään ja jäähdytetään koko prosessin ajan. Syntynyttä röntgensäteilyä voidaan muokata eri suodattimilla, jolloin saavutetaan haluttu säteily spektri. Lisäksi röntgenputkesta poistuvaa säteilykeilaa rajataan kaihtimilla, jolloin se saadaan tarkemmin kohdistettua halutulle alueelle. Kuljettuaan kuvauskohteen läpi röntgensäteily saavuttaa detektorin, jossa kuvanmuodostus tapahtuu. Röntgensäteilyn energia eli kiihdytysjännite (kV) ilmaisee röntgensäteilyn maksimienergian, joka lisää säteilyn läpikulkevuutta. Tämä tarkoittaa, että suurempi osa röntgensäteilystä läpäisee potilaan ja saavuttaa detektorin. Röntgenputken virta (mA) taas ilmaisee, kuinka paljon elektroneja kiihdytetään katodilta anodille. (Soimakallio ym. 2005, 32–35.)

Tietokonetomografia on leikekuvantamismenetelmä kolmiulotteisesta kohteesta. Röntgenputki ja sitä vastapäätä sijaitsevat detektoririvit pyörivät gantryssa kuvauskohteen ympäri ja kuvaavat leikkeitä jokaisesta suunnasta. Tutkimuspöytä ja kuvauskohde liikkuvat pyörähdysten välillä. Kuvaus on mahdollista suorittaa myös helikaalitekniikalla, jossa tutkimuspöytä liikkuu koko kuvauksen ajan. Mitä useampia detektoririvejä laitteessa on, sitä leveämpi alue voidaan kuvata kerralla. Vierekkäisistä leikkeistä voidaan myös koostaa kolmiulotteisia malleja. (Karppinen & Järvinen 2006, 44–47.)

Koska kohde kuvataan useista kulmista, saadaan lopulliseen kuvaan kaikki rakenteet näkyviin ilman päällekkäin kuvautumista. Eri suunnista saaduista vaimenemiskertoimista lasketaan varsinaisen tietokoneen näytöllä näkyvä kuva. Laskeminen tapahtuu takaisinsuodatetulla projektiolla, joka summaa vaimenemiskertoimien raakadatan yhteen. Se ei kuitenkaan ole täysin tarkka menetelmä, vaan aiheuttaa artefaktia kuviin. Tästä syystä laskentaan käytetään myös erilaisia suodattimia. Toinen vaihtoehto on muodostaa kuva iteratiivisen rekonstruktion avulla. Iteratiivinen rekonstruktio olettaa kuvauskohteelle tietyn rakenteen, muodostaa kuvan laskennallisesti ja vertaa sitä saatuun dataan. Mikäli mitattu data ei täsmää laskennalliseen dataan, tulosta korjataan, kunnes ne täsmäävät. Iteratiivinen rekonstruktio vähentää tähtiartefakteja ja mahdollistaa paremman kuvadatan saamisen myös matala-annos -kuvausprotokollista. (Soimakallio ym. 2005, 39–40; IAEA 2014, 273.)

Potilaan säteilyannosta tietokonetomografiassa voidaan ilmaista usein eri suurein.  $CTDI_w$  eli painotettu annosindeksi ilmaisee keskimääräistä kudoksiin absorboitunutta annosta. Se on usein nähtävillä TT-laitteen annosnäytössä.  $CTDI_w$  lasketaan fantomimittauksen perusteella. Paremmin potilaan varsinaista säteilyannosta ilmaisee  $DLP_w$  eli painotettu annoksen ja pituuden tulo. Se ottaa huomioon koko kuvausalueen pituuden, joten sitä voidaan käyttää kuvamaan tutkimuksen kokonaisannosta. (Karpainen ym. 2006, 14–17.) Potilaan säteilyannosta voidaan ilmaista myös absorboituneena, ekvivalenttina ja efektiivisenä annoksena. Absorboitunut annos ilmaisee, kuinka suuri energiamäärä on siirtynyt kohteeseen massayksikköä kohden. Sen yksikkönä on gray (Gy), jonka sijaan käytetään usein pienempiä yksiköitä milligray (mGy) tai mikrogray ( $\mu$ Gy). Absorboituneesta annoksesta voidaan määrittää potilaan ekvivalenttiannos käyttämällä säteilylajeille ominaisia painotuskertoimia. Röntgensäteilyn painotuskerroin on yksi. Ekvivalenttiannoksesta voidaan laskea edelleen potilaan efektiivinen annos. Efektiivinen annos ottaa huomioon kudosten ja elinten erilaisen herkyyden säteilylle, joten se kuvaa parhaiten säteilyn aiheuttamaa terveydellistä kokonaisuutta. Se lasketaan käyttämällä ICRP:n määrittämiä eri kudosten ja elinten painotuskertoimia. Efektiivisen annoksen yksikkönä on sievert (Sv), joka tosin on yleensä liian suuri lääketieteellisiin röntgentutkimuksiin, joten yksikkönä käytetään pienempiä yksiköitä millisievert (mSv) ja mikro-sievert ( $\mu$ Sv). Vertailuksi suomalaisen keskimääräinen säteilyannos vuodessa on n. 4 mSv. Efektiivinenkään annos ei ole täysin tarkka potilaan säteilyannoksen määrittämisessä, mutta sillä saadaan kuitenkin kokonaiskuva potilaiden säteilyannosten seuraamiseksi ja vertaamiseksi. (Rantanen 2000, 657–659.)

## 2.4. Sydämen tietokonetomografiatutkimus

Sydämen tietokonetomografiatutkimus poikkeaa monista muista tietokonetomografiatutkimuksista siten, että se tehdään yleensä EKG-tahdistettuna. Tahdistus voidaan tehdä etukäteen (prospektiivisesti) tai jälkikäteen (retrospektiivisesti). Prospektiivisessä tahdistuksessa sydäntä kuvataan vain sen diastolevaiheessa eli sydämen lepo- ja täyttymisvaiheessa liikkeen minimoimiseksi. Retrospektiivisessä taas kuvataan koko sydämen toimintakierron ajan ja kuvadatasta rekonstruoidaan halutut kohdat jälkikäteen. Prospektiivinen tahdistus vähentää potilaan sädeannosta, mutta toisaalta retrospektiivisellä tahdistuksella voidaan tarkastella sydämen toimintaa. Potilasta pyydetään kuvauksen aikana myös pidättämään hengitystään, mikäli mahdollista. Tahdistuksen onnistumiseksi ja liikeartefaktan vähentämiseksi potilaan syke pyritään laskemaan mahdollisimman alhaiseksi. Ihanteellinen syke on 65/min tai sen alle. Tämän saavuttamiseksi käytetään usein sykettä hidastavaa beetasalpaajalääkettä, joko suonensisäisesti tai suun kautta annettuna. (Airaksinen ym. 2016, 210–211.) Lisäksi voidaan käyttää verisuonia laajentavaa nitrosumutetta. Tämä on erityisen tärkeää sepelvaltimoiden kuvauksessa, jossa tarkasteltavat rakenteet ovat pieniä. Mikäli esilääkityksiä ei voida käyttää tai potilaalla esiintyy eteisvärinää, lisälyöntisyyttä tai korkeaa sykettä lääkityksestä huolimatta, ei kuvausta välttämättä voida suorittaa siten että saavutettaisiin haluttu diagnostinen taso. (Hänninen ym. 2012, 68.) Kuvaslaitteen tekniikalla voidaan kuitenkin vaikuttaa kuvauksen onnistumiseen ja liikkeen vähentämiseen kuvista. Laitteen pyörähdysnopeus ja ajanerotuskyky ovat tärkeitä tekijöitä. Ajanerotuskyky kertoo, miten hyvin sydämen liike onnistutaan pysäyttämään kuvaan. Hyvällä ajanerotuskyvyllä voidaan siis kuvata myös nopeaa tai epäsäännöllistä sykettä. (Airaksinen ym. 2016, 211.)

Sydämen tietokonetomografia on tärkeä tutkimus sydämen toiminnan tutkimisessa ja erityisesti sepelvaltimotaudin toteamisessa. Pelkällä natiivikuvauksellakin voidaan selvittää monia rakenteellisia seikkoja kuten sydänpussin paksuus, tulehdukset, nestekertymät, kystat ja tuumorit. (Hänninen ym. 2012, 72.) Lisäksi natiivikuvauksella voidaan tutkia sepelvaltimoiden ahtaumia ja niiden ominaisuuksia. Ahtaumia voidaan arvioida niiden HU-luvun (Hounsfield Unit) perusteella. HU-luku ilmaisee materian tiheyden ja säteilyn vaimentamiskyvyn. Mitä korkeampi luku on, sitä tiheämpää on kohde. Esimerkiksi HU-luku nolla vastaa veden tiheyttä, -1000 ilman tiheyttä ja +1000 keskimääräistä luun tiheyttä. (IAEA 2014, 259-261.) Agatston-pisteityksen (Agatston score) mukaan kohde, jonka HU-luku on suurempi kuin 130 ja koko suurempi kuin 1 mm<sup>2</sup>, on kalkkeutunut kohde. Tätä tietoa voidaan hyödyntää sepelvaltimotaudin toteamisessa ja taudin kulun ennustamisessa.

Korkeat Agatston-pisteet ennustavat todennäköisempää sydäntapahtuman riskiä. Yli 400 HU:n kohteille suositellaan suoritettavaksi koronaariangiografia. Ahtaumien tutkiminen hyödyntää myös sepelvaltimotaudin poissulussa, mikäli poikkeavia muutoksia ei löydy. On kuitenkin huomattava, ettei kalkkeumien puutos täysin sulje pois sepelvaltimotaudin mahdollisuutta, sillä ahtaumat voivat myös koostua kalkittomasta materiaalista. (McKavanagh ym. 2015, viitattu 2.9.2017.)

Varjoaineen käyttö on tarpeen, kun halutaan tarkemmin tutkia sydämen ja sepelvaltimoiden toimintaa. Varjoainetta voidaan käyttää yksi- tai kaksivaiheisesti. Yksivaiheista kuvausta käytetään yleisemmin sepelvaltimoiden kuvauksiin sekä oikovirtausten ja aortan sairauksien selvittämiseen. Kaksivaiheinen kuvaus on hyödyksi silloin, kun halutaan nähdä varjoainetäyttöä molemmin puolin sydäntä. (Hänninen ym. 2012, 72.) Jodivarjoaineet ovat yleensä hyvin siedettyjä. Varjoaineesta voi kuitenkin aiheutua sivuvaikutuksia. Lievässä yliherkkyysoireissa potilaalla voi ilmetä ihottumaa, urtikariaa, pahoinvointia tai huimausta. Keskivaikeassa reaktiossa potilaalla voi esiintyä voimakkaampaa pahoinvointia, kaulan alueen turvotusta ja sydämen rytmihäiriöitä. Vakavassa reaktiossa potilas voi menettää tajuntansa tai mennä shokkiin. Yliherkkyysoireot ilmenevät tyypillisesti pian varjoaineen annon jälkeen, mutta myös myöhäisreaktiot 6–12 tuntia myöhemmin ovat mahdollisia. Mitä aiemmin yliherkkyysoireot ilmenevät, sitä vakavampi reaktio yleensä on. Aiempi reaktio varjoaineella, astma ja yleinen allergiataipumus lisäävät yliherkkyysoireon todennäköisyyttä. Mikäli potilaalla on taustaa aiemmista reaktioista tai korkea riski saada reaktio, voidaan käyttää etukäteen annettavaa esilääkitystä kuten kortisonia. Jodivarjoaine poistuu elimistöstä munuaisten kautta, mikä aiheuttaa rasitteen munuaisille. Munuaisten vajaatoiminta lisää munuaisten saamaa rasitetta. Pahimmillaan varjoaine voi aiheuttaa varjoainenefropatian, joka ilmenee vasta 24–72 tunnin kuluttua varjoaineen annosta. Tästä syystä ennen varjoaineen käyttöä tulee aina tarkistaa potilaan munuaisten toimintakyky, mikäli sen epäillään heikentyneen. Munuaisten toimintakykyä voidaan arvioida laboratoriotuloksista tarkistamalla kreatiniinin määrä veressä. Laboratoriotuloksista ja potilaan iästä, painosta ja sukupuolesta voidaan laskea vielä GFR-arvo (Glomerulus Filtration Rate) eli munuaisten glomerulusten arvioitu suodatuskyky. Tämä antaa tarkempaa tietoa, voidaanko kuvauksessa käyttää varjoainetta ja kuinka suurella varjoainemäärällä. Jodivarjoaineen käyttö onkin aina päätettävä tapaus- ja potilaskohtaisesti. (Andreucci, Solomon & Tasanarong, 2014, viitattu 2.9.2017.)

Sydämen tietokonetomografiakuvauksen säteilyannokset riippuvat monista tekijöistä. Prospektiivisen tahdistuksen käyttö vähentää potilaan säteilyannosta huomattavasti retrospektiiviseen verrattuna. Molemmissa kuvausmenetelmissä käytetään EKG-tahdistusta, jossa potilaan sydämen toimintakiertoa seurataan elektrodien avulla. Prospektiivisessä tahdistuksessa sydän kuvataan sen diastolevaiheessa. Tämä saavutetaan seuraamalla potilaan sydämen toimintakiertoa ja muodostamalla ennuste sen seuraavista toimintakierroista. Tämä vaatii riittävän tasaisen ja matalan rytmien, jotta ennustaminen onnistuu. Kuvaus suoritetaan aksiaalikuvausella, jossa tutkimuspöytä liikkuu vaiheittain eteenpäin. Kuvanotto suoritetaan sydämen diastolevaiheessa tutkimuspöydän ollessa paikoillaan ja tutkimuspöydän liikkuminen tapahtuu sydämen seuraavan toimintakierroksen eli systolen aikana. Tämä vähentää potilaan säteilyannosta, sillä kuvasarjoille ei tule juurikaan päällekkäisyyttä. Potilaan saama säteilyannos prospektiivisessä tahdistuksessa on siis hyvin riippuvainen käytetystä kuvauslaitteistosta. Retrospektiivistä tahdistusta käyttämällä säteilyannos on aina suurempi. Retrospektiivisessä tahdistuksessa sydäntä kuvataan koko sen toimintakierroksen ajan. Koska kuvaus tapahtuu helikaalitekniikalla, leikkeisiin tulee väistämättä jonkin verran päällekkäisyyttä. (McKavanagh ym. 2015, viitattu 2.9.2017.)

