

Riia Karjalainen & Milla Kontio

## **Tietokonetomografiatutkimusten optimointi putkivirran moduloinnin avulla**

Kuvaileva kirjallisuuskatsaus

# **TIETOKONETOMOGRFIATUTKIMUSTEN OPTIMOINTI PUTKIVIRRRAN MODU- LOINNIN AVULLA**

Kuvaileva kirjallisuuskatsaus

Riia Karjalainen & Milla Kontio  
Opinnäytetyö  
Syksy 2021  
Radiografian ja sädehoitotyön tutkinto-  
ohjelma  
Oulun ammattikorkeakoulu

## TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu  
Radiografian ja sädehoitotyön tutkinto-ohjelma

---

Tekijä(t): Riia Karjalainen & Milla Kontio

Opinnäytetyön nimi: Tietokonetomografiatutkimusten optimointi putkivirran moduloinnin avulla

Työn ohjaaja(t): Aino-Liisa Jussila ja Karoliina Paalimäki-Paakki

Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: Syksy 2021

Sivumäärä: 40 + 2 liitettä

---

Lääketieteellinen kuvantaminen lisääntyy vuosittain, jolloin oikeanlaisen optimoinnin tärkeys korostuu. Automaattisen putkivirran modulointia hyödynnetään suurimmassa osassa tietokonetomografialaitteita. Tämän optimointikeinon avulla voidaan säilyttää kuvanlaatu tasaisena läpi tutkimuksen nostamatta kuitenkaan potilaan saamaa säteilyannosta.

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli kuvailla, millaista erilaista tietoa erilaisista tietokannoista löytyi tietokonetomografiatutkimuksessa käytettävään automaattiseen putkivirran modulointiin liittyen. Opinnäytetyön tavoitteena oli tuoda aiheesta ajankohtaista ja selkeää tietoa alan opiskelijoille ja muille aiheesta kiinnostuneille. Tämän tiedon avulla tietokonetomografiatutkimuksessa saatuja säteilyannoksia voidaan optimoida yhä paremmin.

Tutkimuskysymyksiä opinnäytetyössä on kaksi, jotka ovat: Miten automaattisen putkivirran modulointi vaikuttaa potilaan saamaan säteilyannokseen? Miten automaattisen putkivirran modulointi vaikuttaa kuvanlaatuun? Tiedonhaku toteutettiin neljästä eri tietokannasta, joista artikkeleita haettiin eri poissulku- ja sisäänottokriteerein. Artikkelit suodatettiin otsikon, abstraktin ja lopuksi tekstin perusteella. Kirjallisuuskatsaukseen valikoitui lopulta 13 tieteellistä artikkelia.

Opinnäytetyön keskeisiä tuloksia olivat se, että automaattisen putkivirran moduloinnin avulla voidaan minimoida säteilyannosta säilyttämällä hyvä kuvanlaatu. Useat tutkimukset ovat osoittaneet, että tietokonetomografiatutkimusten säteilyannoksia voitaisiin laskea jopa 40–60 % käyttämällä automaattista putkivirran modulointia kuitenkin tinkimättä kuvanlaadusta.

---

Asiasanat: ATCM, optimointi, tietokonetomografia, säteily, säteilyannos

## ABSTRACT

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

---

Author(s): Riia Karjalainen & Milla Kontio

Title of thesis: Optimizing Computed Tomography Examinations with Automatic Tube Current Modulation

Supervisor(s): Aino-Liisa Jussila, Karoliina Paalimäki-Paakki

Term and year when the thesis was submitted: Fall 2021

Number of pages: 40 + 2 appendices

---

Medical imaging is increasing with each passing year, highlighting the importance of correct optimization of computed tomography examinations. Automatic tube current modulation is used in the majority of computed tomography devices. This optimization allows maintaining consistent image quality without increasing the radiation dosage to the patient.

The purpose of this thesis was to examine the available information in different databases related to automatic tube current modulation used in computed tomography examinations. The collected information was then discussed to provide topical and clear information for student and other professionals in the field. With this information the radiation doses of computed tomography can be further optimized.

This thesis included two research questions, that were: How automatic tube current modulation affects the radiation dosage received by the patient? How automatic tube current modulation affects the image quality? Information for this thesis was collected from four different databases from which articles were searched using different exclusion and inclusion criteria. The articles were then filtered based on title, abstract, and content. Total of 13 articles were included in the final literature review.

The key results of the thesis were the effects of automatic tube current modulation to image quality, patient radiation dosage, and general usage of automatic tube current modulation in computed tomography.

---

Keywords: ATCM, optimizing, computed tomography, radiation, radiation dose

# SISÄLLYS

1	JOHDANTO .....	6
2	TIETOKONETOMOGRAFIA TUTKIMUKSET JA NIIDEN OPTIMOINTI .....	7
2.1	Säteily tietokonetomografiatutkimuksessa .....	7
2.2	Tietokonetomografiatutkimusten optimointi .....	7
2.3	Putkivirran modulointi .....	9
2.3.1	Automaattinen putkivirran modulointi (ATCM) .....	10
2.3.2	Elinspesifinen modulointi tekniikka (OBTCM) .....	11
3	TUTKIMUKSEN TARKOITUS, TAVOITTEET JA TUTKIMUSKYSYMYKSET .....	12
4	TUTKIMUSMETODOLOGIA .....	13
5	KIRJALLISUUSKATSAUKSEN TOTEUTUS .....	14
5.1	Kuvailevan kirjallisuuskatsauksen hakustrategia .....	14
5.2	Tutkimusaineiston haku- ja valintaprosessi .....	15
5.3	Kirjallisuuskatsaukseen valitut tutkimukset .....	18
5.4	Aineiston analysointi .....	21
6	TULOKSET .....	27
6.1	Automaattisen putkivirran moduloinnin vaikutus potilasannokseen .....	27
6.2	Automaattisen putkivirran moduloinnin käyttäminen .....	28
6.3	Automaattisen putkivirran moduloinnin vaikutus kuvanlaatuun .....	29
6.4	Automaattisen putkivirran moduloinnin käyttö tasapainottelee kuvanlaadun ja säteilyannoksen välillä .....	30
7	POHDINTA .....	31
7.1	Tutkimustulosten tarkastelu ja johtopäätökset .....	31
7.2	Tutkimuksen luotettavuus .....	32
7.3	Tutkimuksen eettisyys .....	33
7.4	Jatkotutkimushaasteet .....	33
7.5	Omat oppimiskokemukset .....	33
	LÄHTEET .....	35
	LIITTEET .....	41

# 1 JOHDANTO

Tietokonetomografiatutkimuksen onnistuminen vaatii jatkuvaa kuvantamisan alan ammattilaisten koulutusta, huolellisia työtapoja ja moniammatillista yhteistyötä eri asiantuntijoiden kanssa. Eri sairaaloissa tietokonetomografiatutkimuksesta potilaalle aiheutuvat säteilyannokset voivat vaihdella suuresti puutteellisen optimoinnin takia, jonka takia optimointiin tulisi kiinnittää erityistä huomiota tutkimusta tehdessä. (Kortesniemi & Lantto, 2015 42.)

Tämän kirjallisuuskatsauksen tarkoituksena on kuvailla tietokonetomografiatutkimuksessa käytetävän putkivirran moduloinnin vaikutusta tutkimuksen optimointiin. Katsauksen avulla etsitään ajankohtaista tietoa tietokonetomografiatutkimusten optimointiin liittyen. Tavoitteena on antaa koottua ja ajankohtaista tietoa putkivirran moduloinnista yhtenä optimoinnin keinona tietokonetomografiatutkimuksessa. Opinnäytetyön tilaaja on Oulun Ammattikorkeakoulu ja se on suunnattu ammattikorkeakoulun röntgenhoitajaopiskelijoille tukemaan heitä tietokonetomografiatutkimusten opiskelussa. Aihe on ajankohtainen, sillä tietokonetomografiatutkimusten määrät kasvavat vuosittain. Esimerkiksi vuonna 2015 tietokonetomografiatutkimusten määrä kasvoi 35,1 % verrattuna vuoteen 2011. (Suutari ym. 2015, 16.)

Tutkimuksen lähteinä on käytetty eri alojen asiantuntijoiden teoksia, jotka koskevat tietokonetomografiatutkimuksia tai niiden optimointia. Tietokonetomografiatutkimuksen optimointiin käytettävästä putkivirran moduloinnista on kirjoitettu vähän opetuskäyttöön soveltuvaa materiaalia, joten aihe on ajankohtainen ja tärkeä.

## 2 TIETOKONETOMOGRAFIATUTKIMUKSET JA NIIDEN OPTIMOINTI

### 2.1 Säteily tietokonetomografiatutkimuksessa

Tietokonetomografia- eli CT (Computed tomography) tutkimuksessa potilas makaa tutkimuspöydällä, jota kiertää tietokonetomografialaitteen kehällä sijaitseva röntgenputki ja vastakkaisella puolella detektori, eli ilmaisinerivi. Ilmaisimia voi olla vierekkäin kymmeniä tai jopa satoja. Röntgenputken ja ilmaisimien pyörähtäessä tutkimuspöytä liikkuu tietokonetomografialaitteen putken sisällä (helikaalikuvauksena), mutta kuvantamista voidaan suorittaa myös pöydän pysyessä paikallaan. Potilaasta saadaan röntgenputkesta tulevan viuhkan muotoisen säteilykeilan avulla kuvattua useiden senttimetrien levyinen alue. Röntgenputken tuotetaan suurjännite röntgengeneraattorilla, joka kiihdyttää elektroneita. Elektronit irtoavat ja törmäyksessä anodiin, muodostuu jarrutus säteilyä sekä karakterista röntgensäteilyä. Tämän jälkeen röntgenfotonikeilasta suodatetaan pois matalaenergiset fotonit, sillä ne eivät tulisi saavuttamaan ilmaisinta, mutta nostaisivat potilaan säteilyannosta. (Nieminen 2017.)

Tietokonetomografiakuvantamisen hyötynä on se, ettei päällekkäisprojisoitumista tapahdu eikä sen kyky erottaa tiheysvaihteluita. Tietokonetomografiassa potilaan saama säteilyannos on paljon suurempi verrattuna esimerkiksi natiivikuvantamisessa saatuihin säteilyannoksiin. (Jauhiainen 2007, 44.) Natiivitutkimusten säteilyannosten laskemiseen käytettävien efektiivisen-, absorboituneen- ja ekvivalenttiannoksen sijaan tietokonetomografiatutkimuksessa käytetään suureina tietokonetomografia ilmakermaindeksiä (CTKI) sekä ilmakerman ja pituuden tuloa (KLP) (STUK 2019, 5).

