



Hanna Ahervo, Joonas Korhonen

Tekoälyn hyödyntäminen pään ja kaulan alueen sädehoidon annosoptimoinnissa: scoping-katsaus

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Röntgenhoitaja (AMK), Insinööri (AMK),

Radiografia ja sädehoito, Tieto- ja Viestintäteknikka

Opinnäytetyö

27.4.2022

Tiivistelmä

Tekijä:	Hanna Ahervo, Joonas Korhonen
Otsikko:	Tekoälyn hyödyntäminen pään ja kaulan alueen sädehoidon suunnittelun annosoptimoinnissa: scoping-katsaus
Sivumäärä:	36 sivua
Aika:	27.4.2022
Tutkinto:	Röntgenhoitaja (AMK), Insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma:	Radiografia ja sädehoito, Tieto- ja Viestintäteknikka
Ammatillinen pääaine:	Radiografia ja sädehoito, Hyvinvointi- ja terveysteknologia
Ohjaajat:	Yliopettaja Eija Metsälä Yliopettaja Mikael Soini

Tämän työn tavoitteena on selvittää, voidaanko tekoälyn avulla optimoida sädehoidon kohdealueen ympäröivien kudosten ja herkkien elimien sädeannosta scoping-katsauksen avulla.

Scoping-katsausta menetelmänä käytetään, kun halutaan kartoittaa jo olemassa olevaa tutkimustietoa. Pään ja kaulan alueen syöpä on kuudenneksi yleisin syöpä maailmassa. Tämä opinnäytetyö on kirjoitettu scoping-katsauksen kirjoitusprosessia kuvaillen. Scoping-katsaus on kirjoitettu yhteistyössä Singaporen teknologiainstituutin kanssa Dosis-hankkeessa.

Dosis eli AI-based solutions in dose management on Metropolia Ammattikorkeakoulun sekä Singapore Institute of Technologyn kanssa suoritettava hanke. Hankkeen tarkoituksena on lujittaa yhteistyötä näiden oppilaitosten välillä terveyden ja teknologian alalla sekä tutkia tekoälyn käyttöä osana sädeannosten hallintaa radiologisessa kuvantamisessa. Scoping-katsaus tullaan julkaisemaan kansainvälisessä Radiography-lehdessä.

Katsauksen kirjallisuushaku suoritettiin viidestä eri tietokannasta hyödyntäen kahta tutkimuskysymystä ja kahta PICO-mallia. Kirjallisuushaku tuotti yhteensä 464 artikkelia, jotka kuuden vaiheen jälkeen rajattiin kymmeneen parhaiten tutkimuskysymyksiin vastaaviin artikkeleihin. Nämä artikkelit jaettiin kolmen teeman mukaan, joita ovat automaattinen segmentointi, automaattinen hoidon suunnittelu ja sädeannoksen ennustus. Jokaista teemaa sekä yksilöllisiä artikkeleita ja niiden tuloksia tarkastellaan scoping-katsauksen tulokset luvussa. Artikkeleista tärkeimmiksi havainnoksi pystytään toteamaan tekoälypohjaisten sovellusten tehokkuus ja tarkkuus. Ne pystyivät tuottamaan verrattavissa olevia tuloksia ihmisen tuottamiin tuloksiin nähden suurimmassa osassa käytetyistä menetelmistä. Ennen kuin tekoälyä voidaan hyödyntää autonomisesti, vaatii sen käyttö sekä tieteellistä että eettistä tutkimusta.

Avainsanat: Pään ja kaulan alueen syöpä, scoping-katsaus, sädehoito, hoitosuunnittelu, tekoäly

Abstract

Author: Hanna Ahervo, Joonas Korhonen
Title: Utilization of Artificial Intelligence in Head and Neck Cancer Radiotherapy Dose Optimization: Scoping Review
Number of Pages: 36 pages
Date: 27 April 2022

Degree: Bachelor of Health Care, Bachelor of Engineering
Degree Programme: Radiography and Radiotherapy, Information and Communication Technology
Professional Major: Radiography and Radiotherapy, Health Informatics
Supervisors: Eija Metsälä, Principal Lecturer
Mikael Soini, Principal Lecturer

The aim of this scoping review is to find out if artificial intelligence can be used to optimize radiation dose to tissues and organs next to the target area. Scoping review as a method is used when there is a need to summarize already existing knowledge of the subject.