Potilaan saamaan säteilyannokseen vaikuttaa myös itse kuvauslaitteen tekniikka. Uusimmilla TT-laitteilla ja nopealla gantrylla voidaan kuvata koko sydän yhden pyörähdyksen aikana. Jokainen detektoririvi on leveydeltään 0,5 mm, joten esimerkiksi 320-rivinen kuvauslaite kattaa 16 cm alueen kerrallaan. Myös kuvauslaitteilla, jotka sisältävät kaksi tai jopa kolme röntgenputkea, on mahdollista kuvata koko sydän kerrallaan. Lisäksi kuvauslaitteen on kyettävä riittävään resoluutioon ja paikannerotuskykyyn, jotta kuvaleikkeet pysyvät diagnostisina potilaan vähentyneestä säteilyannoksesta huolimatta. Pienemmällä kuvakentällä (FOV, Field Of View) voidaan vähentää potilaasta aiheutuvaa sirontaa ja näin vähentää sekä kohinaa että potilaan säteilyannosta. Kuvauslaitteissa, joissa on useampi röntgenputki, on mahdollista käyttää toisessa röntgenputkessa suurta kuvakenttää ja toisessa pientä. (Fitzgerald, Bennett, Carr, Edic, Entrikin, Gao, Iatrou, Jin, Liu, Wang, Wang, Yin, Yu, Zeng & De Man 2016, viitattu 3.9.2017.)

### 3. TUTKIMUKSEN TARKOITUS JA TUTKIMUSKYSYMYKSET

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on kuvailla aikuisten potilaiden säteilyannoksia sydämen tietokonetomografiatutkimuksessa. Tutkimus toteutetaan kuvailevana kirjallisuuskatsauksena.

Tutkimuskysymys on:

Millaisia ovat aikuisille potilaille aiheutuvat säteilyannokset sydämen tietokonetomografiatutkimuksessa?

Kirjallisuuskatsaus kokoaa ajankohtaista tietoa sydämen tietokonetomografian aikuisten potilaiden säteilyannosten nykytilanteesta. Tarkoituksena on selvittää, kuinka suuria potilaiden säteilyannokset ovat ja mitkä tekijät vaikuttavat niiden muodostumiseen. Tutkimustuloksista selviää, millaista tietokonetomografialaitteiden kehitys on lähivuosina ollut ja mitä uusia potilaan säteilyannoksen optimointimenetelmiä on kehitelty. Tätä tietoa voidaan hyödyntää käytännön työssä potilaan säteilyannoksen optimoinnissa. Tietoa voidaan hyödyntää lisäksi tietokonetomografiatutkimuksen vertailussa muihin sydämen kuvantamismodaliteetteihin. Tavoitteena on myös kartoittaa tutkimusaineiston tämän hetkinen tilanne sydämen tietokonetomografian potilasannoksista. Kartoituksella selvitetään, kuinka laajasti tutkimusaineistoa on saatavilla ja kuinka ajankohtaista se on.

Tämä kirjallisuuskatsaus on osa Oulun ammattikorkeakoulun Sydämen Asialla –projektia. Sen taustalla on pyrkiä takaamaan sydänpotilaille mahdollisimman optimoitu kuvantamismenetelmä ja kehittää heidän hoitopolkuaan.



## 4. TUTKIMUSMETODOLOGIA

Tutkimusmetodologiaksi valittiin kuvaileva integroiva kirjallisuuskatsaus. Kirjallisuuskatsauksella pyritään luomaan kokonaiskuva sen tutkimasta asiakokonaisuudesta. Kirjallisuuskatsauksella tunnistetaan, arvioidaan ja tiivistetään olemassa olevaa tutkimusaineistoa ja kootaan siitä yhteenveto. Lisäksi sillä kartoitetaan tämän hetkisen tutkimusaineiston tila, jolloin saadaan yleiskuva sen kattavuudesta, määrästä ja ajankohtaisuudesta. Tarkoituksena ei ole kuitenkaan vain koota luetteloa olemassa olevasta tiedosta, vaan valita kriittisesti omalle kirjallisuuskatsaukselle oleelliset tutkimusaineistot ja rakentaa niistä johtopäätöksillä uutta teoriaa. (Salminen 2011, 3–5.)

Kirjallisuuskatsauksen tekemisessä on oleellista pitää aina mielessä tutkimuksen tavoite ja tutkimuskysymykset. Olemassa olevasta tutkimusaineistosta on osattava valita kriittisesti omaan tutkimusaiheeseensa liittyvä aineisto. Lähteitä valitessa on kuitenkin oltava rehellinen ja puolueeton, sillä myös tutkimusaineistoissa esiintyvien mahdollisten puutteiden tai ristiriitojen esiintuominen on tärkeä tulos. Analyysi on esitettävä objektiivisesti, jotta tutkimus olisi luotettava. Analyysin on myös oltava riittävän kattava ja yksityiskohtainen. (Hirsjärvi, Remes & Sajavaara 2009, 253–254.)

Kirjallisuuskatsaukset voidaan jaotella useisiin eri tyyppeihin. Jaotteluja on useita, mutta Salmisen mukaan ne voidaan jakaa kolmeen päätyyppiin: kuvailevaan kirjallisuuskatsaukseen, systemaattiseen kirjallisuuskatsaukseen ja meta-analyysiin. Kuvaileva kirjallisuuskatsaus voidaan edelleen jakaa narratiiviseen ja integroivaan muotoon. Narratiivinen kirjallisuuskatsaus metodisesti kevyin ja sillä pyritään antamaan mahdollisimman laaja yleiskuva aiheesta. Tutkimusaineistoa ei seulota systemaattisesti, vaan aineistosta pyritään muodostamaan tiivistelmä ilman varsinaista analyysia tai tulosta. Integroiva kirjallisuuskatsaus taas on tarkoitus tuottaa analyysia ja johtopäätöksiä tutkimustuloksistaan ja se muistuttaa vaiheiltaan systemaattista kirjallisuuskatsausta. Sille on oleellista kriittinen arviointi, jolla tutkimusaineistosta valitaan vain tärkein aineisto tutkimuksen perustaksi. Systemaattinen kirjallisuuskatsaus on kuitenkin tarkempi ja valikoivampi rajauksessaan. Meta-analyysillä pyritään tuottamaan analysoidusta tutkimusaineistosta kvantitatiivisia eli numeerisia tuloksia, joten sen edellytyksenä on, että tutkimusaineisto on riittävän saman tyyppistä keskenään. (Salminen 2011, 6–15.)

## 5. KIRJALLISUUSKATSAUKSEN SUORITTAMINEN

Kirjallisuuskatsaus tuotetaan vaiheittain. Ensimmäisessä vaiheessa suunnitellaan tulevan kirjallisuuskatsauksen tekeminen. Tämä aloitetaan tutustumalla aiempiin tutkimuksiin aiheesta ja laatimalla tutkimussuunnitelma. Tutkimussuunnitelmassa määritellään tutkimuskysymykset ja valitaan kirjallisuuskatsauksessa käytettävät menetelmät. Tämä tarkoittaa hakutermien ja tietokantojen valintaa sekä sisäänotto- ja poissulkukriteerien laadintaa. Käyttämällä tutkimussuunnitelmaa pohjana edetään toiseen vaiheeseen. Toisessa vaiheessa haetaan ja valitaan mukaan otettava tutkimusaineisto. Tutkimusaineiston sisältö ja laatu on analysoitava huolellisesti, jotta kirjallisuuskatsaukseen päätyy vain relevanttia aineistoa. Kaikki välivaiheet kirjataan huolellisesti tässä vaiheessa ylös, jotta tutkimuksen luotettavuus ja toistettavuus toteutuisi. Kolmannessa eli viimeisessä vaiheessa raportoidaan tutkimuksen tulokset ja tehdään niistä johtopäätökset. (Johansson 2007, 5–7.)

### 5.1. Tiedonhakustrategia

Ensimmäiseksi valittiin tiedonhaussa käytettävät elektroniset tietokannat. Tietokantojen tuli olla luotettavia, kattavia ja käsitellä lääkete- tai hoitotieteen alan tutkimuksia. Tietokannoiksi valikoituivat: PubMed, Science Direct, EBSCO, Medic ja Melinda. Näistä tietokannoista Medic ja Melinda ovat kotimaisia ja muut ulkomaalaisia tietokantoja. Academic Search Elite ja CINAHL jätettiin erillisinä tietokantoinaan pois, sillä ne oli mahdollista sisällyttää EBSCO-tietokannan hakuun. Tietokannat valittiin niiden kattavuuden ja tieteellisen luotettavuuden vuoksi. Tietokantojen valinnassa hyödynnettiin myös Oulun ammattikorkeakoulun kirjaston informaattikon apua, ja kaikki tietokannat olivat käytettävissä oppilaitoksen kirjautumistunnusten kautta.

Tietokantojen valinnan jälkeen rajattiin sopivat hakusanat ja -lausekkeet. Hakusanoja ja -lausekkeitä valittiin sekä suomenkielisiä että englanninkielisiä. PubMed-tietokantaa käyttäessä oli lisäksi mahdollisuus käyttää MeSH-asiasanoja (Medical Subject Headings). Tällä keinolla pystyttiin yhtäaikaaisesti laajentamaan hakua mahdollisimman kattavaksi mutta samalla myös tarkentamaan sitä koskettamaan vain haluttua aihetta. Myös suomalaisessa Medic-tietokannassa voitiin käyttää MeSH-asiasanoja sekä niiden suomenkielisiä FinMeSH -vastineita. Hakusanojen valintaa edelsivät tietokantoihin aiemmin tehdyt koehaut, joiden perusteella arvioitiin tehokkaimmat hakusanat ja niiden variaatiot. Hakusanat on tarkemmin esitelty taulukossa 1.

TAULUKKO 1: Kirjallisuuskatsauksen hakusanat

	Tietokonetomografia	Sydän	Annokset
<b>englanninkieliset hakusanat</b>	CT computer tomography computerized tomography computed tomography Tomography, X-Ray Computed (MeSH- asiasana)	heart cardiac coronary	radiation dose patient dose dose dosage
<b>suomenkieliset hakusanat</b>	TT tietokonetomografia tietokonekerroskuvaus (FinMeSH-asiasana)	sydän sepelvaltimot	säteilyannos potilasannos annos

Hakusanoista muodostettiin hakulausekkeita käyttämällä Boolean operaattoreita eli yleisimpänä AND-, OR- ja NOT-operaattoreita. Lisäksi hakulausekkeiden muodostamisessa käytettiin muita hakutyökaluja, kuten katkaisumerkkiä, tietokannoista riippuen. Eri tietokannoista käytettiin myös niiden omia hakutyökaluja. Esimerkiksi EBSCO:ssa hakusanat voitiin kohdistaa hakemaan pelkästään tutkimuksen otsikoista, abstrakteista tai kokotekstistä, jolloin hakutulosten määrää saatiin rajattua kaikista oleellisimpiin hakutuloksiin

Esimerkki englanninkielisestä hakulausekkeesta:

*((compute\* tomography) AND (heart OR cardiac OR coronary)) AND (dose OR dosage)*

Esimerkki suomenkielinen hakulausekkeesta:

*((tietokonetomografia) OR (tietokonekerroskuvaus)) AND (sydä\* OR sepel\*) AND (annos)*

## 5.2. Tutkimusaineiston haku- ja valintaprosessi

Ennen varsinaisen tiedonhaun suorittamista, kirjallisuuskatsaukseen sisällytettävälle tutkimusaineistolle määriteltiin sisäänotto- ja poissulkukriteerit. Tällä pyrittiin takaamaan se, ettei tutkimusaineistoksi valikoituisi tutkimuskysymysten kannalta epäoleellisia aineistoja. Tutkimuskysymys on: *Millaisia ovat aikuisten potilaiden säteilyannokset sydämen tietokonetomografiatutkimuksessa?* Kirjallisuuskatsaukseen valitut tutkimukset käsittelevät sydämen tietokonetomografiatutkimusta ja sen potilasannoksia. Tutkimus on tieteellinen julkaisu tai artikkeli, joten niissä esitellyt tutkimustulokset ovat luotettavia raportoitaviksi. Tutkimusten julkaisukieli on suomi tai englanti. Lisäksi tutkimus on julkaistu aikavälillä v. 2012–2017, joten tutkimustulokset ovat mahdollisimman ajankohtaisia. Tulokset liian suurella aikaskaalalla eivät olisi yhteneväisiä eivätkä antaisi johdonmukaista kuvaa nykytilanteesta. Sisäänotto- ja poissulkukriteerit käyvät ilmi taulukosta 2.