### 2.2 Tietokonetomografiatutkimusten optimointi

#### *Putkivirta*

Putkivirta määritellään aikayksikössä katodilta anodille kulkevien elektronien määränä. Virta ilmoitetaan milliampeereina (mA). Milliampeeria muutamalla voidaan kasvattaa tai pienentää säteilyntuottoa. Normaalisti puhutaan mAs-arvosta, joka on putkivirran ja säteilytysajan tulo. Sama tulos

siis saadaan kuvaamalla pidempään matalalla putkivirralla tai ajallisesti lyhyemmällä, mutta suuremmalla virralla. Tähän kuitenkin liittyy ongelmia, sillä lyhyt kuvausaika kuormittaa putkea ja nostaa anodin lämpökuormaa virran ollessa suuri. Kuvasajan kasvaessa nousee riski liikeartefaktioihin, koska potilas saattaa liikkua pitkän kuvausajan sisällä. (Jauhiainen 2007, 24.)

### *Putkijännite*

Putkijännite, eli suurjännite syntyy anodin ja katodin välille, kun sähkökenttä vetää elektronit katodilta anodille. Elektronit törmäävät 0,3–0,6 kertaisella valonnopeudella anodiin, riippumatta putkijännitteen suuruudesta. Putkijännitteen suuruus vaikuttaa säteilyn läpätunkevuuteen. (Salomaa ym. 2004, 21.) Putkijännitteellä voidaan vaikuttaa oleellisesti kuvan kontrastiin. Putkijännitteen ollessa suuri, kuvan kontrasti on heikompi. Tästä syystä tietokonetomografiakuvauksissa pyritään pitämään putkijännite mahdollisimman alhaisena. Lisäksi alhainen putkijännite pienentää potilaan saamaa säteilyannosta. (Kortesniemi & Lantto 2015.)

### *Pyörähdysaika*

Pyörähdysajalla tarkoitetaan aikaa, jonka sisällä röntgenputki ja ilmaisin kiertävät samanaikaisesti potilaan ympäri. Pyörähdysajan kasvaessa potilaan saama säteilyrasitus suurenee. Pyörähdysajan ollessa lyhyt, annoksen lisäksi hengityksestä aiheutuvat liikeartefaktat (kuvavirheet) vähenevät. (Kajaluoto ym. 2016, 12.)

### *Pitch-arvo*

Pitch-arvo määritellään, kun pöydän siirtymä jaetaan säteilykeilan leveydellä. Pidettäessä leikepaksuus ja käytettyjen leikkeiden määrä vakiona, pitch-arvo kasvaa, kun potilaspöydän liike kasvaa yhden rotaation aikana. Helikaalikuvauksessa pitch-arvo vaikuttaa kuvassa pituussuunnan resoluutioon. Jos pitch-arvon muuttuessa, mA-arvo ei muutu automaattisesti, vaikuttaa se potilaan saamaan säteilyannokseen. Pitch-arvon ollessa suuri, on potilaan säteilyannos tällöin pienempi. (Kortesniemi 2008.) Pitch-arvoa pienentäessä potilaan säteilyannos ja kuvassa oleva kohina eivät muutu alkuperäisestä, kun käytetään automaattista putkivirransäätöä. Tällöin kuvausohjelma laskee automaattisesti putkivirtaa (Kajaluoto ym. 2016, 11).

### *Säteilykeilan rajaus*

Säteilykeilan leveydellä säädetään leikepaksuus, joka vaihtelee yleensä 1–10 mm välillä. (Salomaa ym. 2004, 45.). Keilanrajaimilla, eli kollimaattoreilla voidaan mekaanisesti muuttaa säteilykeilan kokoa. Säteilykeilan leveys määrittää myös pituusakselin (z-suunta) suunnassa kuvattavan alueen

pitouden. (Kaijaluoto ym. 2016, 9.). Kuvausalueen tulee kattaa vain kuvausindikaatio, eli lähet-  
teessä kysytyn kohteen alue. Joten mitä suurempi kuvausalue on, sitä enemmän potilas saa sätei-  
lyaltistusta. Säteilyannokseen vaikuttaa myös potilaan geometria, eli se, kuinka moni herkistä eli-  
mistä osuu kuvausalueelle ja sen läheisyyteen. (Kortesniemi 2012, 84.)

### *Laadunvarmistus*

Laadunvarmistuksen kuuluu laatutestien lisäksi kuvanlaadun arvioiminen. Haluttuun kuvanlaatuun  
vaikuttavat kuvauskohteen anatomia, sekä tutkimusindikaatiot. (Järvinen ym. 2/2008, 10) Mitä  
enemmän kuvasta erottaa pieniä tiheyseroja, eli mitä vähemmän kohinaa kuvassa on, sitä parempi  
kuvanlaatu on useimmiten. Säteilyannos voi tällöin olla korkea. Säteilyannosta pienentämällä  
kuvanlaatu heikentyy, jolloin hyvän kuvanlaadun saaminen on tasapainoilua säteilyannoksen ja  
kuvanlaadun välillä. Pieniä tiheyseroja on hyvä nähdä aivojen ja vatsan alueella, mutta esimerkiksi  
virtsakiviä, nenän sivuonteloita tai keuhkoja kuvattaessa sallitaan usein suurempi kohina, jolloin  
potilaan saama säteilyannos pienenee. (Kortesniemi 2015.)

Kuvanlaatua ja potilaan säteilyaltistusta miettiessä tulisi ottaa huomioon kaikki parametrit, jotka  
vaikuttavat kuvanlaatuun: putkivirta, putkijännite, kuvaus- ja pyörähdysaika, pitch, potilaan paino,  
leikepaksuus, sekä rekonstruktiosuodatin. Näillä kaikilla vaikutetaan kuvanlaatuun ja potilaan sä-  
teilyannokseen. Kun yhtä parametriä muutetaan, vaikuttaa se jokaiseen muuhunkin parametriin  
(Kaijaluoto 2016,9–12).

### *Säteilysuojelu*

Säteilysuojelua toteutetaan konkreettisesti säteilysuojilla. Lyijysuojat asetellaan kuvattavan alueen  
ulkopuolelle, kuvausalueen reunaan. Osittain säteilyä läpäisee rintarauhasille, kilpirauhaselle ja sil-  
mien päälle aseteltavat vismuttisuojat. Suojien oikeaoppisella käytöllä voidaan saavuttaa 30–70 %  
annossäästö. (Husso 2011, 30.)

## **2.3 Putkivirran modulointi**

Putkivirran moduloinnilla pystytään optimoimaan fotonien määrää potilaskohtaisesti (Nieminen  
2017). Putkivirta ja säteilyajan tulo ovat suoraan verrannollisia säteilyannokseen. Milliampeerin, eli  
mA arvon kaksinkertaistuksessa, myös säteilyannos kaksinkertaistuu. Putkivirran laskeminen taas  
nostaa kuvan kohinan määrää, eli lisää kuvan rakeisuutta. Kohinan voimistuessa kuvan diagnos-  
tiikka heikkenee. (Kortesniemi 2008.)

### 2.3.1 Automaattinen putkivirran modulointi (ATCM)

Automaattisen putkivirran moduloinnin tarkoituksena on pyrkiä kompensoimaan kuvattavan kohteen kudusrakenteesta ja geometriasta (asymmetriasta) johtuvat erot säteilyn vaimennuksessa. Tällä pyritään tasaamaan kuvanlaatu (kohinataso) ja annosjakauma, jotta ne pysyisivät mahdollisimman samanlaisina läpi kuvattavan alueen. Automaattinen putkivirran modulointi muuttaa putkivirtaa kuvauksen aikana ja ottaa huomioon potilaan muuttuvan kudusrakenteen. Kohinaisemmat kuvat kuitenkin hyväksytään, jos primaarin kuvausalueen reunalla on voimakkaammin vaimentavia alueita. Automaattinen putkivirran modulointi perustuu lähes kaikilla laitevalmistajilla suunnittelukuvaa. Suunnittelukuvasta voidaan päätellä haluttu kuvanlaatu, jolloin tämä vaikuttaa putkivirran määrään ennen kuvauksen alkamista. (Kaza ym. 2014, 5–6.)

Automaattista putkivirran modulointia kutsutaan myös natiivikuvantamisessa käytettävän valotusautomaatin vastineeksi. Modulaation voimakkuutta voidaan säätää, sekä sille voidaan asettaa ylä- ja alarajat. Jotta kuvauksella saavutettaisiin haluttu kuvanlaatu, on havaittu, että pienempi kokoisille potilaille voidaan käyttää matalampaa putkivirran modulointia ja suuremmille potilaille taas vastavasti suurempaa. Potilaan säteilyannos siis minimoidaan, mutta tutkimuksen diagnostinen laatu pysyy hyvänä. (Kaza ym. 2014, 7.) Kuvattaessa tietokonetomografialaitteella röntgenhoitaja voi itse päättää laitteen asetuksista, käytetäänkö automaattista putkivirran modulointia vai ei (Padakis, Perisinakis & Damilakis 2014, 2522).

Automaattinen putkivirran modulointi määritellään tekniseksi sarjaksi toimintoja. Toiminnot mahdollistavat tietokonetomografiakuvantamisessa putkivirran automaattisen säätämisen. Modulointi toteutetaan hyödyntäen 3D-modulointitekniikkaa, joka koostuu kulmakohtaisesta moduloinnista (angular-x/y-modulation), sekä potilaan z-akselin suuntaisesta moduloinnista (longitudinal-z/-modulation). Näiden kahden tekniikan avulla tapahtuu putkivirran automaattinen modulointi tutkittavan alueen ja potilaan koon perusteella. (Kortesniemi, 2008)

Käytettäessä automaattista putkivirran modulointia, on huolehdittava, että kuvanlaatu säilyy tarpeeksi diagnostisena. Aiemmissa tutkimuksissa on todettu, että automaattinen putkivirran modulointi voi vähentää potilaan saamaa säteilyannosta jopa 60 %. Tähän vaikuttaa kuitenkin myös suuresti potilaan koko ja anatomia. (Padakis, Perisinakis & Damilakis 2014, 2520)

Automaattista putkivirran modulointia käyttävät laitevalmistajat ovat: Siemens, Toshiba, GE Healthcare ja Philips. Jokaisella laitevalmistajalla automaattinen putkivirran modulointi toimii hie-

laitevalmistajien automaattinen putkivirran modulointi tapahtuu suunnittelukuvien ja niistä selviävän vaimenemisen perusteella. Siemens ja Philips sekä Toshiba käyttävät suunnittelukuvasta ensin saatua kuvanlaatua ja sen perusteella määrittelee milliampeerin määrän, joka tarvitaan halutun kuvanlaadun saamiseksi. Tämän jälkeen laite huomioi potilaan koon, muodon ja tiheyden, jotka vaikuttavat putkivirran suuruuteen. (Kaza ym. 2017, 4)

Siemensillä automaattisen putkivirran moduloinnin järjestelmän nimi on CareDose4D. Myös Siemens käyttää tekniikassa apunaan suunnittelukuvia. Suunnittelukuvia otetaan yksi tai kaksi. Philips laitevalmistajan automaattisen putkivirran modulaation järjestelmää kutsutaan nimellä DoseRight. Myös tässä järjestelmässä käytetään apuna suunnittelukuvia. DoseRight järjestelmän toiminta perustuu hypoteesiin, että erikokoiset potilaat tarvitsevat eritasoista kuvakohinaa. GE Healthcaren järjestelmässä on valittavana viisi eri kuvanlaadun tasoa, joista käyttäjä voi valita tarvittavan. Tasot vaihtelevat ”Erittäin korkeasta laadusta” ”Erittäin pieneen annokseen”. (Merzan ym. 2016) GE Healthcaren ja Toshibaan tietokonetomografialaitteilla automaattien putkivirran modulointi vaatii käyttäjää valitsemaan suuremman kohinatason kuviin suurilla potilailla. Mikäli käyttäjä ei hyväksy tätä, saa suurikokoinen potilas suuren säteilyannoksen (Martin, Sookpeng. 2016)

### **2.3.2 Elinspesifinen putkivirran modulointi (OBTCM)**

Elinspesifisen moduloinnin tarkoituksena on vähentää säteilyherkkien elimien säteilyannosta. Tekniikka perustuu siihen, säteilylle herkkiä elimiä voidaan suojella esimerkiksi niin, että röntgenputken kiertäessä kehoa vartalon etukolmanneksella, säteilyä tulee vähemmän. Tälle alueelle sijoittuvat esimerkiksi rinnat ja silmät, jotka ovat erityisen herkkiä säteilylle. (Taylor ym. 2015, 261.)