Head and neck cancer is the sixth most common type of cancer in the world. There is a need to make the treatment process more efficient and to make the delineation of organs near the target area more accurate in a way that does not risk the patient's treatment outcome. The scoping review in question was written in collaboration with Singapore Institute of Technology as part of Dosis project.

Dosis or AI-based solutions in dose management is a joint project with Metropolia UAS and Singapore Institute of Technology. The purpose of this project is to solidify collaboration between the universities and to study the utilization of artificial intelligence-based solutions to optimize radiation doses in medical imaging. The scoping review will be published on Radiography an international journal of diagnostic imaging and radiation therapy.

The study was conducted in five different databases using two different research questions and two versions of PICO. The search process produced 464 articles that were narrowed down to ten articles that best answered the research questions. The articles were tabled and divided in to three themes: auto-segmentation, automatic treatment planning and dose prediction/dose distribution. Each theme and individual articles are reviewed here. Artificial based applications could produce results that were comparable or superior to human produced results. Before artificial intelligence can be used in a clinical setting more scientific and ethical research must be conducted.

Keywords: Artificial intelligence, head and neck cancer, scoping review, radiotherapy, treatment planning

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Työn tavoite ja tarve	3
3	Pään ja kaulan alueen syöpä ja sädehoito	4
3.1	Sädehoito	4
3.2	Sivuvaikutukset	5
3.3	Sädehoidon suunnittelu ja toteutus	6
3.4	Sädehoito ja tekoälypohjaiset sovellukset	9
3.5	Tekoäly	11
4	Scoping-katsaus menetelmänä	14
4.1	Scoping-katsauksen ominaispiirteet	15
4.2	Tutkimuskysymyksen ja katsauksen tarkoituksen määrittäminen	18
4.3	Kirjallisuushaku	19
4.4	Aineiston valinta	22
4.5	Tutkimusaineiston käsittely	25
4.6	Tulosten analysointi ja raportointi	25
5	Scoping-katsaus	27
5.1	Artikkelin elinkaari	27
5.2	Tulokset	29
6	Pohdinta	29
	Lähteet	33

Lyhenteet

- AI: *Artificial intelligence*. Tekoäly. Ohjelma tai järjestelmä, joka on tietokoneen ohjaama ja pystyy tekemään tehtäviä, joihin vaadittaisiin ihmisen älykkyyttä.
- ANN: *Artificial neural network*. Biologista neuroverkkoa imitoivaksi kehitetty ohjelma.
- CTV: *Clinical target volume*. Kliininen kohdealue on tilavuus, joka sisältää makroskooppisen kasvainalueen (GTV) sekä sitä ympäröivän todennäköisen mikroskooppisen syöpäkasvun.
- DL: *Deep learning*. Syväoppiminen. Koneoppimisen yksi alaryhmä. Ohjelma pyrkii imitoimaan ihmisen aivojen toimintaa neuroverkkojen avulla.
- Dosis: *AI-based solutions in dose management*. Metropolia AMK ja Singapore Institute of Technolyn välinen yhteistyöprojekti
- GTV: *Gross tumor volume*. Makroskooppinen kasvainalue, joka jollakin kuvausmenetelmällä on mahdollista tunnistaa.
- Gy: *Gray*. Säteilyn absorboituneen annoksen mittayksikkö.
- IMRT: *Intensity-modulated radiotherapy*. Sädehoitotekniikka, jossa moniliuskarajainten avulla voidaan säteilyn intensiteettiä ja muotoa muokata kohdealueen mukaan.
- KBP: *Knowledge based planning*. Tietoon perustuva suunnittelu. Jo kerättyyn tietoon perustuva hoidon suunnittelu.