TAULUKKO 2: Kirjallisuuskatsauksen sisäänotto- ja poissulkukriteerit

Tutkimusten sisäänottokriteerit	Tutkimusten poissulkukriteerit
Tutkimus käsittelee sydämen tietokonetomografiaa ja sen potilasannoksia	Tutkimus ei käsittele sydämen tietokonetomografiaa ja sen potilasannoksia
Tutkimus on tieteellinen julkaisu tai artikkeli	Tutkimus ei ole tieteellinen julkaisu tai artikkeli
Tutkimus on suomen- tai englanninkielinen	Tutkimus on muun kuin suomen- tai englanninkielinen
Tutkimus on julkaistu aikavälillä v. 2012–2017	Tutkimus on julkaistu aiemmin kuin v. 2012
Tutkimus on saatavilla ilmaiseksi	Tutkimus on maksullinen

Tietokantojen, hakulausekkeiden ja sisäänotto- ja poissulkukriteerien määrittämisen jälkeen suoritettiin varsinainen tiedonhaku. Tietokannoissakannoissa käytettiin mahdollisuuden salliessa erilaisia suodattimia, kuten aikavälin rajausta ja kielen rajausta, ja hakulausekkeet muodostettiin tietokannasta riippuen. Tietokantahaut ja niiden valinta- ja poissulkuprosessi suoritettiin 23.–30. 9.2017.

PubMed-tietokantahaku tehtiin käyttäen hakulauseketta: (compute\* tomography) AND (heart OR cardiac OR coronary) AND (dose OR dosage) AND (Tomography, X-Ray Computed) [MeSH-asiasana]. Hakutermit kohdistettiin tutkimusten otsikkoon ja/tai abstraktiin. Hakutuloksia ilman suodattimia tuli 1085 kpl. Suodattimina käytettiin saatavuuden rajaaminen Free Full Text:in, julkaisuvuodet ajalle 2012–2017, tutkimusten kohde ihmisiin, tutkimusten kohteiden ikä aikuisiin sekä tutkimusten kieli englantiin. Näiden suodattimien jälkeen hakutuloksia oli 94 kpl.

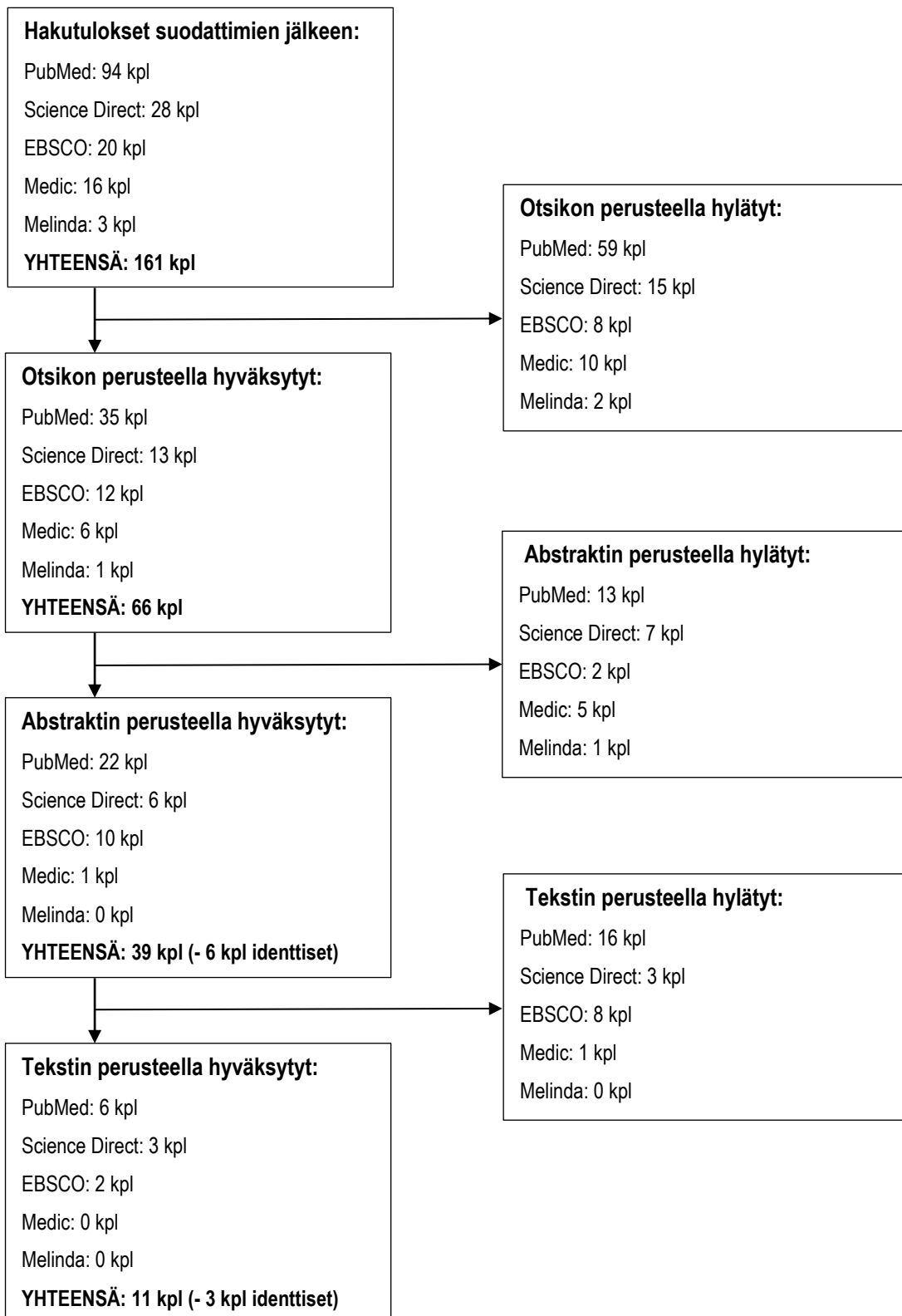
Science Direct -tietokantahaku tehtiin käyttäen hakulauseketta: (compute\* tomography) AND (dose) AND (heart OR cardiac OR coronary). Hakutermit kohdistettiin otsikkoon, abstraktiin ja/tai avainsanoihin. Hakutuloksia ilman suodattimia tuli 819 kpl. Suodattimena käytettiin saatavuuden rajaaminen Open Access Article:en, rajaamalla tieteenalat Medicine and Dentistry ja Nursing and Health Professions -tieteenaloihin sekä rajaamalla julkaisuvuodet ajalle 2012–2017. Näiden suodattimien jälkeen hakutuloksia tuli 28 kpl.

EBSCO-tietokantahaku tehtiin käyttäen hakulauseketta: (compute\* tomography) AND (dose OR dosage) AND (heart OR cardiac OR coronary). Hakutermit kohdistettiin otsikkoon. Hakuun sisällytettiin tietokannat Academic Search Elite ja CINAHL. Ilman suodattimia hakutuloksia tuli 130 kpl. Suodattimina käytettiin saatavuuden rajaaminen Full Text:in, julkaisuvuodet ajalle 2012–2017 ja kielen rajaaminen englantiin. Suodattimien jälkeen tuloksia tuli 20 kpl.

Medic-tietokantahaku tehtiin käyttäen hakulauseketta: (tietokonetomografia OR tietokonekerroskuvaus) AND (sydä\* OR sepe\*). Hakutermit kohdistettiin tekijään, otsikkoon, asiasanaan ja/tai tiivistelmään. Ilman suodattimia hakutuloksia tuli 33 kpl. Suodattimina käytettiin saatavuuden rajaaminen vain kokoteksteihin, julkaisuvuodet ajalle 2012–2017 ja kielet englantiin tai suomeen. Suodattimien jälkeen hakutuloksia tuli 16 kpl.

Melinda-tietokantahaku tehtiin käyttäen hakulauseketta: (tietokonetomografia OR tietokonekerroskuvaus) AND (sydä?). Ilman suodattimia hakutuloksia tuli 15 kpl. Suodattimena käytettiin rajaaminen julkaisuvuodet ajalle 2012–2017. Suodattimien jälkeen hakutuloksia tuli 3 kpl.

Suodattimien käytön jälkeen tietokantahakuja alettiin käydä läpi niiden otsikon, abstraktin ja tekstin sisällön perusteella. Tutkimusaineistojen valinta- ja poissulkuprosessi on esitetty kuviossa 1.



KUVIO 1: Tutkimusaineistojen valinta- ja poissulkuprosessi

Hakutuloksia kaikista tietokannoista tuli suodattimien käytön jälkeen yhteensä 161 kpl. Nämä hakutulokset seulottiin ensin läpi otsikon perusteella. Otsikon perusteella hylättiin yhteensä 94 artikkelia. Hylkäämisen syitä olivat mm. väärä modaliteetti, käsittelee eläinlääketiedettä, käsittelee lasten potilasannoksia, ei käsittele sydämen tietokonetomografiatutkimusta ja ei käsittele sydämen tietokonetomografian potilasannoksia. Otsikon perusteella hyväksyttiin yhteensä 66 kpl artikkelia.

Otsikon perusteella hyväksytyt hakutulokset seulottiin edelleen läpi abstraktin perusteella. Hakutuloksia hylättiin 24 kpl. Hylkäämisen syitä olivat, etteivät artikkelit käsitelleet sydämen tietokonetomografiaa tai sen potilasannoksia. Abstraktin perusteella hakutuloksia hyväksyttiin yhteensä 39 kpl. Näistä hakutuloksista 6 kpl olivat identtisiä lähdeviitteitä, joten uniikkeja hakutuloksia oli 33 kpl.

Abstraktin perusteella hyväksytyt hakutulokset seulottiin vielä koko tekstin perusteella. Hakutuloksia hylättiin 28 kpl. Hylkäämisen syitä olivat: ei käsittele sydämen tietokonetomografian tutkimuksen potilasannoksia (1 kpl), ei ole tutkimus (3 kpl), käsittelee ensisijaisesti kuvanlaadun tai diagnostiikan optimointia (11 kpl), käsittele ensisijaisesti varjoainemäärän optimointia (2 kpl), tutkimus on vanhempi kuin 2012 (7 kpl) ja tutkimus on maksullinen (4 kpl). Kaikkien karsintojen jälkeen hakutuloksista hyväksyttiin kirjallisuuskatsaukseen 11 kpl, joista identtisiä lähdeviitteitä oli 3 kpl. Kirjallisuuskatsaukseen hyväksyttiin siis 8 artikkelia.

Kaikki tutkimukset olivat englanninkielisiä tieteellisiä julkaisuja. Kaksi tutkimuksista oli fantomitutkimuksia ja loput kliinisiä potilastutkimuksia. Kaikki tutkimusaineistoksi valitut artikkelit käsittelevät sydämen tietokonetomografiatutkimuksen aikuisten potilasannoksia, kukin omasta näkökulmastaan. Sekä fantomi- että potilastutkimukset oli suoritettu huomattavan erilaisilla TT-laitteilla ja kuvausprotokollilla. Suurin osa artikkeleista käsittelee myös säteilyannoksen vaikutusta kuvanlaatuun, sillä säteilyannos ja kuvanlaatu kulkevat usein käsi kädessä.

### 5.3. Kirjallisuuskatsaukseen valitut tutkimusaineistot

Kirjallisuuskatsaukseen valittiin yhteensä 8 tutkimusta. Tutkimukset on esitetty aikajärjestyksessä julkaisuvuoden mukaan uusimmasta vanhimpaan alla olevasta taulukossa 3. Tutkimusten keskeinen sisältö ja tulokset on esitetty liitteessä 1.

TAULUKKO 3: Kirjallisuuskatsaukseen valitut tutkimusaineistot

Tutkimuksen nimi	Tutkimuksen tekijät	Julkaisulähde	Vuosi
Cardiac-Specific Conversion Factors to Estimate Radiation Effective Dose From Dose-Length Product in Computed Tomography.	Trattner, S., Halliburton, S., Thompson, C.M., Xu, Y., Chelliah, A., Jambawalikar, S.R., Peng, B., Peters, M.R., Jacobs, J.E., Ghesani, M., Jang, J.J., Al-Khalidi, H. & Einstein, A.J.	JACC: Cardiovascular Imaging	2017
Cardiac helical CT involving a low-radiation-dose protocol with a 100-kVp setting: Usefulness of hybrid iterative reconstruction and display preset optimization.	Iyama, Y., Nakaura, T., Yokoyama, K., Kidoh, M. & Yamashita, Y.	Medicine (Baltimore)	2016
Prospective evaluation of the influence of iterative reconstruction on the reproducibility of coronary calcium quantification in reduced radiation dose 320 detector row CT.	Choi, A.D., Leifer, E.S., Yu, J., Shanbhag, S.M., Bronson, K., Arai, A.E. & Chen, M.Y.	Journal of Cardiovascular Computed Tomography	2016
A practical approach for a patient-tailored dose protocol in coronary CT angiography using prospective ECG triggering.	van Dijk, J.D., Huizing, E.D., Jager, P.L., Ottervanger, J.P., Knollema, S., Slump, C.H. & van Dalen, J.A.	The International Journal of Cardiovascular Imaging	2016
Recent Update on Radiation Dose Assessment for the State-of-the-Art Coronary Computed Tomography Angiography Protocols.	Tan, S.K., Yeong, C.H., Ng, K.H., Abdul Aziz, Y.F. & Sun, Z.	Plos One	2016
Evaluation of a chest circumference-adapted protocol for low-dose 128-slice coronary CT angiography with prospective electrocardiogram triggering.	Lu, C., Wang, Z., Ji, J., Wang, H., Hu, X. & Chen, C.	Korean Journal of Radiology	2015
Coronary computed tomography angiography with model-based iterative reconstruction using a radiation exposure similar to chest X-ray examination.	Fuchs, T.A., Stehli, J., Bull, S., Dougoud, S., Clerc, O.F., Herzog, B.A., Buechel, R.R., Gaemperli, O. & Kaufmann, P.A.	European Heart Journal	2014
Iterative reconstruction and individualized automatic tube current selection reduce radiation dose while maintaining image quality in 320-multidetector computed tomography coronary angiography.	Williams, M.C., Weir, N.W., Mirsadraee, S., Millar, F., Baird, A., Minns, F., Uren, N.G., McKillop, G., Bull, R.K., van Beek, E.J., Reid, J.H. & Newby, D.E.	Clinical Radiology	2013