Jotta kuvanlaatu pysyisi tarpeeksi diagnostisena, putkivirta kasvaa kehon sivuilla ja takapuolella eli yli kolmanneksella kehonympärysmittaan nähden. On kuitenkin huomioitava se, että osa rintakudoksesta on kuvauksen aikana suurennettun annosvyöhykkeen alueella tai ainakin alueen vierellä. Testifantomeissa rinnan asento on tyypillisesti etupuolelle keskitetty, tämä ei siis kuvasta rinnan todellista asentoa. Elinspesifistä modulointia voidaan käyttää, riippumatta siitä, makaako potilas tutkimuspöydällä selällään vai mahallaan. (Taylor ym. 2015, 261.)

### 3 TUTKIMUKSEN TARKOITUS, TAVOITTEET JA TUTKIMUSKYSYMYS

Opinnäytetyömme käsittelee tietokonetomografiatutkimuksessa käytettävän putkivirran moduloinnin käyttöä yhtenä optimoinnin keinoista. Tutkimuskysymyksiä opinnäytetyössä on: Miten automaattisen putkivirran modulointi vaikuttaa potilaan saamaan säteilyannokseen? Miten automaattisen putkivirran modulointi vaikuttaa kuvanlaatuun?

Tutkimuksen aihe on valittu tukemaan röntgenhoitajaopiskelijoita tietokonetomografiatutkimusten teorian opettelussa. Tavoitteena on tuoda aiheesta ajankohtaista ja selkeää tietoa alan opiskelijoille. Opinnäytetyötä voivat käyttää myös esimerkiksi röntgenhoitajat ja muut aiheesta kiinnostuneet. Tutkimuksen tarkoituksena on kuvailla tietokonetomografiatutkimusten optimointikeinoja ja syventyä erityisesti niissä putkivirran modulointiin.

Tutkimuksen tarkoituksena on kuvailla eri tietolähteistä löytyvää tietoa automaattisen putkivirran modulointiin liittyen.

## 4 TUTKIMUSMETODOLOGIA

Opinnäytetyömme tutkimusmetodologia on kuvaileva kirjallisuuskatsaus. Työmme aiheeseen sopii tutkimusmetodologiaksi kuvaileva kirjallisuuskatsaus, sillä tietokonetomografiatutkimusten optimoinnista putkivirran modulaation avulla löytyy useita eri tietolähteitä englanniksi, mutta suomeksi niistä on tehty vain vähän oppimismateriaalia röntgenhoitajaopiskelijoille. Päätimme koota tähän opinnäytetyöhön ajankohtaista tietoa opinnäytetyön aiheeseemme liittyen. Tätä materiaalia voidaan käyttää esimerkiksi opetusmateriaalina tai materiaalina muille aineesta kiinnostuneille.

Kuvailevaa kirjallisuuskatsausta pidetään yhtenä yleisimmistä kirjallisuuskatsauksen perustyypeistä. Se on yleiskatsaus ilman tarkkoja sääntöjä. Tutkittava ilmiö voidaan kuvata laaja-alaisesti laajojen aineistojen avulla. Kuvailevassa kirjallisuuskatsauksessa on kaksi erilaista vaihtoehtoa, jotka ovat; narratiivinen, sekä integroiva katsaus. (Salminen, 2011) Opinnäytetyömme on integroiva kirjallisuuskatsaus, jonka ideana on kuvata valittua aihetta mahdollisimman monipuolisesti.

## 5 KIRJALLISUUSKATSAUKSEN TOTEUTUS

### 5.1 Kuvailevan kirjallisuuskatsauksen hakustrategia

Käyttämämme tietokannat tiedon haussa olivat Google Scholar, Science Direct, PubMed ja Medic. Hakusanat, joita käytimme, on kuvattu oheisessa taulukossa (TAULUKKO 1). Varasimme ajan Oulun Ammattikorkeakoulun kirjaston informaatikolle, joka neuvoi meitä hakusanojen muodostamisessa sekä tietokantojen käyttämisessä. Käyttämämme hakulausekkeet on koottu Liitteeseen 1.

Hakulausekkeet rakennettiin käyttäen Boolean operaattoria. Sen avulla yhdistetään hakusanoja ja -lausekkeita käyttäen Boolean operaattoreita AND, OR ja NOT. Osassa tietokannoista operaattorit pitää kirjoittaa isolla ja osassa sillä ei ole väliä. AND-operaattorilla haku antaa molemmat viitteet. Se yhdistää haussa eri aihepiirit. OR-operaattorilla voidaan yhdistää synonyymeja. Ne voivat olla erikielisiä, laajempia tai suppeampia termejä. NOT-operaattori poissulkee hakulausekkeessa esiintyvän termin. Se voi poissulkea hyvä termejä, joten sen käytön suhteen tulee olla hyvin varovainen. (Oulun yliopisto 2021)

TAULUKKO 1. Käytetyt hakusanat.

Hakusanat suomeksi	Hakusanat englanniksi
tietokonetomografia, TT	computed tomography, CT
modulointi	modulation
putkivirta	tube current
optimointi	optimizing
automaattinen putkivirran modulointi	ATCM

## 5.2 Tutkimusaineiston haku- ja valintaprosessi

Artikkeleille laadittiin sisäänotto- ja poissulkukriteerit, jotka ovat lueteltu oheisessa taulukossa (TAULUKKO 2). Artikkeleiden tuli liittyä opinnäytetyön kahteen tutkimuskysymykseen, ja niiden tuli olla joko suomen- tai englanninkielisiä. Artikkelit ei saanut olla maksullinen, eikä se saanut olla konferenssiesitys tai kirjan osa. Artikkelit piti olla julkaistu vuoden 2015 jälkeen.

TAULUKKO 2: Tutkimusten sisäänotto- ja poissulkukriteerit

<i>Sisäänottokriteerit</i>	<i>Poissulkukriteerit</i>
<i>Julkaistu vuosina 2015–2021</i>	<i>Julkaistu ennen vuotta 2015</i>
<i>Suomen- tai englanninkielinen julkaisu</i>	<i>Muun kuin suomen- tai englanninkielinen julkaisu</i>
<i>Aineisto liittyy putkivirran modulointiin</i>	<i>Aineisto liittyy muihin TT optimointikeinoihin</i>
<i>Saatavilla ilmaiseksi</i>	<i>Saatavilla maksusta</i>
<i>Tieteellinen artikkeli</i>	<i>Ei tieteellinen artikkeli, konferenssiesitys tai kirjan osa</i>

Google Scholarin tietokantaan hakulausekkeen pystyi tekemään hyvin vapaasti. Meillä hakulausekkeesta muodostui seuraavanlainen (LIITE 1):

*(CT or computed tomography) AND ATCM AND Tube current modulation*

Hakutuloksia tuli 737, mutta haku rajattiin niin, että se näytti hakutuloksia vuodesta 2017 eteenpäin. Tällöin tuloksia tuli 317. Tässä tietokannassa ei voinut muokata hakua niin, että se olisi suodattanut pois muilla kuin suomeksi ja englanniksi tehdyt työt. Google Scholariin menimme Oulun Finnin kautta, sillä tietokanta on sitä kautta räätälöity niin, että tietokanta paikantaa aineistoja ja maksullisista tietokannoista ne joihin Oulun Ammattikorkeakoululla on tilaus.

Pubmedin tietokannan hakulauseke oli seuraavanlainen (LIITE 1):

*(((CT[Title/Abstract] AND (ATCM[Title/Abstract])) AND (tube current modulation[Title/Abstract]))*

Hakutuloksia tuli 32. Pois suodatettiin maksulliset artikkelit, sekä koko teksti tuli olla saatavana ilmaiseksi. Aikarajana oli 2015–2021. Suodatusten jälkeen hakutuloksia saatiin 20.

Science Directin tietokannan hakutermin oli seuraavanlainen (LIITE1):