- ML: *Machine learning*. Koneoppiminen. Tekoälyn yksi alaryhmä. Ohjelma, joka pystyy tekemään itsenäisesti päätöksiä perustaen ne algoritmeihin ja statistiikkaan.
- MRI: *Magnetic resonance image*. *Magneettikuvaus*. Lääketieteellinen leikekuvantamismenetelmä, joka perustuu vahvan magneettikentän sekä radioaaltojen signaaleihin.
- OAR: *organ-at-risk*. Elin, joka on erityisen herkkä ionisoivan säteilyn aikaansaamille vaurioille.
- PET: Positroniemissiotomografia. Lääketieteellinen isotooppikuvantamismenetelmä, joka antaa tarkkaa tietoa elimistön toiminnasta säteilevien merkkiaineiden avulla.
- PET-TT: Lääketieteellinen kuvantamismenetelmä, jossa positroniemissiotomografia- ja tietokonetomografiakuvantaminen on yhdistetty.
- PTV: *Planning target volume*. Annossuunnittelun kohdealue, jossa kliinisen kohdealueen (CTV) ympärille lisätään elinten liikkeestä ja aseteluepätarkkuudesta koostuva marginaali (tavallisesti 3–15 mm).
- SIT: *Singapore Institute of Technology*. Singaporissa sijaitseva ammattikorkeakoulu.
- TT: Tietokonetomografia. Lääketieteellinen leikekuvantamismenetelmä, jossa röntgensäteilyn sekä tietokonelaskelmien avulla muodostetaan kuva halutusta kohteesta.

1 Johdanto

Pään ja kaulan alueen syöpä käsittää monimuotoisen ryhmän pahanlaatuisia kasvaimia, jotka kehittyvät hengitysteiden- ja ruoansulatuskanavan yläosien alueelle. Tällä hetkellä pään ja kaulan alueen syöpä edustaa kuudenneksi yleisintä syöpätyyppiä maailmassa. (Mesia ym. 2021; Ferlay ym. 2021.) Sädehoito on olennainen osa syövän hoitoa, joko yksinään tai osana muuta hoitokokonaisuutta. Hoitomuotona se on yksi tehokkaimmista ja arvioidaankin, että lähes 50 % kaikista syöpäpotilaista saa sädehoitoa jossakin sairautensa vaiheessa. Lisäksi arvioidaan noin 80 % pään ja kaulan alueen syöpäpotilaista hyötyvän sädehoidosta. (Mody ym. 2021; Baskar ym. 2012; Nurmi ym. 2013; Borrás ym. 2015.)

Pään ja kaulan alueen sädehoito on haastavaa, sillä onnistuakseen se vaatii suuria säteilyannosmääriä tarkasti rajatulle alueelle. Lisäksi alue on anatomisesti monimutkainen ja siellä sijaitsee suuri määrä säteilyherkkiä elimiä. Näiden elinten vaurioituminen sädehoidon seurauksena saattaa johtaa väliaikaisesti tai jopa pysyvästi muun muassa syljen erityksen, puheen tuoton, nielemisen, näön sekä kuulon heikentyneeseen toimintaan. (Caudell ym. 2017; Vrtovec ym. 2020.)

Sekä radiologinen kuvantaminen että sädehoito ovat ottaneet suuria kehitysaskeleitä viimeisten vuosikymmenten aikana. Radiologisen kuvantamisen kehittyminen on parantanut sädehoidon suunnittelua sekä sen toteutusta ja sitä kautta hoitotuloksia, kun yhä tarkempaa tietoa kasvaimesta ja sen ympärillä olevista kudoksista saadaan kerättyä ja hyödynnettyä. (Caudell ym. 2017; Chandarana ym. 2018.) Lisäksi tekoälyn (Artificial intelligence, AI) nopea kehittyminen on tuonut teknologista edistystä sädehoitoihin. Tekoälypohjaisia sovelluksia hyödynnetäänkin jo monin tavoin sädehoidon eri vaiheissa; erityisesti koneoppimista (machine learning) ja sen eri osa-alueita esimerkiksi syväoppimista (deep learning) käytetään muun muassa automaattisessa rajauksen suunnittelussa (auto segmentation), annosjakautaman arvioissa (dose prediction), automaattisessa sädehoidon suunnittelussa (automatic treatment planning) sekä

tulosmallinnuksessa (patient outcome modeling). Vaikka tekoälyyn pohjautuvia ratkaisuja käytetään jo osana kliinistä käytäntöä, on niiden käytössä edelleen monia haasteita; ne voivat olla epäluotettavia ja alttiita virheille, niiden laaja testaus on aikaa vievää ja kallista sekä lisäksi eettiset ja oikeudelliset seikat tuovat oman lisänsä. Haasteista huolimatta tekoälyllä on rajoittamattomia mahdollisuuksia sädehoidon saralla ja voidaan ennustaa, että tulevaisuudessa se tulee mullistamaan syövän hoidon ja olemaan laajasti osa sädehoitotyötä. (Kearney ym 2018; Wang ym. 2019; McBee ym. 2018; Shiraishi & Moore 2016; Siddique & Chow 2020.)