#### 5.4. Tutkimusaineiston analysointi

Aineistonkeruun jälkeen valittu tutkimusaineisto analysoitiin. Analyysimenetelmiä on useita ja ne voidaan jaotella eri tavoin. Eskolan (2001; 2007) mukaan (Tuomi & Sarajärvi 2009, 95–98) analyysimenetelmät voidaan jakaa kolmeen kategoriaan: aineistolähtöinen, teoriasidonnainen ja teorialähtöinen analyysi. Aineistolähtöisessä analyysissä tavoitteena on luoda valitusta tutkimusaineistosta teoreettinen kokonaisuus. Tekijän aikaisemmat havainnot, tiedot ja teoriat eivät saa vaikuttaa lopputuloksen muodostumiseen, vaan kaiken täytyy olla perusteltavissa itse aineistolla. Täysin puhdasta ja objektiivista lopputulosta on tietenkin vaikea saavuttaa, sillä jo tutkimuksessa valitut tutkimusasetelmat ja -menetelmät ovat tekijän itse asettamia ja vaikuttavat lopputulokseen. Tärkeää aineistolähtöisessä analyysissä olisikin, että aiemman tiedon vaikutus olisi tunnistettavissa. Teoriasidonnaisessa analyysissä tutkimus toteutetaan jo jonkin tietyn teorian pohjalle, joka toimii kehyksenä tutkimukselle. Aiempi tieto siis ohjaa tutkimuksen suorittamista ja vaikuttaa itse lopputulokseenkin. Teorialähtöisessä analyysissä tutkimusaineisto suhteutetaan joihinkin valittuihin kategorioihin ja sillä lähdetään hakemaan vastausta tiettyyn tutkimuskysymykseen. Kirjallisuuskatsauksen suorittamiseen näistä kolmesta menetelmästä soveltuu aineistolähtöinen analyysimenetelmä. (Tuomi & Sarajärvi 2009, 95–98, 123.)

Aineistolähtöinen analyysimenetelmä etenee Milesin ja Hubermanin (1994) mukaan (Tuomi & Sarajärvi 2009) kolmessa vaiheessa:

- 1.) Aineiston redusointi eli pelkistäminen
- 2.) Aineiston klusterointi eli ryhmittely
- 3.) Aineiston abstrahointi eli käsitteellistäminen

Aineiston redusoinnissa tutkimusaineistoa karsitaan siten, että epäolennainen tieto jää pois. Tätä ohjaa tutkimuskysymys, jonka mukaan valitaan mikä on olennaista tietoa ja mikä ei. Aineistosta etsitään tutkimuskysymykseen oleellisesti liittyvät ilmaisut, jotka pelkistetään sitten yksinkertaisempaan muotoon. Aineiston klusteroinnissa nämä ilmaukset käydään läpi ja samaa asiaa tarkoittavat yhdistetään omaksi ryhmäkseen. Aineisto tiivistyy ja luo pohjan itse tutkimuksen perusrakenteelle. Aineiston abstrahoinnissa tutkimusaineiston käyttämät ilmaukset liitetään teoreettisiin käsitteisiin. Ryhmiä yhdistellään tarpeen mukaan vielä lisää. Tutkimuksen lopputuloksessa kuvataan näillä menetelmillä muodostetut ryhmät ja käsitteet. (Tuomi & Sarajärvi 2009, 108–113.)

Tutkimusaineiston analysointi aloitettiin redusoimalla, eli etsimällä aineistoista oleelliset termit ja tiivistämällä kunkin artikkelin teema niiden kautta. Analyysiyksikkönä oli joko yksittäinen sana tai tiettyä yksittäistä ilmiötä kuvaava termi. Sanojen ja termien valintaa ohjasi tutkimuskysymys eli aikuisten potilasannosten selvittäminen sydämen tietokonetomografiatutkimuksissa. Koska kaikki tutkimusaineiston artikkelit olivat englanninkielisiä, lopuksi esille nostetut termit käännettiin englannista suomeksi. Tutkimusaineiston redusointi on tarkemmin esitetty liitteessä 2.

Tutkimusaineiston klusteroinnissa aiemmin esille nostetut oleelliset termit ryhmiteltiin omiin alaluokkiinsa. Termeistä etsittiin yhteneväisyyksiä ja ne yhdisteltiin suurempien kokonaisuuksien alle. Myös klusteroinnissa tutkimuskysymys ohjasi alaluokkien muodostamista, eli alaluokkia koottiin säteilyannoksen muodostumisen näkökulmasta. Alaluokkien kautta alkoi artikkeleista nousta selkeitä pääteemoja. Alaluokiksi muodostuivat: tahdistus, laskenta-algoritmit, laitteen tekniset ominaisuudet, kuvausprotokollat, säteilyannoksen laskeminen ja potilaan ruumiinrakenteen huomiointi. Tutkimusaineiston klusterointi on tarkemmin havainnollistettu alla olevassa taulukossa 4.

TAULUKKO 4: Tutkimusaineiston klusterointi

Pelkistetty ilmaus	Alaluokka
prospektiivinen / retrospektiivinen tahdistus	Tahdistus
iteratiivinen rekonstruktio (iDose, SAFIRE, AIDR, ASIR) suodatettu takaisinprojektio (FBP)	Laskenta-algoritmit
korkea pitch kaksi röntgenlähdettä 32-, 64-, 128- tai 320-leikkeinen detektori	Laitteen tekniset ominaisuudet
matala kV -kuvausprotokollat matala-annos -kuvausprotokollat	Kuvausprotokollat
thoraxin konversiokerroin sydän-spesifinen konversiokerroin elinten säteilyannokset	Säteilyannoksen laskeminen
potilaan painoindeksin huomiointi potilaan rintakehän ympärysmittan huomiointi	Potilaan ruumiinrakenteen huomiointi

Seuraavaksi tutkimusaineisto abstrahoitii. Edellisessä vaiheessa luodut alaluokat tiivistettiin käsitteellisemmiksi pääluokiksi. Pääluokkien tarkoituksena oli luoda kirjallisuuskatsaukselle perusrakenne eli mistä näkökulmista tuloksia aikuisten säteilyannoksista käsiteltiin. Pääluokiksi muodostui kolme tärkeintä esille nousutta pääteemaa: säteilyannoksen määrittäminen, iteratiivisen rekonstruktion vaikutus säteilyannokseen ja säteilyannoksen potilaskohtainen optimointi. Tutkimusaineiston abstrahointi on esillä alla olevassa taulukossa 5.

*TAULUKKO 5: Tutkimusaineiston abstrahointi*

<b>Alaluokka</b>	<b>Pääluokka</b>
Laitteen tekniset ominaisuudet Säteilyannoksen laskeminen	Säteilyannoksen määrittäminen
Laskenta-algoritmit	Iteratiivisen rekonstruktion vaikutus säteilyannokseen
Tahdistus Kuvausprotokollat Potilaan ruumiinrakenteen huomiointi	Säteilyannoksen potilaskohtainen optimointi

## 6. AIKUISEN POTILAAN SÄTEILYANNOS SYDÄMEN TIETOKONETOMOGRAFIATUTKIMUKSESSA

### 6.1. Säteilyannoksen määrittäminen

Kahdeksasta kirjallisuuskatsaukseen valitusta tutkimusaineistosta kaksi käsittelivät efektiivisen annoksen määrittämisen periaatteita sydämen tietokonetomografiatutkimuksessa. Molemmat tutkimukset olivat fantomitutkimuksia, ja tutkimukset suoritettiin usealla eri valmistajan TT-laitteella ja eri kuvausprotokollilla. Tutkimusten tarkoitus oli selvittää, mitkä tekijät vaikuttavat efektiivisen annoksen muodostumiseen. Molemmat tutkimukset vertasivat myös eri konversiokertoimilla saatuja efektiivisiä annoksia keskenään.

Efektiivinen annos (mSv) on yleisin suure, jota käytetään potilaan säteilyannoksen määrittämiseen. Sydämen tietokonetomografiatutkimuksen säteilyannos lasketaan kertomalla TT-laitteen ilmoittama DLP erillisellä konversiokerroimella. Tällä hetkellä käytettävä konversiokerroin on thoraxin eli rintakehän konversiokerroin:  $0.014 \text{ mSv} \cdot \text{mGy}^{-1} \text{cm}^{-1}$ , jonka on määrittänyt Euroopan Komissio vuonna 2004. Thoraxin konversiokerroin ei kuitenkaan ole alun perin tarkoitettu sydämen tietokonetomografiatutkimukseen vaan keuhkojen tietokonetomografiatutkimukseen. Lisäksi tämä konversiokerroin on luotu vanhemman vuoden 1990 suosituksen ICRP-60 perusteella, jonka kudosten ja elinten painotuskertoimet ovat erilaiset ja ne on määritetty teknologisesti kehittymättömämmillä TT-laitteilla nykyteknologiaan verrattuna. ICRP on antanut viimeisimmän päivityksensä painotuskertoimiin vuonna 2007 suosituksessa ICRP-103. Varsinaisesti sydämen tietokonetomografiatutkimukseen tarkoitettua konversiokerrointa ei ole yritetty kuitenkaan päivittää. (Trattner ym. 2017.) Painotuskertoimet suosituksista ICRP-60 ja ICRP-103 on esitetty tarkemmin liitteessä 3.

Trattner ym. (2017) suorittivat fantomitutkimuksen, jossa eri TT-laitteille laskettiin jokaiselle oma sydämen tietokonetomografiatutkimuksen konversiokerroin ja saatuja tuloksia verrattiin thoraxin konversiokerroimella laskettuun efektiiviseen annokseen. Tutkimus suoritettiin yhteensä 12 eri TT-laitteella, 5 eri suurelta laitevalmistajalta (GE, Hitachi, Philips, Siemens, Toshiba). Tutkimuksessa käytetty fantomi oli 73 kg kokovartalofantomi, jonka koostumus pyrki jäljittelemään aikuisen ihmisen rakennetta ja säteilyn vaimentamisominaisuuksia. Naispotilasta pyrittiin jäljittelemään lisäämällä fantomille rintafantomi. Säteilyn mittaukset tehtiin fantomin sisällä olevilla MOSFET-

(Metal-oxide-semiconductor field-effect transistor) eli eristehilatransistoreilla, joiden tarkoituksena oli määrittää eri kudosten ja elinten yksilölliset säteilyannokset. Teknisiltä ominaisuuksiltaan TT-laitteet olivat 32–320 detektoririvisiä ja sisälsivät yhden tai kaksi röntgenlähdettä. Kuvausprotokollana käytettiin kunkin laitteen sydämen tutkimukseen tarkoitettua protokollaa, kolmella eri kV-parametrilla (80kV, 100 kV, 120 kV). Lisäksi kuvauksiin simuloitiin EKG-käyrä, jonka mukaan tahdistus suoritettiin. Jokaiselle näille kuvausprotokollalle laskettiin oma konversiokerroin. Tutkimuksesta kävi ilmi, että kaikki uudelleen lasketut konversiokertoimet ovat suurempia kuin thoraxin konversiokerroin. Thoraxin konversiokerroin aliarvioi efektiivistä annosta jopa 60 %, TT-laitteen mallista riippuen. Tutkimuksen mukaan syitä tähän annosaliarvointiin on esimerkiksi se, että keuhkojen tietokonetomografiatutkimus ulottuu pitemmälle kuin pelkkä sydämen tietokonetomografiatutkimus. Sydämen tutkimus rajoittuu pelkästään rintojen alueeseen ja näin ollen thoraxin konversiokerroin ei ole riittävä, sillä rinnat ovat erityisen sädeherkkää kudosta. Lisäksi vanhaan ICRP-60:een perustuva thoraxin konversiokerroin määrittää rinnoille huomattavasti matalamman painotuskertoimen (0.05) kuin uudempi ICRP-103 (0.12), eikä määritä sydämelle omaa painotuskertoiminta ollenkaan. Tutkimus siis osoittaa, että sydämen tietokonetomografiatutkimuksen säteilyannokset nykytavalla laskettuna ovat merkittävästi ja systemaattisesti aliarvioituja.

Myös Tan ym. (2016) määrittivät efektiivistä annosta usealla eri laitevalmistajien TT-laitteella. Heidän käyttämänsä fantomi 55 kg kokovartalofantomi, joka pyrki jäljittelemään aikuista naispotilasta. Säteilyn mittaukset tehtiin fantomin sisällä olevilla OSLD (Optically Stimulated Luminescent Dosimeter) -dosimetreillä. Tutkimuksessa käytetyt TT-laitteet olivat:

1. GE Optima CT550 (64-rivinen)
2. Philips Ingenuity 128 (64-rivinen)
3. Siemens Somatom Definition (2x32-rivinen)
4. Siemens Somaton Definition Flash (2x64-rivinen)
5. Toshiba AquilionONE (320-rivinen)

Tutkimukset suoritettiin kunkin TT-laitteen omalla kuvausprotokollalla. Fantomille simuloitiin EKG-käyrä (60 /min), jotta tutkimus voitiin suorittaa prospektiivisesti tahdistettuna. Säteilyannokset mitattiin yhteensä 34 eri elimestä ja kudoksesta ja laskettiin ICRP-103 painotuskertoimien mukaan. Summaamalla nämä kaikki mitatut elinannokset yhteen saatiin mitattu efektiivinen annos (measured  $H_E$ ). Laskemalla efektiivinen annos TT-laitteen ilmoittaman ilmakerman ja thoraxin konversiokertoimen mukaan saatiin laskennallinen annos (computed  $H_E$ ). Nämä molemmat annokset ovat esitettyinä alla olevassa taulukossa 6, jossa vertaillaan eri TT-laitteilla saatuja annoksia.