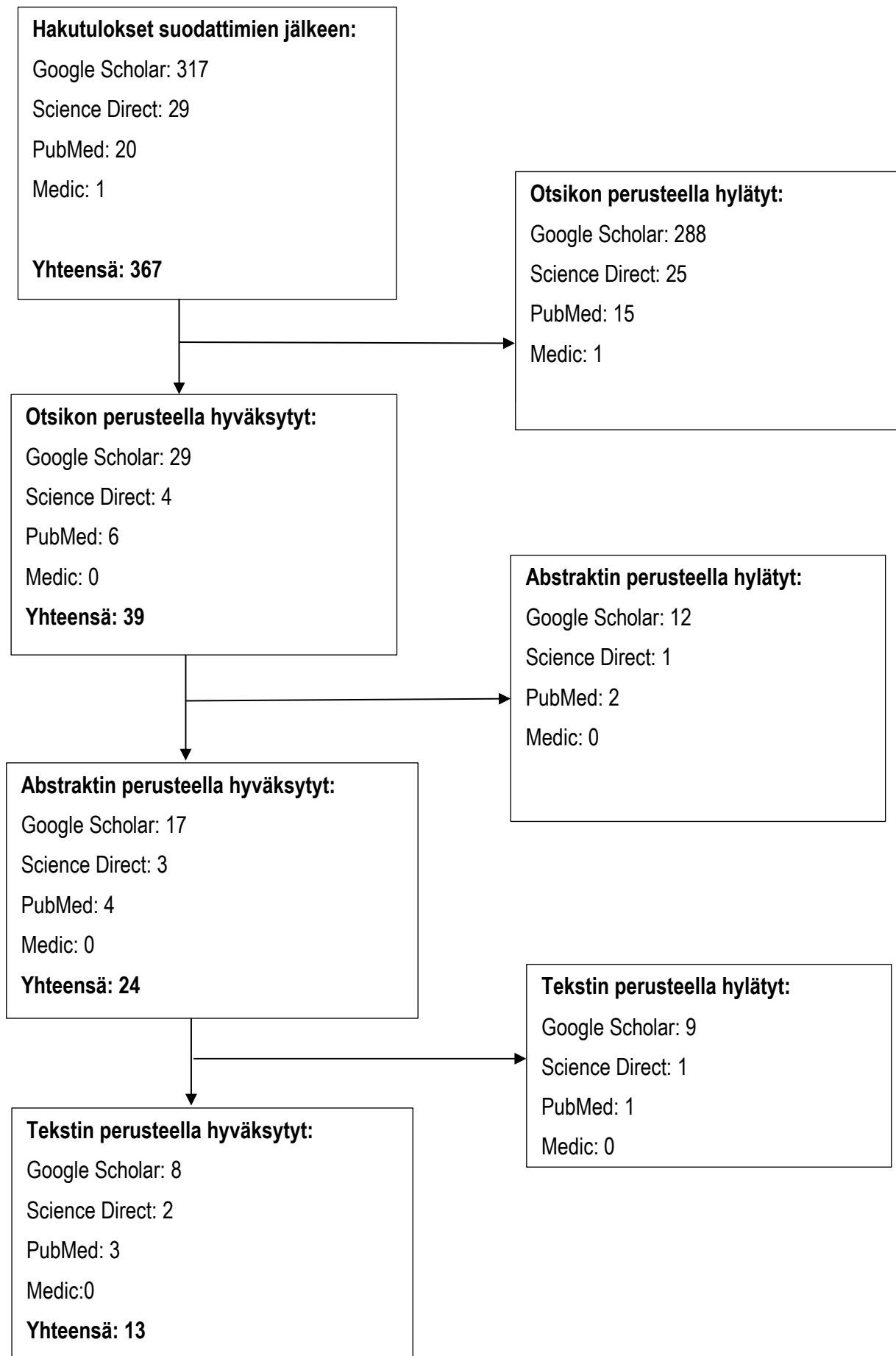
*ATCM AND (CT OR computed tomography) AND (tube current modulation OR automatic tube current modulation) NOT voltage NOT coronary angiography*

Hakutuloksia tuli 42. Suodattimien jälkeen hakutuloksia tuli 29. Artikkeleista suodatettiin pois maksulliset teokset, sekä aikarajaksi asetettiin vuodet 2015–2021. Ilman "NOT voltage" ja "NOT coronary angiography" lausekkeita, hakutuloksissa oli hyvin paljon angiografiaa, sepelvaltimoita, sekä putkijännitettä.

MEDIC- tietokannan hakulauseke oli seuraavanlainen (LIITE1):

*Tietokonetomo\* TT CT AND putkivi\* AND automa\**

Hakutuloksia tuli yksi kappale. Suodatuksen jälkeen hakutuloksia ei ollut yhtään kappaletta.



KUVIO 1. PRISMA-vuokaavio.

### 5.3 Kirjallisuuskatsaukseen valitut tutkimukset

Kirjallisuuskatsaukseen valikoitiin 13 tieteellistä artikkelia. Tutkimukset on esitelty oheisessa taulukossa.

TAULUKKO 3: Valitut tutkimusartikkelit.

<i>Tutkimuksen nimi</i>	<i>Tutkimuksen tekijät</i>	<i>Julkaisulähde</i>	<i>Vuosi</i>
<i>Evaluating the impact of scan settings on automatic tube current modulation in CT using a novel phantom</i>	<i>Merzan D, Nowik P, Poludniowski G, Bujila R,</i>	<i>PubMed</i>	<i>2017</i>
<i>Combining automatic tube current modulation with adaptive statistical iterative reconstruction for low-dose chest CT screening</i>	<i>Chen JH, Jin EH, He W, Zhao LQ</i>	<i>PLOS ONE</i>	<i>2014</i>
<i>Impact of Overlying Personal Items on CT Dose with Use of Automated Tube Current Modulation – Pilot Investigation</i>	<i>Mulvey R, Tang X, Krupinski E, Mittal P, Moreno C</i>	<i>Current Problems in Diagnostic Radiology</i>	<i>2018</i>
<i>Impact of scan settings on automatic tube current modulation in CT</i>	<i>Bujila R</i>	<i>Physica Medica</i>	<i>2018</i>
<i>Setting up computed tomography automatic</i>	<i>Martin J, Sookpeng S</i>	<i>Journal of Radiological Protection</i>	<i>2016</i>

*tube current modulation systems*

*Effect on Radiation Dose and Image Quality of the Computed Tomography Tube Current Modulation* Khedr Y, Ali M, Kandil B, El Safwany M Egyptian Journal of Physics Science 2021

*Effects of the use of automatic tube current modulation on patient dose and image quality in computed tomography* Yurt A, Özsoykal I, Funda O Molecular imaging and Radionuclide Therapy 2019

*Radiation dose and image quality in CT-evaluation of how slice thickness, tube current modulation and reconstruction algorithms affect radiation dose and image noise* Marte Guleng Norwegian University of Science and Technology 2018

*Analysis of Effective Dose at Computed Tomography in a Modern 64 slice Multidetector CT System in an Iris Tertiary Care Centre with Local and International Reference Standards* T Curran, M Maher, P McLaughlin, F Coffey, S O'Neill medRxiv – The Preprint Server for Health Sciences 2020

*Evaluating of an organ- AE Papadakis, J. Da- Eur. Radiol. 2020  
 based tube current milakis  
 modulation tool in pedi-  
 atric CT examinations*

*Dosimetric changes Spampinato, Gueli, Mi- European Journal of 2018  
 with Computed tomog- lone, Raffaele Medical Physics  
 raphy Automatic Tube  
 Current Modulation  
 techniques*

*Assessment of Auto- BA Kandil, YI Khedr, Journal of Diagnostic 2019  
 matic Tube Current MM El Safwany Techniques and Bio-  
 Modulation Technique medical Analysis  
 of Multi-Detectors Com-  
 puted Tomography Ma-  
 chine in Multiphasic Ex-  
 aminations*

*A comparison of fixed M. Alrowily University of Salford 2018  
 tube current (FTC). and Manchester  
 automatic tube current  
 modulation (ATCM) CT  
 methods for abdominal  
 scanning*

## 5.4 Aineiston analysointi

Valittujen artikkelin tuloksista tehtiin sisällönanalyysi. Sisällönanalyysi on perusanalyysimenetelmä, jota voidaan käyttää apuna laadullisissa tutkimuksissa (Tuomi & Sarajärvi 2018, 61.). Aineistolähtöisessä analyysissä pyritään tekemään tutkimusaineistosta yhtenäisen teoreettinen kokonaisuus. Aineiston analyysi toteutettiin niin, että kaikki mitä aiheesta entuudestaan tiedettiin, suljettiin analyysin ulkopuolelle, jotta se ei vaikuttaisi tutkimustuloksiin (Tuomi & Sarajärvi 2018, 63.).

Aineistolähtöinen analysointi aloitettiin sisällön redusoinnilla, eli pelkistämällä. Tämän jälkeen aineisto klusteroitiin, eli ryhmiteltiin ja lopuksi luotiin teoreettiset käsitteet. Käsitteellistämässä esiteltiin opinnäytetyön kannalta olennainen tieto ja tämän tiedon avulla luotiin teoreettisia käsitteitä. (Tuomi & Sarajärvi 2018, 122–124.)

Aineiston redusoinnilla tarkoitetaan pelkistämistä, jossa tutkimukselle epäolennainen tieto karsitaan pois. Tätä voidaan tehdä joko datan pilkkomisella osiin tai tiivistämällä. (Tuomi & Sarajärvi, 2018.) Redusointia ohjasi kaksi tutkimuskysymystämme. Aineistosta etsittiin tutkimukselle olennaista tietoa ja se tiivistettiin pienempään osaan. Esimerkki redusoinnista on esitetty taulukossa 4. ja tarkemmin liitteessä 2.

Redusoinnin jälkeen tutkimusaineisto klusteroitiin, jossa tiivistetyt ilmaukset ryhmiteltiin omiin alaluokkiinsa. Ilmauksista etsittiin yhteneväisyyksiä, joista muodostettiin suurempia kokonaisuuksia. Myös redusointia ohjasi tutkimukseen valitut tutkimuskysymykset eli alaluokkia koottiin automaattisen putkivirran moduloinnin vaikutuksesta potilaan säteilyannoksen ja kuvanlaadun näkökulmasta. Klusterointia on havainnollistettu taulukossa 5.

Viimeiseksi tutkimusaineisto abstrahoitettiin. Klusterointi vaiheessa luodut alaluokat koottiin käsitteellisemmiksi pääluokiksi. Tämän tarkoituksena oli luoda kirjallisuuskatsaukselle perusrakenne. Perusrakenteen tarkoituksena oli määrittää näkökulmat mistä automaattisen putkivirran modulointia

käsiteltiin. Pääluokiksi tutkimukselle muodostui automaattisen putkivirran moduloinnin vaikutus potilasannokseen, automaattisen putkivirran moduloinnin käyttäminen, automaattisen putkivirran moduloinnin vaikutus kuvanlaatuun ja automaattisen putkivirran moduloinnin käyttö tasapainottelee kuvanlaadun ja säteilyannoksen välillä. Abstrahointi on esitelty tarkemmin taulukossa 6.

## Aineiston redusointi

Aineiston redusoinnilla tarkoitetaan aineiston pelkistämistä. Alla esimerkki taulukoinnista. Liitteissä redusoinnin taulukko kokonaisuudessaan. (LIITE2)

TAULUKKO 4: Aineiston redusointi

ALKUPERÄISILMAUS	PELKISTETTY ILMAUS
Image noise was increased in ATCM+OTCM-enabled acquisitions. Mean image noise increase was up to 11% for head and 19% for thorax. (Padakis, Damilakis. 2020)	<b>Automaattinen putkivirran modulointi ja elinspesifinen modulointi nostaa kuvan kohinaa</b>
Combining ATCM with ASIR can effectively reduce radiation dose. (Chen, Jin, He. 2014)	<b>Automaattisen putkivirran moduloinnin yhdistäminen iteratiiviseen rekonstruktioon voi merkittävästi vähentää säteilyannosta</b>
Since the modulation of tube current directly affects the patient dose and image quality, it is of great importance that CT users are aware of the differences between the ATCM systems implemented in different scanners and have proper knowledge of how each system operates and will respond to changes in scan settings. (Merzan, Nowik, Pouldniowski, Bujila. 2017)	<b>Tietokonetomografialaitteen käyttäjien tulee olla tietoisia putkivirran moduloinnin vaihteiluista eri laitevalmistajilla</b>
ATCM systems adjust mA automatically relative to patient attenuation in both in both the longitudinal and rotational planes. (Martin, Sookpeng. 2016)	<b>Automaattinen putkivirran modulointi huomioi potilaan vaimennuksen kuvauksessa, sekä yksittäisen pyörähdyksen aikana, että peräkkäisten leikkeiden välillä</b>
ATCM system allow adjustments to be made to maintain a chosen level of image quality linked to either image noise or factors based on a standard image. (Martin, Sookpeng. 2016)	<b>Automaattisen putkivirran moduloinnin avulla voidaan vaikuttaa kuvanlaatuun</b>

## Aineiston klusterointi

TAULUKKO 5: Aineiston klusterointi

PELKISTETTY ILMAUS	ALALUOKKA
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Automaattisen putkivirran moduloinnin yhdistäminen iteratiiviseen rekonstruktioon voi merkittävästi vähentää säteilyannosta</li> <li>- Automaattista putkivirran modulointia käyttäessä potilasannoksen säästö vaihteli 23,53 prosentista 57,72 prosenttiin.</li> </ul>	<b>Säteilyannoksen vaihtelu</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Automaattinen putkivirran modulointi ja elinspesifinen modulointi nostaa kuvan kohinaa</li> <li>- Elinspesifinen modulointi pienentää rintarauhasen annosta verrattuna automaattisen putkivirran modulointiin</li> </ul>	<b>Automaattinen putkivirran modulointi ja elinspesifinen modulointi</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Iteratiivinen rekonstruktio vaikuttaa siihen, miten automaattisen putkivirran modulointi-indeksi tulisi valita halutun kuvanlaadun saavuttamiseksi</li> </ul>	<b>Iteratiivinen rekonstruktio ja automaattisen putkivirran modulointi</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Alueiden tunnistaminen, joissa säteilyannosta tulee vähentää</li> </ul>	<b>Alueiden tunnistaminen automaattista putkivirran modulointia käytettäessä</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Automaattinen putkivirran modulointi ja elinspesifinen modulointi nostaa kuvan kohinaa</li> <li>- Automaattinen putkivirran modulointi huomioi potilaan vaimennuksen kuvauksessa, sekä yksittäisen pyörähdysten aikana, että peräkkäisten leikkien välillä</li> </ul>	<b>Kohina ja potilaan vaimennus</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Automaattisen putkivirran moduloinnin avulla voidaan vaikuttaa kuvanlaatuun</li> </ul>	<b>Automaattisen putkivirran moduloinnin käyttäminen ja sen vaikutus kuvanlaatuun</b>

<ul style="list-style-type: none"> <li>- Automaattisen putkivirran moduloinnin tulisi olla vakiokäytäntö, koska sillä voidaan vaikuttaa kuvanlaatuun</li> </ul>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Tietokonetomografialaitteen käyttäjien tulee olla tietoisia putkivirran moduloinnin vaihteluista eri laitevalmistajilla</li> </ul>	<p><b>Annoksen ja kuvanlaadun suhde</b></p>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Automaattisen putkivirran modulointi tekniikka pienentää potilaan säteilyannosta säilyttämällä tietyn kuvanlaadun tason</li> </ul>	<p><b>Potilasannoksen pienentäminen ja kuvanlaadun taso</b></p>

## Aineiston abstrahointi

TAULUKKO 6: Aineiston abstrahointi

ALALUOKKA	YLÄLUOKKA
<ul style="list-style-type: none"><li>- Säteilyannoksen vaihtelu</li><li>- Automaattinen putkivirran modulointi ja elinspesifinen modulointi</li></ul>	<b>Automaattisen putkivirran moduloinnin vaikutus potilasannokseen</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>- Iteratiivinen rekonstruktio ja automaattinen putkivirran modulointi</li><li>- Alueiden tunnistaminen automaattista putkivirran modulointia käytettäessä</li></ul>	<b>Automaattisen putkivirran moduloinnin käyttäminen</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>- Kohina ja potilaan vaimennus</li><li>- Automaattisen putkivirran moduloinnin käyttäminen ja sen vaikutus kuvanlaatuun</li></ul>	<b>Automaattisen putkivirran moduloinnin vaikutus kuvanlaatuun</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>- Annoksen ja kuvanlaadun suhde</li><li>- Potilasannoksen pienentäminen ja kuvanlaadun taso</li></ul>	<b>Automaattisen putkivirran moduloinnin käyttö tasapainottelee kuvanlaadun ja säteilyannoksen välillä</b>

## 6 TULOKSET

### 6.1 Automaattisen putkivirran moduloinnin vaikutus potilasannokseen

#### Säteilyannoksen vaihtelu

Automaattisen putkivirran moduloinnin avulla tietokonetomografiatutkimuksessa voidaan saavuttaa hyvä kuvanlaatu pienentäen samalla potilaan saamaa säteilyannosta. Säteilyannosta pyritään tavallisimmin laskemaan esimerkiksi muuttamalla putkivirtaa, putkijännitettä, leikepaksuutta, skannauspituutta, kohinaindeksiä tai välillisesti käyttämällä rekonstruktioalgoritmejä. Säteilyannoksen pienentäminen kasvattaa kuvan kohinaa ja vaikuttaa tätä kautta kuvanlaatuun ja diagnostisuuteen. Automaattisen putkivirran moduloinnin avulla voidaan kuitenkin minimoida säteilyannosta säilyttämällä hyvä kuvanlaatu. Useat tutkimukset ovat osoittaneet, että tietokonetomografiatutkimusten säteilyannoksia voitaisiin laskea jopa 40–60 % käyttämällä automaattista putkivirran modulointia, kuitenkin tinkimättä kuvanlaadusta. (Chen, Jin, He. 2014)

Suunnittelukuvan rooli automaattista putkivirran modulointia käytettäessä on suuri. Suunnittelukuvan avulla käyttäjä valitsee tietyn kuvanlaadun tason, jota kuvauksessa halutaan käyttää. Käyttäjän tulee valita optimaaliset maksimi ja minimi mA-arvot. Käyttäjän tulee myös harkita asettaako hän enimmäisarvon rajoittamaan annostasoa suurempia potilaita kuvatessa. On olennaista, että potilas on keskitetty tietokonetomografialaitteessa oikeaan kohtaan suunnittelukuvaa ottaessa, jotta automaattinen putkivirran modulointi toimisi oikein. On myös tärkeää, että jokainen tietokonetomografialaitetta käyttävä tietää, miten kyseisen laitteen automaattisen putkivirran modulointi järjestelmä toimii ja miten eri parametrien muuttaminen vaikuttaa siihen. Automaattinen putkivirran modulointi laskee ennakoivasti potilaan suunnittelukuvien perusteella, paljonko putkivirtaa tarvitaan. Kuvista tietokonetomografialaite saa tiedon potilaan kudoksen määrästä ja kehon muodosta, jonka mukaan määräytyy putkivirta, valotusaika ja putkijännite. Arvot siis vaihtelevat potilaan vaimennuksen mukaan. (Martin, Sookpeng. 2016)

Automaattinen putkivirran modulaatio on otettu kliiniseen käyttöön vuonna 1994 ja sitä käyttävät tällä hetkellä kaikki isoimmat laitevalmistajat. Automaattinen putkivirran modulointi säättää putkivirtaa automaattisesti kompensoimaan potilaasta tulevaa vaimennusta potilaan kehon eri kohdissa. Tämän tarkoituksena on ylläpitää tavoiteltua kuvanlaatua koko kuvauksen ajan. (Guleng 2018).

Tietokonetomografia ei ole yleisin säteilytutkimus, mutta siinä on isoimmat säteilyannokset. Siksi tutkimuksessa käytettävä säteilyannos on minimoitava mahdollisimman alhaiseksi käyttäen ALARA-periaatetta. Näiden ongelmien ratkaisemiseksi tietokonetomografialaitteiden tuottajat ovat kehittäneet automaattisen putkivirran modulointi tekniikan, jonka avulla mahdollistetaan putkivirran automaattinen säätäminen, jotta potilaille saataisiin pienemmät säteilyannokset. (Ali ym. 2019)

### **Automaattinen putkivirran modulointi ja elinspesifinen putkivirran modulointi**

Elinspesifinen putkivirran modulointi pienentää esimerkiksi rintarauhasen säteilyannosta enemmän kuin automaattisen putkivirran modulointi. Elinspesifistä putkivirran modulointia käyttäessä putkivirtaa tulee vähemmän potilaan etupuolelle. Lisäksi keuhkojen elinkohtainen annos on tällöin pienempi, mutta pelkällä elinspesifisellä putkivirran moduloinnilla ei saada samaa kokonaishyötyä verrattuna automaattiseen putkivirran modulointiin efektiivisen annoksen osalta. (Layman ym. 2020)

Elinspesifinen putkivirran modulointi nostaa säteilyn määrää potilaan kehon takapuolella, jolloin kehon takapuolella oleviin elimiin absorboituu suurempi annos kuin automaattista putkivirran modulointia käyttäessä. Tutkimus, jossa tutkittiin automaattista putkivirran modulointia ja elinspesifistä putkivirran modulointia, on osoittanut, että käyttäessä automaattista putkivirran modulointia ja elinspesifistä putkivirran modulointia yhdessä, rintarauhasen säteilyannokset ovat vähentyneet jopa 27 %. (Padakis, Damilakis. 2020)

## **6.2 Automaattisen putkivirran moduloinnin käyttäminen**

### **Iteratiivinen rekonstruktio**

Iteratiivisen rekonstruktion käyttämistä voidaan hyödyntää säteilyannoksen pienentämisessä tai parantamaan kuvanlaatua, joka vaikuttaa siihen, miten automaattisen putkivirran modulointi-indeksi tulisi valita halutun kuvanlaadun saavuttamiseksi. Iteratiivisen rekonstruktion avulla voidaan

myös laskea potilaan saamaa säteilyannosta. Iteratiivisen rekonstruktion avulla voidaan vähentää kuvan rakeisuutta, mutta silti säilyttää kuvan paikkaerotuskyky ja kontrasti.