TAULUKKO 6: Efektiiviset annokset eri TT-laitteilla (Tan ym. 2016, viitattu 21.10.2017)

Parameter	GE Optima CT550 (64)	Philips Ingenuity128 (64)	Siemens Somatom Definition (2x32)	Siemens Somaton Definition Flash (2x64)	Toshiba AquilionONE (320)
$P_{KL}$ (mGy.cm)	193.40 ± 2.52	168.10 ± 3.44	204.00 ± 3.30	83.00 ± 3.01	57.90 ± 1.21
Measured $H_E$ (mSv)	5.60 ± 0.68	5.02 ± 0.73	6.06 ± 0.72	1.88 ± 0.25	1.34 ± 0.48
Computed $H_E$ (mSv)	2.71 ± 0.04	2.35 ± 0.05	2.86 ± 0.05	1.16 ± 0.04	0.81 ± 0.02
% difference (Measured $H_E$ - Computed $H_E$ )	51.6 %	53.2 %	52.8 %	38.3 %	39.6 %

Kaikista matalin annos oli uusimmalla 320-rivisellä AquilionONE:lla, joka pystyi kattavuutensa ansiosta kuvaamaan koko sydämen mitan yhden pyörähdyksen aikana. Tällöin sydän pystytiin kuvaamaan myös yhden toimintakierron diastolevaiheen aikana. Muuta huomioitava oli se, että vaikka kahdella yksilähteisellä 64-rivisellä kuvauslaitteella (Optima CT550 ja Ingenuity 128) ja kaksilähteisellä 2x32-rivisellä kuvauslaitteella (Somatom Definition) oli mitallisesti sama määrä detektoririvejä keskenään, yksilähteisillä kuvauslaitteilla saatiin yleisesti matalammat annokset kuin kaksilähteisellä kuvauslaitteella. Tämä johtui todennäköisesti siitä, että leikkeisiin tulee jonkin verran päällekkäisyyttä suorittaessa helikaalikuvausta kaksilähteisellä TT-laitteella. Tutkimukseen sisältyi samasta TT-laitteesta myös sen toisen generaation versio (Somatom Definition Flash), jossa detektoririvien määrä oli päivitetty 2x64-riviseen, FOV:a oli laajennettu ja laitteeseen oli lisätty "Flash"-protokolla, jossa nopea gantryn pyörimisnopeus oli yhdistetty nopeaan kuvauspöydän liikkeeseen. Näillä muutoksilla mahdollistettiin kuvaaminen yhden sydämen toimintakierron diastolevaiheen aikana eikä päällekkäisyyttä leikkeisiin enää syntynyt. Lisäksi toisen generaation laitteeseen oli lisätty fotonisuoja, joka suodatti tarpeettomat matalat fotonit pois säteilyspektristä ja näin vähensi potilaan säteilyannosta entisestään. Kaikki nämä muutokset ovat nähtävissä huomattavasti matalammassa efektiivisessä annoksessa verrattuna ensimmäisen generaation TT-laitteeseen.

Huomioitavaa oli myös ero mitatulla efektiivisellä annoksella (measured  $H_E$ ) ja laskennallisella efektiivisellä annoksella (computed  $H_E$ ). Mitattu efektiivinen annos oli systemaattisesti korkeampi kuin laskennallinen annos. Ero vaihteli keskimäärin välillä 38.3–53.2 %. Myös Tan ym. (2016) ottivat kantaa siihen, että thoraxin konversiokerroin näyttää aliarvioivan huomattavasti potilaan saamaa säteilyannosta sydämen tietokonetomografiatutkimuksessa.

## 6.2. Iteratiivisen rekonstruktion vaikutus säteilyannokseen

Kahdeksasta tutkimusaineistosta neljä käsittelivät iteratiivista rekonstruktioita ja sen vaikutusta sydämen tietokonetomografiatutkimuksen potilasannoksiin. Jokaisella suurella laitevalmistajalla on oma algoritminsa: Philipsillä iDose, Siemensillä SAFIRE (Sinogram Affirmed Iterative Reconstruction), Toshibaalla AIDR (Adaptive Iterative Dose Reduction) ja GE:llä ASIR (Adaptive Statistical Iterative Reconstruction) sekä MBIR (Model Based Iterative Reconstruction). Iteratiivisen rekonstruktion käyttö vie aikaa ja prosessointitehoa tietokoneelta. (Williams ym. 2013.) Tutkimukset tarkastelivat myös iteratiivisen rekonstruktion vaikutusta kuvanlaatuun, sillä kolmessa tutkimuksessa algoritmeja käytettiin yhdessä LDCT (Low Dose Computed Tomography) tai ULDCCT (Ultra Low Dose Computed Tomography) -tutkimusten tai putkivirran moduloinnin kanssa. Matalamman putkivirran ja putkijännitteen käyttäminen usein heikentää kuvanlaatua, jolloin iteratiivisen rekonstruktion tarkoituksena on pitää kuvanlaatu diagnostisena. (Fuchs ym. 2014.)

Williams ym. (2013) käsittelivät tutkimuksessaan Toshiba AIDR ja AIDR3D -algoritmien sekä automaattisen putkivirran yhdistelmää. Tutkimus suoritettiin 942 potilaan kohorttitutkimuksena, jonka potilaat jaettiin kolmeen ryhmään: ryhmä 1 ( $n = 228$ ), ryhmä 2 ( $n = 379$ ) ja ryhmä 3 ( $n = 335$ ). Potilaille suoritettiin prospektiivisesti tahdistettu varjoainetehosteinen sydämen tietokonetomografiatutkimus. TT-laitteena oli 320-rivinen Toshiba AquilonONE. Ryhmän 1 kuvaleikkeet rekonstruoidtiin käyttämällä takaisinsuodatettua projektioita, ryhmän 2 käyttämällä AIDR-algoritmia ja ryhmän 3 käyttämällä AIDR3D-algoritmia. Ryhmissä 1 ja 2 kuvauksessa käytettävä putkijännite valittiin potilaan BMI:n mukaan, kun taas ryhmässä 3 putkijännite valittiin scout-kuvan perusteella. Tuloksista kävi ilmi, että iteratiivisen rekonstruktion käyttö vähensi potilaan saamaa säteilyannosta takaisinsuodatettuun projektiioon verrattuna. Vähennys AIDR-algoritmilla oli 12 % ja AIDR3D-algoritmilla 39 %. Kuvanlaadun diagnostisuutta tarkasteltiin yleisestä näkökulmasta ja havaittiin, että iteratiivisen rekonstruktion käyttö paransi kuvanlaatua subjektiivisesti arvioituna. Iteratiivisen rekonstruktion todettiin vähentävän kohinaa sekä kalkkeumista, stenteistä ja muista tiheistä kohteista aiheutuvia tähtiartefaktoja.

Fuchs ym. (2014) testasivat tutkimuksessaan, voiko GE:n MBIR-algoritmia käyttää yhdessä sydämen ULDCCT-tutkimuksen yhteydessä pitämään kuvanlaatu hyväksyttävällä tasolla. Kuvanlaatua tarkkailtiin erityisesti sepelvaltimotaudin diagnostiikan kannalta. Tutkimus suoritettiin potilastutki-

muksena 42 potilaalle, joille tehtiin prospektiivisesti tahdistettu varjoainetehosteinen standarditutkimus sekä lisäksi ULDCCT-tutkimus. TT-laitteena oli 64-rivinen GE:n Discovery HD 750. Standarditutkimuksen kuvaleikkeet rekonstruointiin käyttämällä toista GE:n algoritmia, ASIR-algoritmia. ULDCCT-tutkimuksen kuvaleikkeet rekonstruointiin käyttämällä MBIR-algoritmia. Tuloksista ilmeni, että annoksen vähentyminen standarditutkimuksen ja ULDCCT-tutkimuksen välillä on merkittävää. Efektiviisen annoksen mediaani standarditutkimuksessa oli 1.19 mSv, kun ULDCCT-tutkimuksessa se oli 0.21 mSv. Tämä merkitsi suurin piirtein 82 % annosvähennystä. Lisäksi standarditutkimuksen ja ULDCCT-tutkimuksen kuvanlaadussa ei ollut merkittäviä eroavaisuuksia. Kohinan määrä lisääntyi matalan putkijännitteen ja putkivirran takia, mutta MBIR -algoritmi onnistui pitämään kuvanlaadun hyväksyttävänä ja sepelvaltimotaudin diagnostiikan mahdollisena.

Choi ym. (2016) suorittivat saman tyyppisen potilastutkimuksen, mutta sepelvaltimokalkkien diagnostiikan kannalta. Heidän tutkimuksensa käsitti 200 potilasta, joille jokaiselle tehtiin yhteensä neljä sydämen tietokonetomografiatutkimusta: kaksi standarditutkimusta ja kaksi LDCT-tutkimusta. Tutkimukset olivat prospektiivisesti tahdistettuja ja ilman varjoainetehostusta. LDCT-tutkimuksessa käytettiin automaattista putkivirran modulointia. Molemmat tutkimukset rekonstruointiin takaisinsuodatetulla projektiolla ja AIDR3D-algoritmeilla. TT-laitteena oli 320-rivinen Toshiba AquilonONE. Tulokset osoittivat, että LDCT-tutkimuksen mediaani efektiivinen annos oli 0.37 mSv ja standarditutkimuksen 1.38 mSv. Annosvähennys tutkimusten välillä oli siis mediaaniltaan 74 %. Kuvanlaatua arvioitiin Agatson-pisteityksen osuvuudella. Agatson-pisteet vastasivat samaa ryhmää LDCT/AIDR3D -tutkimuksien ja standardi/FBP -tutkimuksien välillä 89 %:sti. Kuvanlaatu pysyi siis diagnostisella tasolla sepelvaltimokalkkien diagnostiikan kannalta.

lyama ym. (2016) käyttivät tutkimuksessaan iteratiivisen rekonstruktion hybridimenetelmää. Heidän tutkimuksensa erosi muista myös siten, että he käyttivät retrospektiivistä tahdistusta. Tutkimukseen osallistui 100 potilasta, jotka jaettiin kahteen ryhmään. Ryhmä 1 kuvattiin standarditutkimuksella (120 kV) ja ryhmä 2 LDCT-tutkimuksella (100 kV). Standarditutkimuksen kuvaleikkeet rekonstruointiin takaisinsuodatetulla projektiolla ja LDCT-tutkimuksen kuvaleikkeet sekä takaisinsuodatetulla projektiolla että iDose-hybridimenetelmällä, jossa rekonstruktion parametrejä voidaan säätää. Säädön tarkoituksena on välttää iteratiivisen rekonstruktion aiheuttama kuvien sumeneminen. Säädönä käytettiin tasoa 60 %. TT-laitteena käytettiin 128-rivistä Philipsin Brilliance iCT:a. Tuloksista selvisi, että efektiivinen annos oli LDCT-tutkimuksessa keskimäärin 76 % matalampi kuin standarditutki-



muksessa, mutta myös kohinan määrä oli LDCT-tutkimuksessa merkittävästi suurempi kuin standarditutkimuksessa. Käyttämällä hybridimenetelmää kohinaa saatiin vähennettyä keskimäärin 42 %. Myös SNR oli huonompi LDCT-tutkimuksessa, mutta hybridimenetelmällä rekonstruoidun kuvan ja standarditutkimuksen välillä ei ollut enää mainittavaa eroa. Sen sijaan laskevasta aortasta mitattu HU-luku oli korkeampi LDCT-tutkimuksissa kuin standarditutkimuksessa, eikä hybridimenetelmä korjannut tätä. Tästäkin huolimatta kuvanlaatu arvioitiin riittävän diagnostiseksi.

Alla olevassa taulukossa 7 on yhteenvedetty kaikki kolme prospektiivisessä tahdistuksessa kuvattujen tutkimusten potilasannokset. Kaikki taulukossa ilmoitetut efektiiviset annokset ovat mediaaneja ja ne on kaikki laskettu käyttäen TT-laitteen ilmoittamaa DLP:a ja thoraxin konversiokerrointa ( $0.014 \text{ mSv} \cdot \text{mGy}^{-1} \text{cm}^{-1}$ ). Iyaman ym. (2016) tutkimus on jätetty taulukosta pois, sillä se suoritettiin retrospektiivisessä tahdistuksessa eikä tutkimusartikkeli ilmoittanut potilasannosten mediaaneja.