FBP-tekniikka (Filtered Back Projection) on otettu käyttöön 1970-luvulla ja sen rinnalle uudempana rekonstruktio menetelmänä on tullut iteratiivinen rekonstruktio. Mitä enemmän FBP- tekniikalla rekonstruktioituissa kuvissa on kohinaa, sitä enemmän kohinaa on myös iteratiivisesti rekonstruktioituissa kuvissa. FBP-kuvatekniikka käyttää raakadataa yhteen ainoaan rekonstruktioon. Iteratiivinen rekonstruktio puolestaan käyttää kuvan raakadataa useita kertoja pyrkien kohti parempaa kuvanlaatua. Iteratiivinen rekonstruktio voi käyttää apuna ennakkotietoja, esimerkiksi FBP-tekniikalla rekonstruktioitua kuvaa, kuvanlaadun parantamiseksi. (Guleng, 2018)

### **6.3 Automaattisen putkivirran moduloinnin vaikutus kuvanlaatuun**

#### **Kohina ja potilaan vaimennus**

Käyttäessä automaattista putkivirran modulointia ja elinspesifistä putkivirran modulointia voidaan laskea mA-arvoa potilaan etupuolella, jonka seurauksena potilasannos pienenee. Tästä seurasi kohinan kasvu kuvissa. (Padakis, Damilakis. 2020) Automaattinen putkivirran modulointi laskee ennakoivasti potilaan suunnittelukuvien perusteella, paljonko säteilyä tarvitaan. Kuvista tietokone-tomografialaite saa tiedon potilaan kudoksen määrästä ja kehon muodosta, jonka mukaan määrättyy putkivirta, valotusaika ja putkijännite. Arvot siis vaihtelevat potilaan vaimennuksen mukaan. (Martin, Sookpeng. 2016)

#### **Automaattisen putkivirran moduloinnin käyttäminen ja sen vaikutus kuvanlaatuun**

Automaattisen putkivirran modulointi tekniikka toteutetaan hyödyntäen 3D-modulointitekniikkaa, joka koostuu kulmakohtaisesta moduloinnista (angular-x/y-modulation), sekä potilaan z-akselin suuntaisesta pitkittäisestä moduloinnista. Kaikista tehokkain tapa pienentää potilaan säteilyannosta on käyttää näitä tekniikoita yhdessä. (Ali ym. 2019) Automaattisen putkivirran modulaatio säättää kuvausarvon kohteen kudusrakenteen mukaan. Pituussuunnan lisäksi putkivirtaa voidaan moduloida myös x-y-tasossa, putken pyöriessä potilaan ympäri. Tämä vaihe on nimeltään kulmamodulaatio. Kulmamodulaatio on erityisen tärkeä niillä kehoalueilla, joilla on elliptinen poikkileikkaus. Näitä alueita ovat esimerkiksi vatsa ja hartiat. Kulmamodulaatio nostaa annosta x-akselin mukaan

alueilla, missä potilaan halkaisija on suurempi ja vastakohtaisesti pienentää, jos potilaan halkaisija on pienempi. (Glueng, 2018)

#### **6.4 Automaattisen putkivirran moduloinnin käyttö tasapainottelee kuvanlaadun ja säteilyannoksen välillä**

##### **Annoksen ja kohinan suhde**

Käytettävistä artikkeleista selvisi, että joissain tietokonetomografialaitteissa suunnittelukuvien putkivirtaa pienentäessä, myös itse kuvauksen putkivirta laski automaattista putkivirran modulointia käyttäessä. Tällöin potilaan saama säteilyannos pieneni myös. Yksittäinen muutos putkivirrassa ei vaikuttanut automaattisen putkivirran moduloinnin toimintaan, jolloin potilaan säteilyannoksessaan ei tapahtunut muutosta. (Merzan, Nowik, Poludniowski, Bujila. 2016)

Toshiban tietokonetomografialaitteissa suunnittelukuvassa oleva suodatus on aiheuttanut putkivirtaan piikkejä fantomin molemmissa päissä. Pienentynyt leikepaksuus nostaa joissakin tietokonetomografialaitteissa putkivirtaa, joka taas nosti kuvien kohinaa. On tutkittu myös mitä kuvanlaadulle käy, jos leikepaksuutta kasvattaa. Tämä aiheutti sen, että kuvissa kohinan määrä vaihteli huomattavasti enemmän. (Merzan, Nowik, Poludniowski, Bujila. 2016)

## 7 POHDINTA

### 7.1 Tutkimustulosten tarkastelu ja johtopäätökset

Tutkimuskysymyksenä opinnäytetyössä olivat:

Miten automaattinen putkivirran modulaatio vaikuttaa kuvanlaatuun?

Miten automaattinen putkivirran modulaatio vaikuttaa potilasannokseen?

Tutkimuksen keskeisiä tuloksia olivat esimerkiksi se, että automaattisen putkivirran moduloinnin avulla voidaan minimoida säteilyannos säilyttämällä hyvä kuvanlaatu. Useat tutkimukset ovat osoittaneet, että tietokonetomografiatutkimusten säteilyannoksia voitaisiin laskea jopa 40–60 % käyttämällä automaattista putkivirran modulointia kuitenkin tinkimättä kuvanlaadusta (Chen, Jin, He. 2014)

Opinnäytetyössä saatiin selville, että automaattinen putkivirran modulointi laskee ennakoivasti potilaan suunnittelukuvista, paljonko putkivirtaa tarvitaan. Kuvista tietokonetomografialaite saa tiedon potilaan kudoksen määrästä ja kehon muodosta, jonka mukaan määräytyy putkivirta, valotusaika ja putkijännite. Arvot vaihtelevat potilaan vaimennuksen mukaan ja suurien potilaiden kohdalle tulee valita suurempi kohinataso, jotta säteilyannokset eivät nouse liian suuriksi (Martin, Sookpeng. 2016)

Johtopäätöksenä tästä voidaan todeta, että ilman automaattista putkivirran modulointia potilaiden säteilyannokset voisivat olla huomattavasti korkeampia ja kuvanlaatu saattaisi olla kuvauksen eri vaiheissa epätasaista.

Kirjallisuuskatsaukseen valitut artikkelit tukivat teoreettista viitekehystäämme. Teoreettiseen pohjaan valituissa artikkeleissa kerrottiin automaattisen putkivirran moduloinnin säilyttävän tasaisen kuvanlaadun läpi tutkimuksen nostamatta kuitenkaan potilaan säteilyannosta. Samaan johtopäätöksiin tultiin myös useammassa valitussa tutkimuksessamme.

Käytettäessä automaattista putkivirran modulointia, on huolehdittava, että kuvanlaatu säilyy tarpeeksi diagnostisena. Aiemmissa tutkimuksissa on todettu automaattisen putkivirran moduloinnin vähentävän potilaan saamaa säteilyannosta jopa 60 % prosenttia. Tähän vaikuttaa kuitenkin myös

suuresti potilaan koko ja anatomia. (Padakis, Perisinakis & Damilakis 2014, 2520) Tämä tulos tukee myös viitekehysesämmme käytettyä teoreettista tietoa, jossa todettiin potilaan koon ja anatomian vaikuttavan myös automaattisen putkivirran moduloinnin käyttöön.

## 7.2 Tutkimuksen luotettavuus

Jotta opinnäytetyö olisi luotettava, tutkimuskysymykset tulee esitellä selkeästi. (Kangasniemi ym. 2013, 297). Aineistoa haettiin kirjallisuuskatsaukseen vain luotettavista lähteistä, sekä opinnäytetyön aihe rajattiin selkeästi vain yhteen modaaliteettiin, sekä sen modaaliteetin yhteen optimointikeinoista. Valittujen aineistojen tuli käsitellä valittua aihetta, jotta kuvaileva kirjallisuuskatsaus pysyi mahdollisimman selkeänä ja luotettavana. Artikkelit seulottiin niin, että kumpikin opinnäytetyön tekijä kävi läpi samat artikkelit, jotta seulonnasta saatiin mahdollisimman laadukasta.

Hakustrategian laatimisessa käytettiin apuna kirjaston informaattikkoa, joka suositteli haussa käytettäviä tietokantoja, sekä totesi hakulausekkeen riittäväksi ja tarkoituksenmukaiseksi. Aineiston läpikäynti tehtiin kahden tekijän toimesta itsenäisesti niin, etteivät tekijät tietäneet ennakkoon toistensa valintoja. Hakuprosessi dokumentoitiin huolellisesti PRISMA-vuokaavioon (*KUVIO 1*).

Tämän kirjallisuuskatsauksen luotettavuutta lisää se, että se on tehty kahden tutkijan toimesta. Se on luotettavampi tapa kuin esimerkiksi yhden tutkijan puolesta toteutettu kirjallisuuskatsaus. (Tuomi & Sarajärvi, 2018) Tiedonhaku tuli toteuttaa systemaattisesti ja ennen hakua määriteltiin sisään- ja poissulkukriteerit, jotka tukivat tutkimukseen valittuja tutkimuskysymyksiä.

Tätä kirjallisuuskatsausta tehdessä välivaiheet pyrittiin avaamaan lukijalle niin, että lukija saisi kokonaiskuvan käsiteltävästä aiheesta ja tutkimusprosessi hahmottuisi lukijalle hyvin. Sisään- ja poissulkukriteerit tuottivat onnistuneita hakutuloksia. Näistä saadut tulokset kirjoitettiin auki ja havainnollistettiin erilaisilla taulukoilla. Tuloksia pyrittiin esittämään johdonmukaisesti ja lähdeviittauksista käy ilmi mikä osa tutkimuksesta perustuu lähteisiin ja missä kohtaa tutkimuksessa on käytetty tutkijoiden omaa pohdintaa.

Tutkimuksen luotettavuutta saattaa heikentää se, että tutkimukseen valittiin vain englannin- ja suomenkielisiä artikkeleita, jolloin muun kieliset artikkelit jäivät tutkimuksen ulkopuolelle. Valittujen artikkeleiden tuli myös olla saatavilla ilmaiseksi, joka rajoitti hakutuloksia. Tutkimuksen ulkopuolelle

jääneet artikkelit olisivat voineet lisätä tutkimustietoa ja täten tuoda arvokasta lisätietoa tutkittavasta aiheesta.

### **7.3 Tutkimuksen eettisyys**

Tutkimuseettisen lautakunnan ohjeistuksen mukaan tutkimuseetiikalla tarkoitetaan eettisesti oikeiden ja vastuullisten toimintatapojen edistämistä ja noudattamista tutkimustoiminnassa. (Tuomi & Sarajärvi, 2018). Tutkimuksen eettisyyttä lisää se, että tekstejä ei plagioitu, sekä varmistettiin, että käytettävät lähteet on hankittu ja esitetty noudattaen tutkimusprosessin eettisiä käytänteitä. Aineistoja käytettäessä julkaisun tekijä merkittiin selkeästi työhön. Tutkimuksessa noudatettiin tiedeyhteisölle tunnusomaisia tapoja, joita ovat tarkkuus, rehellisyys, sekä huolellisuus tulosten talentamisessa ja esittämisessä. Työtä tehdessä otettiin huomioon muiden tutkijoiden työ asianmukaisella tavalla niin, että heidän julkaisuihinsa viitattiin ja heidän saavutuksilleen annettiin niille kuuluva arvo. Tutkimus suunniteltiin ja toteutettiin, sekä raportoitiin tieteelliselle tiedolle asetettujen vaatimusten mukaisesti. (TENK, 2012).

Tutkimuksen eettisyyteen liittyy myös toistettavuus. Toistettavuudella tarkoitetaan, että tutkimuksen tuottamat johtopäätökset ja tulokset eivät ole sattumanvaraisia vaan tutkimuksessa on selkeästi ilmaistu se, miten näihin tuloksiin on päädytty. (Tuomi & Sarajärvi, 2018)

### **7.4 Jatkotutkimushaasteet**

Opinnäytetyö käsitteli tietokonetomografiatutkimuksissa käytettävää automaattista putkivirran modulointia. Jatkotutkimushaasteena voisi olla ”Automaattisen putkivirran käyttö eri laitevalmistajien laitteilla”. Tämä jatkotutkimus voi olla hyödyksi myös ajatellen jo valmistuneita työelämässä olevia röntgenhoitajia.

### **7.5 Omat oppimiskokemukset**

Kuvailevan kirjallisuuskatsauksen tekeminen opetti tieteellistä tiedonhakuja, sekä myös tieteellisen tiedon kokoamista isommaksi kokonaisuudeksi. Tiedonhaku opetti myös eri tietokantojen käyttä-

mistä ja opinnäytetyö kokonaisuudessaan opetti myös aikatauluttamista ja järjestelmällisyyttä. Käytettävistä aineistoista opimme automaattisen putkivirran moduloinnin käyttöä ja esimerkiksi sen käyttämistä yhdessä elinspesifisen modulointi tekniikan kanssa.

Kirjallisuuskatsauksen tekeminen on lisännyt ammatillista kehittymistämme ja olemme päässeet syventymään tiettyyn spesifiin aiheeseen, joka on varmasti hyödyksi tulevassa ammatissamme röntgenhoitajina. Olemme huomanneet, kuinka merkittävä osa optimointi on tietokonetomografiatutkimuksia ja kuinka röntgenhoitaja voi automaattisella putkivirran moduloinnilla vaikuttaa potilaan säteilyannoksen pienentämiseen yhtenä optimoinninkeinona. Olemme saaneet myös kokonaiskuvan siitä, missä vaiheessa automaattisen putkivirran moduloinnin kehitys on maailmalla ja kuinka se on kehittynyt vuosien aikana. Näistä syistä koemme, että kirjallisuuskatsauksen tekeminen on edistänyt suuresti ammatillista kehittymistämme röntgenhoitajiksi.

## LÄHTEET

Kirjallisuuskatsauksessa käytetyt tutkimusartikkelit on merkitty tähdellä (\*).

\*Ali, Magdi, Kandil, Bothaina, Khder, Yasser, Safwany, Mohamed & Aly, Ayman. 2019. Assesment of Automatic Tube Current Modulation Technique of Multi-Detectors Computed Tomography Machine in Multiphasic Examinations. *Journal of Diagnostic Techniques and Biomedical Analysis* 8 (1). Hakupäivä 14.8.2021. [https://www.researchgate.net/publication/342476849\\_Journal\\_of\\_Diagnostic\\_Techniques\\_Biomedical\\_Analysis\\_Assessment\\_of\\_Automatic\\_Tube\\_Current\\_Modulation\\_Technique\\_of\\_Multi-Detectors\\_Computed\\_Tomography\\_Machine\\_in\\_Multiphasic\\_Examinations\\_Computed\\_Analy](https://www.researchgate.net/publication/342476849_Journal_of_Diagnostic_Techniques_Biomedical_Analysis_Assessment_of_Automatic_Tube_Current_Modulation_Technique_of_Multi-Detectors_Computed_Tomography_Machine_in_Multiphasic_Examinations_Computed_Analy)

\*Alrowily, Maily. 2018. A comparison of fixed tube current (FTC) and automatic tube current modulation (ATCM) CT methods hor abdominal scanning: implications on radiation dose and image quality. University of Salford Manchester. Hakupäivä 14.8.2021. <http://usir.salford.ac.uk/id/eprint/46737/1/Maily%20thesis%20%202017-2018.pdf>

Ammattikorkeakoululaki 932/2014. Hakupäivä 20.10.2020. <https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2014/20140932#l3p11>

\*Bujila, Robert. 2018. Impact of scan on automatic tube current modulation in CT. *Physica Medica* 52 (1), 51. Hakupäivä 15.8.2021. [https://www.physicamedica.com/article/S1120-1797\(18\)30687-2/pdf](https://www.physicamedica.com/article/S1120-1797(18)30687-2/pdf)

\*Chen, Jiang-Hong, Jin, Er-Hu, He, Wen & Zhao, Lin-Qin. 2014. Combining Automatic Tube Current Modulation With Adaptive Statistical Iterative Reconstruction for Low-Dose Chest CT Screening. *PLOS ONE* 9 (4), 1–7. Hakupäivä 14.8.2021. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3972172/pdf/pone.0092414.pdf>

\*Curran, Tadgh-Iarla, Maher, Michael, McLAughlin, Patrick, Coffey, Fíona & O'Neill, Siobhan. Analysis of Effective Doose at Computed Tomography in Modern 64 slice Multidetector CT System in an Irish Tertiary Care Centre with Local and International Reference Standards. medRXiv – The

Preprint Server for Health Sciences. Hakupäivä 14.8.2021. <https://www.medrxiv.org/content/10.1101/2020.04.08.20057059v1.full-text>

\*Guleng, Marte. 2018. Radiation dose and image quality in CT-evaluation of how slice thickness, tube current modulation and reconstruction algorithms affect radiation dose and image noise. Norwegian University of Science and Technology. Hakupäivä 15.8.2021. <https://ntnuopen.ntnu.no/ntnu-xmlui/handle/11250/2565890>

Husso, Minna 2011. TT:tä tumpeloille. Sädeturvapäivät. Hakupäivä 13.12.2020. [http://www.sadeturvapaivat.fi/index.php?id=688&cat\\_ids=x14xx82xx101xx98xx100xx85x#cat85](http://www.sadeturvapaivat.fi/index.php?id=688&cat_ids=x14xx82xx101xx98xx100xx85x#cat85)

Jauhiainen, Jukka 2007. Röntgenkuvaus, digitaalinen kuvaus ja tietokonetomografia. Oulun Ammattikorkeakoulu, Tekniikan yksikkö. Hakupäivä 21.10.2020. <http://www.oamk.fi/~jjauhai/ope-tus/mittalaitteet/mittalaitteet07-v1.1.pdf>

Järvinen, Hannu, Karppinen, Juhani, Komppa, Tuomo, Miettinen, Asko, Nieminen, Katja, Parviainen, Teuvo, Pirinen, Markku, Tenkanen-Rautakoski, Petra, Tapiovaara, Markku, Toroi, Paula, Korttesniemi, Mika, Kuusela, Kauno, Laarne, Päivi, Nieminen, Miika, Muotio, Pia & Reponen, Jarmo 2/2008. Terveystieteiden tutkimuskeskuksen säteilyturvallisuuskeskus. Säteilyturvallisuuskeskus. Hakupäivä 21.10.2020. <https://www.stuk.fi/documents/12547/718600/STUK-tiedottaa-2-2008.pdf/eff89f1a-38cb-4c98-811b-65191f601c0b>

Kajaluoto, Sampsa, Bly, Ritva, Kauppinen, Eero, Kemppainen, Jukka, Kiiliäinen, Helena, Korhola, Pasi, Lantto, Eila, Merimaa, Katja, Mussalo, Hanna, Schildt, Jukka, Seppänen, Marko, Sipilä, Kalle, Sholberg, Antti, Timonen, Kirsi, Tunninen, Virpi & Turunen, Sampsa 2016. Säteilyturvakeskus. Isotooppilääketieteen TT-opas. Hakupäivä 20.10.2020. <https://www.julkari.fi/bitstream/handle/10024/131345/STUK-opastaa-TT.pdf?sequence=1>

Kangasniemi, Mari, Utriainen, Kati, Ahonen, Sanna-Mari, Pietilä, Anna-Maija, Jääskeläinen, Petri & Liikanen, Eeva 2013. Kuvaileva kirjallisuuskatsaus: eteneminen tutkimuskysymyksestä jäsennettyyn tietoon. Hoitotiede 2013 25 (4). Vaatii käyttöoikeuden. Hakupäivä 20.9.2021. <http://elektra.helsinki.fi/se/h/0786-5686/25/4/kuvailev.pdf>

Kaza, Ravi, Platt, Joel, Goodsitt, Mitchell, Al-Hawary, Mahmoud, MAturen, Katherine, Wasnik, Ashish & Pandaya, Amit 2014. Emerging techniques for dose optimization in abdominal CT. *Radiographics* 2014; 34:4-17. Hakupäivä 18.12.2020. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/24428277/>

\*Khedr, Yasser, Ali, Magdi, Kandil, Bothaina & Safwany, Mohammed. 2021. Effect on Radiation and Image Quality of Computed Tomography Tube Current Modulation. *Egyptian Journal of Physics Science* 49 (1), 25-30. Hakupäivä 15.8.2021. [https://www.researchgate.net/publication/346904531\\_Effect\\_on\\_Radiation\\_Dose\\_and\\_Image\\_Quality\\_of\\_the\\_Computed\\_Tomography\\_Tube\\_Current\\_Modulation](https://www.researchgate.net/publication/346904531_Effect_on_Radiation_Dose_and_Image_Quality_of_the_Computed_Tomography_Tube_Current_Modulation)

Kortesniemi, Mika & Lantto, Eila 2015. Tietokonetomografioiden optimointi. *Lääketieteellinen aikakauskirja Duodecim* 131 (1). Hakupäivä 23.10.2020. Aikakauskirja Duodecim. Vaatii käyttöoikeuden. <https://www.duodecimlehti.fi/duo12009#duo-comments-start>

Kortesniemi, Mika 2012. TT:n tekniikkaa: Kuvausparametrit ja niiden vaikutus kuvanlaatuun ja sädeannokseen. *Sädeturvapäivät* 10.08.2012, 84–86. Hakupäivä 20.10.2020. <http://www.sadeturvapaivat.fi/file.php?630>

Kortesniemi, Mika 2008. Physico-Medicae. Säteilyannos ja sen optimointi monileike TT:ssä. Hakupäivä 21.10.2020. <https://www.physicomedicae.fi/uncategorized/sateilyannos-ja-sen-optimointi-monileike-ttssa/>

Lajunen, Atte, Oikarainen, Heljä, Tenkkanen-Rautakoski, Petra, Juntunen, Sari, Mäkitaro, Riitta, Nikupaavo, Ulla, Saarnio, Juha & Seuri, Raija 2015. Oikeutus säteilylle altistavissa tutkimuksissa – opas hoitaville lääkäreille. Säteilyturvallisuuskeskus. Hakupäivä 22.10.2020. <https://www.julkari.fi/bitstream/handle/10024/126288/STUK-opastaa-oikeutus-2015.pdf?sequence=1>

\*Martin, C-J & Sookpeng, Supawitoo. 2016. Setting up computed tomography automatic tube current modulation systems. *Journal Of Radiological Protection* 36 (3) 74–95. Hakupäivä 15.8.2021. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/27485613/>

\*Merzan, Deborah, Nowik, Patrik, Poludniowski, Gavin & Bujila, Robert. 2016. Evaluating the impact of scan settings on automatic tube current modulation in CT using a novel phantom. British institute of radiology. Hakupäivä 14.8.2021 <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/27845559/>