*TAULUKKO 7: Potilasannokset takaisinsuodatetulla projektiolla ja iteratiivisella rekonstruktioilla*

Tutkimus	TT-laite	Kuvausprotokolla	Algoritmi	Efektiivinen annos
Williams ym. (2013)	Toshiba AquilonONE (320-detektoririviä)	Putkivirran modulointi	FBP	3.84 mSv
		BMI:n mukaan		
		Putkivirran modulointi	AIDR	3.39 mSv
		BMI:n mukaan		
		Automaattinen putkivirran valinta scout-kuvan mukaan	AIDR3D	2.35 mSv
Fuchs ym. (2014)	GE Discovery HD 750 (64-detektoririviä)	Standarditutkimus	ASIR	1.19 mSv
		ULDCT-tutkimus	MBIR	0.21 mSv
Choi ym. (2016)	Toshiba AquilonONE (320-detektoririviä)	Standarditutkimus	FBP	1.38 mSv
		LDCT-tutkimus	FBP	0.37 mSv
		Standarditutkimus	AIDR3D	1.38 mSv
		LDCT-tutkimus	AIDR3D	0.37 mSv

### 6.3. Säteilyannoksen potilaskohtainen optimointi

Kaksi tutkimusartikkelia käsittelivät sydämen tietokonetomografiatutkimuksen säteilyannoksen potilaskohtaista optimointia. Potilaiden yksilöllisten erojen huomiointiin on kehitetty useita optimointikeinoja. Prospektiivisen tahdistuksen käyttö on jo useassa tutkimuksessa todettu yhdeksi tehokkaimmista potilaan säteilyannoksen optimointikeinoista. Prospektiivisen tahdistuksen yhteydessä ei usein ole kuitenkaan mahdollista käyttää potilaan anatomiaan perustuvaa putkivirran modulointia. Näin ainoaksi mahdollisuudeksi huomioida potilaan koko on ottaa se huomioon etukäteen ennen kuvauksen suorittamista. Yleisimmin käytettävä parametri on potilaan BMI (Body Mass Index) eli painoindeksi, jonka avulla valitaan käytettävät kuvausparametrit. BMI ei kuitenkaan ole täysin tarkka kuvaus potilaan koosta ja koostumuksesta, joten sen tilalle on pyritty löytämään myös muita vaihtoehtoja. Toinen tärkeä elementti on kuvanlaatu ja ennen kaikkea sen tasaisuus ja vakioisuus potilaiden välillä. Kuvanlaadun tulisi pysyä saman tasoisena kaikkien potilaiden välillä, jotta diagnostiikka olisi yhteneväistä. (van Dijk ym. 2015; Lu ym. 2014.)

van Dijk ym. (2015) suorittivat 129 potilaan potilastutkimuksen, jonka tarkoituksena oli luoda kuvausprotokolla joka huomioi sekä kuvan kohinatason että potilaan yksilöllisen koon. Potilaan jaettiin kahteen ryhmään: ryhmä 1 ( $n = 45$ ) ja ryhmä 2 ( $n = 84$ ). Kaikki kuvaukset suoritettiin prospektiivisesti tahdistettuna GE:n Discovery NM 570c TT-laitteella ja kuvat rekonstruointiin takaisinsuodatetulla projektiolla. Ryhmän 1 potilaat kuvattiin ensin ja heidän kuvausarvonsa valittiin BMI:n (Body Mass Index,  $\text{kg}/\text{m}^2$ ) mukaan. Saaduista kuvista mitattiin niiden kohinataso, käyttämällä mittauspaikkana maksaa. Kohinataso suhteutettiin potilaan painoon, BMI:hin ja MPL:ään (Mass Per Length,  $\text{kg}/\text{m}$ ). Näiden avulla luotiin uudet kuvausprotokollat, jotka ottivat paremmin huomioon kuvan kohinatason säilyttämisen hyväksyttävällä tasolla. Ryhmä 2 kuvattiin uudella kuvausprotokollalla. Tuloksista kävi ilmi, että uuden kuvausprotokollan käyttäminen piti kuvien kohinatason tasaisempana ja potilaan koosta riippumattomana. Tulokset osoittavat, MPL oli kohinatason korreloimiseen parempi parametri kuin tavallisesti käytetty BMI. Efekttiivinen annos ryhmällä 2 oli keskimäärin korkeampi kuin ryhmällä 1, mutta se vastasi paremmin saavutettua kohinatasoa.

Lu ym. (2014) suorittivat vastaavanlaisen 185 potilaan potilastutkimuksen, jonka tarkoituksena oli arvioida rintakehän ympärysmittan käyttöä kuvausprotokollan luomiseen BMI:n sijaan. Tarkoituksena oli tarkastella uuden kuvausprotokollan vaikutusta sekä kuvanlaatuun että potilasannoksiin. Kuvaukset suoritettiin varjoainetehosteisena ja prospektiivisesti tahdistettuna 128-rivisellä Philipsin

Brilliance iCT TT-laitteella. Rintakehän ympärysmitta mitattiin nännien tasolta. Potilaat jakautuivat rintakehän ympärysmittansa perusteella neljään ryhmään, joille asetettiin seuraavat kuvausparametrit: 100 kV/200 mAs, 100 kV/250 mAs, 120kV/200 mAs ja 120kV/240 mAs. Potilaiden efektiivinen annos oli välillä 1.9–3.8 mSv. Tuloksista ilmeni, että laskemalla putkijännitettä 120 kV:sta 100 kV:iin ja putkivirtaa 250 mAs:sta 200 mAs:iin väheni potilaiden säteilyannos jopa 50 %, säilyttäen kuitenkin diagnostisen kuvanlaadun. Myös SNR (Signal-to-Noise Ratio) ja CNR (Contrast-to-Noise Ratio) paranivat merkittävästi 100 kV:n kuvausparametreilla. Kuvanlaatu arvioitiin diagnostiseksi 98.5 % tapauksista eikä ryhmien välillä havaittu eroja.

Lu ym. (2014) totesivat tutkimuksessaan rintakehän ympärysmitan olevan parempi parametri yksilöllisen kuvausprotokollan luomiseen kuin BMI:n. Syynä tähän oli se, että potilaiden muoto ja ruumiinrakenne vaihtelee paljon. Toisin kuin rintakehän ympärysmitta, BMI ei ota huomioon potilaiden yksilöllistä muotoa ja ruumiinrakennetta. Varsinkin ylävartalopainotteisten potilaiden todettiin usein tarvitsevan enemmän säteilyä kuin heidän BMI:stään kävi ilmi. Samalla periaatteella alavartalopainotteinen potilas tarvitsisi vähemmän säteilyä, sillä sydämen tietokonetomografiatutkimus ulottuu vain rintakehän alueelle. Rintakehän ympärysmitan käyttö vähensi potilaiden säteilyannoksia, joissain tapauksissa huomattavasti. Lisäksi rintakehän ympärysmitan käyttö tarjosi vakioidumman kuvanlaadun kuin BMI:n käyttö.

## 7. JOHTOPÄÄTÖKSET

Kirjallisuuskatsauksen tulokset osoittavat, että useat tekijät vaikuttavat potilaan säteilyannoksen muodostumiseen sydämen tietokonetomografiatutkimuksessa. Potilastutkimukset vertailivat efektiivisiä annoksia eri TT-laitteiden ja kuvausprotokollien välillä. Niiden laskennalliset annokset olivat välillä 0.21 mSv—3.84 mSv (Fuchs ym. 2014; Williams ym. 2013). TT-laitteiden kiinteät ominaisuudet, kuten detektoririvien ja röntgenputkien määrä, gantryn pyörimisnopeus ja kuvauspöydän liikenopeus, ovat vaikuttivat huomattavasti annoksen muodostumiseen. TT-laitteiden kiinteiden ominaisuuksien ohella kuvausprotokollat ja -parametrit olivat tärkeitä, ja niistä suurimpana yksittäisenä on prospektiivinen tahdistus. Suurin osa kirjallisuuskatsauksessa mukana olleista tutkimuksista oli suoritettu prospektiivisessä tahdistuksessa ja tutkimukset toteavat sen olevan tehokas keino vähentää potilasannosta. Myös matala-annos -protokollien käyttö standardiprotokollaan verrattuna tuotti merkittävän annosvähennyksen. Matala-annos -protokollien yhteydessä käytettiin eri laitevalmistajien iteratiivinen rekonstruktio -algoritmeja, jotta diagnostinen kuvanlaatu säilyisi. Useat kirjallisuuskatsauksen tutkimukset osoittavat, että iteratiivinen rekonstruktio paransi kuvanlaatua taikaisinsuodatettuun projektiioon verrattuna (Williams ym. 2013; Fuchs ym. 2014; Choi ym. 2016; Lyama ym. 2016.)

Tutkimuksista käy myös ilmi, että sydämen tietokonetomografiatutkimusten potilasannosten tämänhetkinen laskemistapa aliarvioi annoksia. Tämän hetkiseen efektiivisen annoksen laskemiseen käytetään Euroopan Komission määrittämää thoraxin konversiokerrointa ( $0.014 \text{ mSv} \cdot \text{mGy}^{-1} \text{cm}^{-1}$ ). Trattnerin ym. (2016) fantomitutkimuksessa annosaliarvointi thoraxin konversiokerrointa käyttäessä oli jopa 60 %, verrattuna TT-laitteelle yksilöidysti laskettuun konversiokertoimeen. Tan ym. (2016) vertailivat fantomitutkimuksessaan thoraxin konversiokertoimella laskettua efektiivistä annosta heidän fantomilta mittaamaansa annokseen. Laskennalliset annokset olivat välillä 0.81—2.86 mSv kun taas mitatut annokset välillä 1.34—6.06 mSv, joten ero oli merkittävä. Lisäksi van Dijk ym. (2015) ja Lu ym. (2014) tuovat tutkimuksissaan esille potilaan koon ja yksilöllisen ruumiinrakenteen huomioinnin. Heidän tutkimuksistaan käy ilmi, että yleisesti käytetyn BMI:n sijaan potilaan koon yksilöimiseen voitaisiin käyttää muitakin parametreja, kuten MLP:tä tai rintakehän ympärysmittaa. Tutkimuksissa näiden parametrien käyttäminen tarjosi vakioidumman kuvanlaadun eri kokoisten potilaiden välillä ja joissain tapauksissa vähensi myös säteilyannosta.

## 8. POHDINTA

### 8.1. Tulosten tarkastelu

Säteilyn käyttöä ohjaavat useat lait, säädökset ja suositukset. Säteilylain mukaan säteilyn käyttö on hyväksyttävää, kun siinä toteutuvat oikeutusperiaate, optimointiperiaate ja yksilönsuojaperiaate. Oikeutusperiaate tarkoittaa, että säteilyn käytöstä on potilaalle suurempaa hyötyä kuin haittaa. Optimointiperiaate tarkoittaa, että potilaalle aiheutuva säteilyaltistus on pidettävä niin alhaisena kuin mahdollista. (Säteilylaki 592/1991, 1: 2§.) Jotta nämä tärkeät periaatteet toteutuisivat, on tärkeää ymmärtää, miten potilaan säteilyannos muodostuu.

Tämä kirjallisuuskatsaus pyrki vastaamaan tutkimuskysymykseen: millaisia ovat aikuisten potilaiden säteilyannokset sydämen tietokonetomografiatutkimuksessa? Kirjallisuuskatsauksen perusteella voidaan todeta, että potilaiden säteilyannosten muodostuminen sydämen tietokonetomografiatutkimuksessa ei ole yksiselitteistä, vaan säteilyannoksen muodostumiseen vaikuttavat useat tekijät. Säteilyannoksen optimointi perustuu ja osittain rajoittuu itse TT-laitteeseen ja sen ominaisuuksiin. Säteilyannoksen optimointiin vaikuttavat potilaan yksilölliset ominaisuudet ja kuvausprotokollien ja -parametrien valinta kuvausta suorittaessa. Näiden tekijöiden tuntemisella on suuri merkitys esimerkiksi röntgenhoitajan työssä. Röntgenhoitajan olisi tunnistettava, mihin tekijöihin hän voi käytännössä työssään vaikuttaa. Kuvausprotokollien ja -parametreihin valintaan röntgenhoitaja voi usein vaikuttaa paljonkin. Esimerkiksi kahdella röntgenputkella suoritettavaa sydämen Flash-kuvausprotokollaa käyttämällä potilaan säteilyannosta voidaan vähentää huomattavasti (ks. Tan ym. 2016). Tärkeä osa röntgenhoitajan työtä on tuntea käytettävissä kuvausprotokollat ja osata arvioida, milloin niitä voidaan käyttää. Laitteiden tekniset ominaisuudet ovat röntgenhoitajan ulottumattomissa, mutta niiden rajoitukset olisi tärkeä tietää. TT-laitteet vaihtelevat ominaisuuksiltaan huomattavasti, ja esimerkiksi 64-rivinen TT-laite tuottaa erilaisia säteilyannoksia kuin 320-rivinen (ks. Tan ym. 2016.) Tämä kirjallisuuskatsaus tuo röntgenhoitajille tietoa, millaisella skaalalla potilaiden säteilyannokset ovat nykyään milläkin TT-laitteilla.

TT-laitteiden vaihtelevat ominaisuudet ja säteilyannokset nostavat esille myös eettisen kysymyksen oikeutuksesta: tulisiko kaikki potilaat kuvata samalla TT-laitteella? Esimerkiksi lapset ovat sä-

teilyherkempiä kuin aikuiset, joten tulisiko lapset kuvata vain uusimmilla TT-laitteilla ja kuvausprotokollilla? Lisäksi sydämen kuvausindikaatiot vaihtelevat, jolloin joihinkin tutkimuksiin riittää matalampi kuvanlaatu, ja sitä kautta myös säteilyannos, kuin toisiin. Tämän kirjallisuuskatsauksen tutkimusten säteilyannokset vaihtelivat laskettuna välillä 0.21–3.84 mSv ja fantomeilta mitattuna välillä 1.34–6.06 mSv, joten vaihteluväli oli suuri, määrittäpä annokset millä menetelmällä tahansa. Säteilyturvakeskus on antanut yleisimmille tietokonetomografiatutkimuksille vertailutasot, mutta sydämen tietokonetomografiatutkimukselle ei ole omaa vertailutasoa (Säteilyturvakeskus 2013). Eisiis ole olemassa suositusta, jonka alle sydämen tietokonetomografiatutkimuksen potilasannosten tulisi jäädä. Kaikki nämä tekijät on tärkeää tiedostaa jo siinä vaiheessa, kun potilaalle ollaan valitsemassa kuvantamismodaliteettia. Tällöin ollaan selvillä siitä, millainen säteilyannosten potilaalle on odotettavissa ja voidaan paremmin arvioida tutkimuksen oikeutusta.

Näiden tekijöiden tunteminen ei välttämättä kuitenkaan yksin riitä. Kirjallisuuskatsauksen tuloksista käy ilmi, että sydämen tietokonetomografiatutkimusten potilasannosten laskemistapaan tulisi kiinnittää huomioita. Trattnerin ym. (2017) ja Tanin ym. (2016) fantomitutkimukset ottivat kantaa siihen, että säteilyannoksen laskeminen käyttäen thoraxin konversiokerrointa näyttää aliarvioivan potilaan säteilyannosta huomattavasti. van Dijkin ym. (2015) ja Lun ym. (2014) tutkimukset osoittavat myös potilaan koon huomioinnin kaipaavaan mahdollista lisätarkastelua. Vaikka täysin tarkkaa potilaan efektiivistä annosta onkin mahdoton määrittää, tulisi lasketun tai mitatun arvion olla mahdollisimman todenmukainen. Vain tällöin tutkimuksen optimointia ja oikeutusta voidaan toteuttaa hyvin.

## **8.2. Tutkimuksen luotettavuus ja eettisyys**

Jotta tutkimuksella olisi arvoa, sen on oltava toistettavissa ja luotettava. Toistettavuus tarkoittaa, että tutkimuksen tuottamat tulokset ja johtopäätökset eivät ole sattumanvaraisia vaan tutkimuksessa selkeästi ilmaistaan, miten niihin on päädytty. Tutkimuksen luotettavuus tarkoittaa, että se mittaa sitä mitä on tarkoituskin mitata. Tulokset esitellään totuudenmukaisesti ja niihin liittyvät mahdolliset ristiriidat tai epävarmuudet tuodaan myös esille. (Hirsjärvi ym. 2007, 226–228.) Tutkimuksen kaikki vaiheet tulee raportoida tarkasti ja objektiivisesti siten, että tutkimus voitaisiin toistaa samoin parametrein ja päätyä samaan tulokseen. Tiedonhaku tulee toteuttaa systemaattisesti ja hakutuloksille tulee määritellä sisäänotto- ja poissulkukriteerit jotka palvelevat tutkimuskysymystä. Virheet pyritään minimoimaan huolellisella suunnittelulla. (Valkeapää 2016, 60-64.) Tämän kirjalli-

suuskatsauksen luotettavuutta tarkasteltiin koko tutkimusprosessin ajan. Tutkimus suunniteltiin hyvin ja tutkimusprosessin vaiheet raportoitiin selkeästi. Kaikki välivaiheetkin pyrittiin avaamaan, jotta ajatusprosessi hahmottuisi lukijalle ja johtopäätökset tuntuisivat loogiselta. Artikkeleille määritelty sisäänotto- ja poissulkukriteerit karsivat hakutuloksia onnistuneesti. Saadut hakutulokset ja niiden karsintaprosessi kirjoitettiin auki ja havainnollistettiin kuviolla. Artikkeleiden analysointi toteutettiin perusteellisesti. Tulokset pyrittiin esittämään rehellisesti ja johdonmukaisesti. Lähdeviittauksista käy ilmi, mikä osa tekstistä perustuu lähteisiin ja mikä on omaa pohdintaa.

Tutkimuksen luotettavuus liittyy oleellisesti myös tutkimuksen eettisyyteen. Tutkimuksen on oltava laadukasta, johdonmukaista ja perusteltavissa, jotta se olisi myös eettisesti kestävä. Suomen Akatemian tutkimuseettisen ohjeiden (2008) mukaan (Tuomi & Sarajärvi 2009, 132–133) tutkimuksessa käytettyjen tiedonhankinta-, tutkimus- ja arviointimenetelmien tulee olla tieteellisen tutkimuksen kriteerien mukaisia. Muiden tutkijoiden saavutusten niille kuuluvan arvon on käytävä ilmi tutkimuksessa ja sen lopputuloksissa. Lisäksi jo itse tutkimusaiheen valinta ja tutkimuskysymyksen määrittely on oltava perusteltavissa eettisestä näkökulmasta. Lukijalle on käytävä ilmi, kenen ehdoilla tutkimusaihe on valittu ja mistä syystä. (Tuomi & Sarajärvi 2009, 125–133.) Tämä kirjallisuuskatsaus suoritettiin hyvää tieteellistä käytäntöä noudattaen. Aiheen valinta on eettisesti perusteltu, sillä aiheesta ei ole aiempaa ajankohtaista suomenkielistä tutkimusta. Aihe on hyödyllinen käytännön työelämässä ja sydämen tietokonetomografian potilasannoksien vertailussa muihin sydämen kuvantamismodaliteetteihin. Tutkimus ei käsittele yksityishenkilöitä tai heidän henkilötietojaan. Tutkimus suoritettiin kuvailevana kirjallisuuskatsauksena, jolloin tutkimuslupaa ei tarvittu. Tutkimukseen valittavat julkaisut olivat vapaasti saatavilla, joten tutkimuksen aineistonkeruumenetelmä ei sisältänyt eettisiä ongelmia. Luotettavuutta lisää myös sen hakutulosten rajaaminen vain vuosina 2012–2017 välillä julkaistuihin tieteellisiin julkaisuihin. Radiologisessa kuvantamisessa, kuten myös monilla muillakin tekniikan ja luonnontieteiden aloilla, kehitys on nopeaa. Varsinkin tarkasteltaessa potilasannoksia, TT-laitteiden kehityksen merkitys on suuri. Rajaamalla hakutulokset vain uusimpaan materiaaliin pyrittiin varmistamaan se, että johtopäätökset ovat nykyäänkin paikkansapitäviä.

Tämän kirjallisuuskatsauksen luotettavuutta ja kattavuutta voi heikentää se, että se suoritettiin vain yhden tutkijan toimesta. Kirjallisuuskatsaus kannattaisi tehdä vähintään kahden tutkijan toimesta, jotta kaikki oleelliset tutkimusartikkelit tulisivat huomioiduksi tiedonhakuaiheessa. Yhden tutkijan suorittamana on korkeampi riski, että joitain tutkimusartikkeleita jää huomioimatta. (Valkeapää 2016, 64.) Lisäksi kirjallisuuskatsaukseen hyväksyttiin vain artikkeleita, joiden kieli on suomi tai

englanti. Tällöin kirjallisuuskatsauksen ulkopuolelle on voinut jäädä oleellisia muun kielisiä artikkeleita. Artikkeleiden tuli myös olla saatavilla ilmaiseksi, mikä rajoitti hakutuloksia. Kirjallisuuskatsauksen ulkopuolelle jääneet maksulliset artikkelit olisivat voineet olla tutkimuskysymykselle olennaisia ja tarjota lisätietoa aiheeseen.

### **8.3. Omat oppimiskokemukset**

Tämän kirjallisuuskatsauksen tekeminen on avartanut minulle tutkimuksen tekemisen prosessia. Olen oppinut paljon kirjallisuuskatsauksesta tutkimusmetodologiana. Olen oppinut, kuinka tärkeää on suorittaa tutkimus suunnitellusti ja ennalta määritetyn strategian mukaan. Olen myös ymmärtänyt tutkimuksen eri vaiheiden raportoinnin tärkeyden tutkimuksen toistettavuuden ja luotettavuuden kannalta. Koen, että vaiheiden tarkka raportointi on selkeyttänyt omaa oppimista. Yksi haastavimmista mutta myös opettavaisimmista asioista on ollut tutkimusaineiston valinta- ja poissulkuprosessi sekä aineiston analyysi. Monipuolisia hakutuloksia karsiessa oli hahmotettava, mitkä niistä todella palvelivat tutkimuskysymystä ja mitkä eivät. Seuraavassa vaiheessa valituista hakutuloksista oli analysoitava niiden keskeiset käsitteet, ryhmiteltävä ne ja koostettava kirjallisuuskatsauksen tulokset. Tämän prosessin suorittaminen vaati aiheen ajattelua suurempana kokonaisuutena.

Tiedonhakuja suorittaessa eri tietokannat ja niiden työkalut ovat tulleet tutummiksi kuin ne olivat minulle aiemmin. Koen nyt, että voisin helposti käyttää niitä tulevaisuudessakin oman alan tiedon hankintaan ja päivittämiseen. Kaikki kirjallisuuskatsaukseen valitut tutkimusartikkelit olivat englanninkielisiä, joten omaan alaani liittyvä englanninkielinen termistö on myös kasvanut.

Kirjallisuuskatsauksen tekeminen on lisännyt myös ammatillista osaamistani. Olen syventänyt tietojani sydämen tietokonetomografiasta, sen säteilyannosten muodostumisesta sekä optimointimenetelmistä. Olen hahmottanut jonkinlaisen kokonaiskuvan siitä, mikä on tietokonetomografian kehityksen tilanne maailmalla tällä hetkellä. Olen huomannut, että röntgenhoitajalla todella on suuri vastuu potilaan säteilyannoksen muodostumisesta. Olen voinut soveltaa oppimaani myös käytännön työssä ja harjoitteluissa, kun olen nähnyt mikä todella on röntgenhoitajan rooli säteilyannoksen optimoinnissa. Siitä syystä koenkin, että kirjallisuuskatsauksen tekeminen on ollut minulle erittäin hyödyllistä. Se on herättänyt ajattelemaan kokonaisvaltaisemmin potilaiden säteilyannoksia ja sitä, mihin omalla toiminnallaan jokapäiväisessä työssä on mahdollista vaikuttaa.



#### **8.4. Jatkotutkimushaasteet**

Tämä kirjallisuuskatsaus käsitteli ensisijaisesti sydämen tietokonetomografiatutkimuksen potilasannoksia. Potilaan säteilyannos kulkee usein käsi kädessä kuvanlaadun kanssa. Mikäli kuvausarvoja lasketaan liikaa potilaan säteilyannoksen vähentämiseksi, kuvanlaatu ei välttämättä säily diagnostisena. Suurin osa tämän kirjallisuuskatsauksen tutkimuksista sivusivat tutkimuksissaan myös optimointimenetelmien vaikutusta kuvanlaatuun. Pääasiallisesti kuvanlaatu ja siihen vaikuttavia tekijöitä käsittelevät tutkimukset jätettiin kuitenkin kirjallisuuskatsauksesta pois karsintavaiheessa. Tutkimus sydämen tietokonetomografiatutkimuksen kuvanlaadusta olisi tarpeellinen. Olisi erityisesti hyödyllistä tutkia, millainen kuvanlaatu on milläkin kuvausindikaatiolla riittävä. Tämä on myös oleellinen osa tutkimuksen oikeutusta arvioidessa ja potilaan hoitopolun turvallisuuden takaamisessa. Jatkotutkimukselle olisi siis tarve.

## LÄHTEET

Kirjallisuuskatsauksessa käytetyt tutkimusartikkelit on merkitty lähdeluetteloon tähdellä (\*).

Andreucci, M., Solomon, R. & Tasanarong, A. 2014. Side Effects of Radiographic Contrast Media: Pathogenesis, Risk Factors, and Prevention. *BioMed Research International*, vol 2014. Viitattu 2.9.2017. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4034507/>

Airaksinen, J., Aalto-Setälä, K., Hartikainen, J., Huikuri H., Laine M., Lommi J., Raatikainen P. & Saraste A. 2016. 3. uudistettu painos. *Kardiologia*. Helsinki: Kustannus Oy Duodecim.

\* Choi, A.D., Leifer, E.S., Yu, J., Shanbhag, S.M., Bronson, K., Arai, A.E. & Chen, M.Y. 2016. Prospective evaluation of the influence of iterative reconstruction on the reproducibility of coronary calcium quantification in reduced radiation dose 320 detector row CT. *Journal of Cardiovascular Computed Tomography* 2016 Sep-Oct;10(5), 359–363. Viitattu 23.9.2017 <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/27591767>

\* van Dijk, J.D., Huizing, E.D., Jager, P.L., Ottervanger, J.P., Knollema, S., Slump, C.H. & van Dalen, J.A. 2016. A practical approach for a patient-tailored dose protocol in coronary CT angiography using prospective ECG triggering. *The International Journal of Cardiovascular Imaging* 2016 Mar;32(3), 531–538. Viitattu 23.9.2017. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/26563107>

Fitzgerald, P., Bennett, J., Carr, J., Edic, P.M., Entrikin, D., Gao, H., Iatrou, M., Jin, Y., Liu, B., Wang, G., Wang, J., Yin, Z., Yu, H., Zeng, K. & De Man, B. 2016. Cardiac CT: A system architecture study. *Journal of x-ray science and technology* 2016;24(1), 43–65. Viitattu 3.9.2017. [https://www.researchgate.net/publication/295076769\\_Cardiac\\_CT\\_A\\_system\\_architecture\\_study](https://www.researchgate.net/publication/295076769_Cardiac_CT_A_system_architecture_study)

\* Fuchs, T.A., Stehli, J., Bull, S., Dougoud, S., Clerc, O.F., Herzog, B.A., Buechel, R.R., Gaemperli, O. & Kaufmann, P.A. 2014. Coronary computed tomography angiography with model-based iterative reconstruction using a radiation exposure similar to chest X-ray examination. *European Heart Journal* 2014 May;35(17), 1131–1136. Viitattu 23.9.2017. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/24553723>

Hirsjärvi, S., Remes, P. & Sajavaara, P. 2009. Tutki ja kirjoita. Helsinki: Tammi.