\*Mulvey, Thomas, Tang, Xiangyang, Krupinski, Elizabeth, Mittal, Pardeep & Moreno, Courtney. 2020. Impact of Ocerlying Personal Items on CT Dose with Use of Automated Tube Current Modulation – Pilot Investigation. Current Problems in Diagnostic Radiology 49 (1), 29-33. Hakupäivä 15.8.2021. <https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S0363018818302093?token=E77A47D7C8ACB2646312AF1FB353E487F7CAD61CD08F256863822C3605E2E3DDA5ABFE9EF97B18B98F67030A0098B42A&originRegion=eu-west-1&originCreation=20211110120834>

Nieminen, Miika 2.10.2017. Kliininen radiologia. Röntgensäteilyyn perustuvat menetelmät. Kustannus Oy Duodecim. Hakupäivä 20.10.2020 [https://www.oppiportti.fi/op/krd01403/do?p\\_haku=r%C3%B6ntgens%C3%A4teilyyn#s4](https://www.oppiportti.fi/op/krd01403/do?p_haku=r%C3%B6ntgens%C3%A4teilyyn#s4)

Oulun Ammattikorkeakoulu 2020. Radiografian ja sädehoidon tutkinto-ohjelma (210p). Opinto-opas. Opetussuunnitelmat 2020–2021. Hakupäivä 19.10.2020. <https://www.oamk.fi/opinto-opas/opintojen-sisalto/opetussuunnitelmat?koulutus=rad2020sm&lk=s2020>

Oulun Ammattikorkeakoulu 2020. Tutkimusetiikka. Opinnäytetyö. Opinto-opas. Hakupäivä 20.10.2020. <https://www.oamk.fi/opinto-opas/opintojen-sisalto/opinnaytetyo#Tutkimusetiikka>

Oulun yliopisto 2021. Tieteellisen tiedonhankinnan opas: Boolean operaattorit AND, OR & NOT. 17.8.2021. <https://libguides oulu.fi/tieteellinentiedonhankinta>

Padapakis, Antonios, Perisinakis, Kostas & Damilakis, John 2014. Automatic exposure control in CT: the effect of patient size, anatomical region and prescribeb modulation streght on tube current and image quality. European Society of Radiology 2014. Pubmed. Hakupäivä 18.12.2020. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/25027840/>

\*Padakis, Antonios & Damilakis, John. 2020. Evaluation of an Oorgan-Based tube current mpdulation tool in pediatric CT examinations. European Radiology 30, 5728–5737. Hakupäivä 14.8.2021. <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/s00330-020-06888-5.pdf>

Salminen, Ari. 2011. Mikä kirjallisuuskatsaus? Hakupäivä: 15.8.2021 [https://www.uwasa.fi/materiaali/pdf/isbn\\_978-952-476-349-3.pdf](https://www.uwasa.fi/materiaali/pdf/isbn_978-952-476-349-3.pdf)

Salomaa, Sisko, Pukkila, Olavi, Ikäheimonen, Tarja, Pöllänen, Roy, Weltner, Anne, Paile, Wendla, Sandberg, Jorma, Nyberg, Heidi, Marttila, Olli, Lehtinen, Jarmo & Karvinen, Hilka 2004. Säteily- ja ydin turvallisuus. Säteilyn käyttö. Hämeenlinna: Karisto Oy:n Kirjapaino. Hakupäivä 21.20.2020 [https://www.stuk.fi/documents/12547/494524/kirja3\\_1.pdf/a825da96-784a-4868-80a7-3a3d33549257](https://www.stuk.fi/documents/12547/494524/kirja3_1.pdf/a825da96-784a-4868-80a7-3a3d33549257)

\*Spampinato, Sofia, Gueli, Anna, Milone, Pietro & Raffaele, Luigi. 2018. Dosimetric Changes with computed tomography automatic tube-current modulation techniques. European Journal of Medical Physics 56 (2) 99–100. Hakupäivä 15.8.2021. [https://www.physicamedica.com/article/S1120-1797\(18\)30127-3/fulltext](https://www.physicamedica.com/article/S1120-1797(18)30127-3/fulltext)

Suutari, Juha, Qvist, Maarit, Helasvuo, Timo & Kangasniemi, Markus 2015. Radiologisten tutkimusten ja toimenpiteiden määrät vuonna 2015. Säteilyturvallisuuskeskus. Hakupäivä 13.12.2020. <https://www.julkari.fi/bitstream/handle/10024/131372/stuk-b207.pdf?sequence=3&isAllowed=y>

Säteilyturvakeskus 2017. Potilaan säteilyaltistuksen vertailutasot aikuisten tavanomaisissa röntgentutkimuksissa. Päätös. Hakupäivä 23.10.2020. <https://www.julkari.fi/bitstream/handle/10024/126288/STUK-opastaa-oikeutus-2015.pdf?sequence=1>

Säteilyturvakeskus 2019. Säteilyturvakeskuksen määräys oikeutusarvioinnista ja säteilysuojelun optimoinnista lääketieteellisessä altistuksessa. Määräys STUK S/4/2019. Hakupäivä 16.12.2020. <https://www.stuk.fi/documents/12547/103352/STUK-S-4-2019.pdf/99aec4a4-5b2e-06e8-8864-b4f844034269>

Taylor, Stephen, Litmanovich, Diana, Shahrzad, MAryam, Bankier, Alexander, Gevenois, Pierre & Tack, Denis 2015. Organ-based tube current modulation: Are women's breasts positioned in the reduced-dose zone. Pubmed. Hakupäivä 20.12.2020. <https://pubmed-ncbi-nlm-nih-gov.ezp.oamk.fi:2047/25153159/>

Tutkimuseettinen neuvottelukunta 2012. Hyvä tieteellinen käytäntö ja sen käsitteleminen Suomessa. Hakupäivä: 20.12.2020. [https://tenk.fi/sites/tenk.fi/files/HTK\\_ohje\\_2012.pdf](https://tenk.fi/sites/tenk.fi/files/HTK_ohje_2012.pdf)

\*Yurt, Ayşegül, Özsoykal, Ismail & Obuz, Funda. 2019. Effects of the Use of Automatic Tube Current Modulation on Patient Dose and Image Quality in Computed Tomography. *Molecular Imaging and Radionuclide Therapy* 28 (3), 96–103. Hakupäivä 15.8.2021. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6746012/pdf/MIRT-28-96.pdf>

Tietokanta	Hakulauseke
Google Scholar	(CT or computed tomography) AND ATCM AND Tube current modulation
Science Direct	ATCM AND (CT OR computed tomography) AND (tube current modulation OR automatic tube current modulation) NOT voltage NOT coronary angiography
PubMed	((((CT[Title/Abstract]) AND (ATCM[Title/Abstract]))) AND (tube current modulation[Title/Abstract]))
Medic	Tietokonetomo* OR TT OR CT AND Putkivi* AND automa*

ALKUPERÄISILMAUS	PELKISTETTYILMAUS
Image noise was increased in ATCM+OTCM-enabled acquisitions. Mean image noise increase was up to 11% for head and 19% for thorax. (Padakis, Damilakis. 2020)	Automaattinen putkivirran modulointi ja elinspesifinen modulointi nostaa kuvan kohinaa
Combining ATCM with ASIR can effectively reduce radiation dose. (Chen, Jin, He. 2014)	Automaattisen putkivirran moduloinnin yhdistäminen iteratiiviseen rekonstruktioon voi merkittävästi vähentää säteilyannosta
Since the modulation of tube current directly affects the patient dose and image quality, it is of great importance that CT users are aware of the differences between the ATCM systems implemented in different scanners and have proper knowledge of how each system operates and will respond to changes in scan settings. (Merzan, Nowik, Pouldniowski, Bujila. 2017)	Putkivirranmodulointi vaikuttaa suoraan potilaan annokseen ja kuvanlaatuun
ATCM systems adjust mA automatically relative to patient attenuation in both in both the longitudinal and rotational planes. (Martin, Sookpeng. 2016)	Automaattinen putkivirran modulointi huomioi potilaan vaimennuksen kuvauksessa, sekä yksittäisen pyörähdyksen aikana, että peräkkäisten leikkeiden välillä
ATCM system allow adjustments to be made to maintain a chosen level of image quality linked to either image noise or factors based on a standard image. (Martin, Sookpeng. 2016)	Automaattisen putkivirran moduloinnin avulla voidaan vaikuttaa kuvanlaatuun
The corresponding absorbed doses in ATCM+OTCM-enabled acquisitions ranged from 3.1 to 25.0 mGy, resultin in 13% and 9% redustion, respectively. (Padakis, Damilakis. 2020)	Automaattinen putkivirran modulointi ja elinspesifinen modulointi pienentää absorboitunutta annosta

<p>This study found, on average, a reduction of normalized breast dose was observed with OBTCM relative to ATCM. (Layman, Hardy, Kim, Chou, Bostani, Cagnon, Cody, McNitt-Gray. 2021)</p>	<p>Elinspesifinen modulointi pienentää rintarauhasen annosta verrattuna automaattisen putkivirran modulointiin</p>
<p>This result indicates that when radiation dose decreased by using ATCM, it could be maintaining the image quality in MDCT multiphasic examinations. (Khedr, Ali, Kandil, Safwany. 2021)</p>	<p>Automaattinen putkivirran modulointi laskee kuvausannosta</p>
<p>A review of imaging protocols and patient factors will need to be carried out to identify areas where radiation dose deuctions need to take place and to guide changes to the protocols where necessary. (Curran, Maher, McLaughlin, Coffey, O'Neill. 2020)</p>	<p>Alueiden tunnistaminen, joissa säteilyannosta tulee vähentää</p>
<p>These results showed that the ATCM technique reduces patient dose significantly while maintaining a certain level of image quality. (Yurt, Özsoykal, Obuz. 2019)</p>	<p>Automaattinen putkivirran modulointi tekniikka pienentää potilaan sädeannosta säilyttämällä tietyn kuvanlaadun tason</p>
<p>The dose savings ranged from approximately 23,52% to 57,72% for studied patients by comparing radiation dose outcome between two techniques shown a difference of the percentages of DR when using ATCM technique as shown in the Table 1. (Ali, Kandil, Khedr, El-Safwany, Aly. 2019)</p>	<p>Automaattista putkivirran modulointia käyttäessä potilasannoksen säästö vaihteli 23,53 prosentista 57,72 prosenttiin.</p>
<p>Use of ATCM should be standard practice for CT scanning, with proper modification of the image quality parameter based on the required task. (Kaza, Platt, Goodsitt, Al-Hawary, Maturen, Wasnik, Pandya. 2014)</p>	<p>Automaattisen putkivirran moduloinnin käyttäminen tulisi olla vakiokäytäntö, koska sillä voidaan vaikuttaa kuvanlaatuun</p>

<p>The application of IR can give either a benefit in the form of a radiation dose reduction, as was seen for the GE scanner, or as an improvement of the image quality, as was seen for the Philips, Siemens and Toshiba scanners. This will affect how the ATCM index should be chosen to obtain the desired image quality. (Gulen. 2018)</p>	<p>Iteratiivinen rekonstruktio vaikuttaa siihen, miten automaattisen putkivirran moduloinnin indeksi tulisi valita halutun kuvanlaadun saavuttamiseksi.</p>
---	---