Hänninen, H., Holmström, M. & Kivistö, S. Sydämen tietokonetomografiatutkimus. Sydänääni 2012 1A teemanumero: Sydämen kuvantaminen.

IAEA (International Atomic Energy Agency) 2014. Diagnostic Radiology Physics: A Handbook For Teachers And Students. Viitattu 6.11.2017. <http://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/Pub1564webNew-74666420.pdf>

\* Iyama, Y., Nakaura, T., Yokoyama, K., Kidoh, M. & Yamashita, Y. 2016. Cardiac helical CT involving a low-radiation-dose protocol with a 100-kVp setting: Usefulness of hybrid iterative reconstruction and display preset optimization. *Medicine (Baltimore)* 016 Nov;95(46), e5459. Viitattu 23.9.2017. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/27861400>

Johansson, K. 2007. Kirjallisuuskatsaukset – huomio systemaattiseen kirjallisuuskatsaukseen. Teoksessa K. Johansson, A. Axelin, M. Stolt & R-L. Ääri (Toim.) Systemaattinen kirjallisuuskatsaus ja sen tekeminen. Turku: Turun yliopisto, Hoitotieteen laitoksen julkaisuja, 3–9.

Karppinen, J. & Järvinen, H. 2006. Tietokonetomografialaitteiden käytön optimointi. STUK-A220. Helsinki. Viitattu 16.9.2016. <http://www.julkari.fi/bitstream/handle/10024/123757/stuk-a220.pdf?sequence=1>

\* Lu, C., Wang, Z., Ji, J., Wang, H., Hu, X. & Chen, C. 2015. Evaluation of a chest circumference-adapted protocol for low-dose 128-slice coronary CT angiography with prospective electrocardiogram triggering. *Korean Journal of Radiology* 2015 Jan-Feb;16(1), 13–20. Viitattu 23.9.2017. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/25598671>

McKavanagh, P., Walls, G., McCune, C., Malloy, J., Harbinson, M., Ball, P. & Donnelly, P. 2015. The Essentials of Cardiac Computerized Tomography. *Cardiology and Therapy* 4(2), 117–129. Viitattu 2.9.2017. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4675750/>

Mustonen, M. & Salo, A. 2002. Säteily ja solu. Teoksessa W. Paile. (toim.) Säteilyn terveysvaikutukset. Säteily ja ydinturvallisuus, osa 4. Hämeenlinna: Karisto Oy, 28–31.

Mäkijärvi, M., Kettunen, R., Kivelä A., Parikka H & Yli-Mäyry S. 2011. 2. uudistettu painos. Sydän-sairaudet. Helsinki: Kustannus Oy Duodecim.

Paile, W. 2002. Säteilyn haittavaikutusten luokittelu. Teoksessa W. Paile, (toim.) Säteilyn terveysvaikutukset. Säteily ja ydinturvallisuus, osa 4. Hämeenlinna. Karisto Oy, 44–45.

Rantanen, E. 2000. Säteilyn ja radioaktiivisuuden suureet ja yksiköt sekä annoksen mittaaminen. Duodecim 2000, 657–658. Viitattu 16.9.2016. <http://www.terveysportti.fi/xmedia/duo/duo91422.pdf>

Salminen, A. 2011. Mikä kirjallisuuskatsaus? Johdatus kirjallisuuskatsauksen tyyppeihin ja hallintotieteellisiin sovelluksiin. Vaasa: Vaasan yliopisto. Viitattu 28.9.2016. [http://www.uva.fi/materiaali/pdf/isbn\\_978-952-476-349-3.pdf](http://www.uva.fi/materiaali/pdf/isbn_978-952-476-349-3.pdf)

Soimakallio, S., Kivisaari, L., Manninen, H., Svedström, E. & Tervonen, O. 2005. Radiologia. Helsinki: WSOY.

Säteilylaki 27.3.1991/592.

Säteilyturvakeskus 2013. Potilaan säteilyaltistuksen vertailutasot aikuisten tietokonetomografiatutkimuksissa. Päätös 2/3020/2013. Viitattu 9.11.2017. <https://www.stuk.fi/documents/12547/476916/paatos-2-3020-2013-potilaan-sateilyaltistuksen-vertailutasot-aikuisten-tt-tutkimuksissa.pdf/c5d96888-3ea2-4b41-a23a-a74b1d1bebda>

Suomen virallinen tilasto (SVT): Kuolemansyyt [verkkojulkaisu]. ISSN=1799-5051. 2015, 2. Sepelvaltimotauti yhä syynä joka viidenteen kuolemaan. Helsinki: Tilastokeskus [viitattu: 3.9.2017].

Saantitapa: [http://www.stat.fi/til/ksyyt/2015/ksyyt\\_2015\\_2016-12-30\\_kat\\_002\\_fi.html](http://www.stat.fi/til/ksyyt/2015/ksyyt_2015_2016-12-30_kat_002_fi.html)

\* Tan, S.K., Yeong, C.H., Ng, K.H., Abdul Aziz, Y.F. & Sun, Z. 2016. Recent Update on Radiation Dose Assessment for the State-of-the-Art Coronary Computed Tomography Angiography Protocols. Plos One 2016 Vol. 11 Issue 8, 1–14. <http://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0161543>

\* Trattner, S., Halliburton, S., Thompson, C.M., Xu, Y., Chelliah, A., Jambawalikar, S.R., Pengs, B., Peters, M.R., Jacobs, J.E., Ghesani, M., Jang, J.J., Al-Khalidi, H. & Einstein, A.J. 2017. Cardiac-Specific Conversion Factors to Estimate Radiation Effective Dose From Dose-Length Product in Computed Tomography. JACC: Cardiovascular Imaging 2017. Viitattu 23.9.2017. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1936878X17306113>

Tuomi, J. & Sarajärvi, A. 2009. Laadullinen tutkimus ja sisällönanalyysi. 5. uudistettu painos. Helsinki: Tammi

Valkeapää, K. 2016. Teoksessa Stolt, M., Axelin, A. (toim.) & Suhonen, R. (toim.) Kirjallisuuskatsaus hoitotieteessä. 2. korjattu painos. Turun yliopisto. Hoitotieteen laitoksen julkaisuja. Tutkimuksia ja raportteja A:73/2016.

\* Williams, M.C., Weir, N.W., Mirsadraee, S., Millar, F., Baird, A., Minns, F., Uren, N.G., McKillop, G., Bull, R.K., van Beek, E.J., Reid, J.H. & Newby, D.E. 2013. Iterative reconstruction and individualized automatic tube current selection reduce radiation dose while maintaining image quality in 320-multidetector computed tomography coronary angiography. Clinical Radiology 2013 Nov;68(11), e570–577. Viitattu 23.9.2017. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/23838086>

Tutkimuksen nimi	Tutkimuksen tarkoitus	Tutkimus-tyyppi	Tutkimustulokset
Cardiac-Specific Conversion Factors to Estimate Radiation Effective Dose From Dose-Length Product in Computed Tomography.	Efektiiivisen annoksen laskeminen sydän-spesifisellä konversiokertoimella verrattuna standardiin (thoraxin konversiokertoimella lasketuun). Tutkimuksessa 12 eri valmistajan TT-laitetta.	fantomitutkimus	Thoraxin konversiokerroin aliarvioi efektiivistä annosta jopa 60 %, verrattuna TT-laitteelle yksilöityyn konversiokertoimeen.
Cardiac helical CT involving a low-radiation-dose protocol with a 100-kVp setting: Usefulness of hybrid iterative reconstruction and display preset optimization.	Hybridi-iteratiivisen rekonstruktion (iDose) käyttäminen yhdessä LDCT-tutkimuksen yhteydessä ja vertaaminen standarditutkimuksen kuvanlaatuun ja potilasannoksiin. Tutkimuksessa 100 potilasta.	potilastutkimus	LDCT-tutkimus ja hybridi-iteratiivisen rekonstruktion (iDose) käyttö vähensi potilasannosta 76 % standarditutkimukseen verrattuna.
Prospective evaluation of the influence of iterative reconstruction on the reproducibility of coronary calcium quantification in reduced radiation dose 320 detector row CT.	Iteratiivisen rekonstruktion (AIDR3D) käyttäminen yhdessä LDCT-tutkimuksen yhteydessä ja vertaaminen standarditutkimuksen kuvanlaatuun ja potilasannoksiin. Tutkimuksessa 200 potilasta.	potilastutkimus	LDCT-tutkimus ja iteratiivisen rekonstruktion (AIDR3D) käyttö vähensi potilasannosta 74 % standarditutkimukseen verrattuna.
A practical approach for a patient-tailored dose protocol in coronary CT angiography using prospective ECG triggering.	Kuvausprotokollan luominen, joka ottaa huomioon sekä potilaan koon että kuvan kohinatason. Tutkimuksessa 129 potilasta.	potilastutkimus	MPL (Mass Per Length) on parempi parametri kuin BMI (Body Mass Index) kohinatason korrelointiin ja potilaan koon huomiointiin.
Recent Update on Radiation Dose Assessment for the State-of-the-Art Coronary Computed Tomography Angiography Protocols.	Efektiiivisen annoksen laskeminen ja vertaaminen toisiinsa. Mitatun ja laskennallisen efektiivisen annoksen vertaaminen toisiinsa. Tutkimuksessa 5 eri valmistajan TT-laitetta.	fantomitutkimus	Laskennallinen efektiivinen annos aliarvioi potilaan säteilyannosta huomattavasti mitattuun verrattuna, syynä laskennallisessa käytetty thoraxin konversiokerroin.
Evaluation of a chest circumference-adapted protocol for low-dose 128-slice coronary CT angiography with prospective electrocardiogram triggering.	Rintakehän ympärysmitan mukaan lasketun kuvausprotokollan vaikutus potilaan säteilyannokseen ja kuvanlaatuun. Tutkimuksessa 185 potilasta.	potilastutkimus	Rintakehän ympärysmitan käyttö kuvausprotokollassa vähensi potilaan säteilyannosta ja takasi diagnostisen kuvanlaadun 98.5 % tapauksista.

<p>Coronary computed tomography angiography with model-based iterative reconstruction using a radiation exposure similar to chest X-ray examination.</p>	<p>Iteratiivisen rekonstruktion (MBIR) käyttäminen yhdessä ULDCCT-tutkimuksen yhteydessä ja vertaaminen standarditutkimuksen kuvanlaatuun ja potilasannoksiin. Tutkimuksessa 42 potilasta.</p>	<p>potilastutkimus</p>	<p>ULDCCT-tutkimus ja iteratiivisen rekonstruktion (MBIR) käyttö vähensi potilasannosta 82 % standarditutkimukseen verrattuna.</p>
<p>Iterative reconstruction and individualized automatic tube current selection reduce radiation dose while maintaining image quality in 320-multidetector computed tomography coronary angiography.</p>	<p>Iteratiivisen rekonstruktion (AIDR ja AIDR3D) vertaaminen takaisin-suodatettuun projektiioon potilasannosten ja kuvanlaadun näkökulmasta. Tutkimuksessa 942 potilasta.</p>	<p>potilastutkimus</p>	<p>Iteratiivisen rekonstruktion käyttö vähensi potilasannoksia 12 % (AIDR) ja 39 % (AIDR3D) takaisin-suodatettuun projektiioon verrattuna.</p>

Alkuperäisilmaukset	Pelkisteyt ilmaukset
prospective / retrospective gating	prospektiivinen / retrospektiivinen tahdistus
IR (iterative reconstruction)	iteratiivinen rekonstruktio
iDose	Philipsin iteratiivinen rekonstruktio -algoritmi
SAFIRE (Sinogram-Affirmed Iterative Reconstruction)	Siemensin iteratiivinen rekonstruktio -algoritmi
AIDR (Adaptive Iterative Dose Reduction)	Toshiban iteratiivinen rekonstruktio -algoritmi
ASIR (Adaptive Statistical Iterative Reconstruction)	GE:n iteratiivinen rekonstruktio -algoritmi
MBIR (Model-Based Iterative Reconstruction)	GE:n iteratiivinen rekonstruktio -algoritmi
FBP (Filtered Back Projection)	suodatettu takaisinprojektio
high pitch	korkea pitch
thorax conversion factor	thoraxin konversiokerroin
cardiac-specific conversion factor	sydän-spesifinen konversiokerroin
organ doses	elinten säteilyannokset
BMI (Body Mass Index) -protocol	potilaan painoindeksin huomiointi
chest circumference-adapted protocol	potilaan rintakehän ympärysmittan huomiointi
dual-source	kaksi röntgenlähdettä
32-slice, 64-slice, 128-slice, 320-slice detector	32-, 64-, 128- tai 320-leikkeinen detektori
low kV-protocol	matala kV -kuvausprotokolla
LDCT (Low-Dose Computer Tomography)	matala-annos -kuvausprotokolla
ULDCT (Ultra Low-Dose Computer Tomography)	



ORGAN	ICRP-103	ICRP-60
Brain	0.01	remainder *
Salivary Gland	0.01	-
Red Bone Marrow	0.12	0.12
Bone Surface	0.01	0.01
Thyroid	0.04	0.05
Lung	0.12	0.12
Esophagus	0.04	0.05
Breast	0.12	0.05
Stomach	0.12	0.12
Liver	0.04	0.05
Colon	0.12	0.12
Bladder	0.04	0.05
Gonads	0.08	0.20
Remainder *	0.12	0.05

\* = adrenals, extrathoracic region, gall bladder, heart, kidneys, oral mucosa, pancreas, prostate, small intestine, spleen, thymus, uterus/cervix, without lymphatic nodes, muscle