Tämä opinnäytetyö liittyy kansainväliseen AI-based solutions in dose management- eli Dosis-yhteistyöprojektiin Metropolia Ammattikorkeakoulun sekä Singapore Institute of Technologyn (SIT) kanssa. Hankkeen tarkoituksena on lujittaa yhteistyötä näiden oppilaitosten välillä terveyden ja teknologian alalla sekä tutkia tekoälyn käyttöä osana sädeannosten hallintaa radiologisessa kuvantamisessa. Dosis-projektissa tuotetaan yhteistyössä SIT-opiskelijoiden kanssa englanninkielisiä artikkeleita, jotka julkaistaan radiografia- tai teknologia-alan tieteellisissä lehdissä. Projektin artikkelit kirjoitetaan scoping-katsaus-menetelmän mukaisesti. Scoping-katsaus luetaan kuuluvaksi yhdeksi kirjallisuuskatsauksen tyypeistä. Tämän katsaustyyppin tarkoituksena on laaja-alaisesti kartoittaa, mitä tutkittavasta aihealueesta tiedetään jo olemassa olevan tiedon perusteella (Arksey & O'Malley 2005).

Tämän opinnäytetyön sekä yhteistyöprojektin tuotoksena syntyvässä scoping-katsauksessa tarkastellaan saatavilla olevan tutkimustiedon perusteella tekoälyn hyödyntämistä osana pään ja kaulan alueen sädehoidon suunnittelua sekä sen vaikutuksia sädeannosten optimointiin. Tässä opinnäytetyössä perehdytään aluksi artikkelin aiheeseen ja kartoitetaan sen taustaa ja tarkoitusta. Sen jälkeen esitellään scoping-katsaus menetelmänä ja tutustutaan sen eri vaiheisiin sekä käydään katsauksen konkreettinen tekeminen vaihe vaiheelta tutkimuskysymyksen määrittämisestä aina katsauksen raporttiin asti. Lopuksi tarkastellaan katsauksessa saatuja tuloksia yleisellä tasolla sekä pohditaan niiden merkitystä käytännön työhön.

2 Työn tavoite ja tarve

Tämän opinnäytetyön tavoitteena on oppia ymmärtämään tekoälyn käytön mahdollisuuksia pään ja kaulan alueen syövän sädehoidon annosoptimoinnissa.

Työn tuotoksena syntyy scoping katsaus -artikkeli, jonka tarkoituksena on karhottaa erilaisia tekoälypohjaisia ratkaisuja, joita jo hyödynnetään tai on tulevaisuudessa mahdollista hyödyntää sädehoidon suunnittelussa sekä niiden vaikutuksia sädeannokseen. Tutkimus rajataan koskemaan ainoastaan pään ja kaulan alueen sädehoitoa, sillä tämä kohde on haastava sädehoidon suunnittelulle ja toteutukselle sen anatomisen rakenteen ja siellä sijaitsevien säteilyherkkien elinten vuoksi.

Scoping-katsauksen tutkimuskysymykset ovat:

Pääkysymys:

Miten tekoälyä voidaan hyödyntää sädehoidon suunnittelussa?

Lisäkysymys:

Mitkä ovat tekoälyn käytön mahdollisuudet annosoptimoinnissa sädehoidon suunnitteluvaiheessa?

Yksi syy, miksi tekoälyä halutaan hyödyntää sädehoidossa, on sädehoidon suunnittelun tehostaminen. Koko sädehoidon prosessin läpivienti ihmisen toimesta on monimutkaista, ja se yleensä vaatii paljon resursseja sekä aikaa. Yhtenä esimerkkinä, sädehoidon hoitosuunnitelman tekeminen. Tekoälyä pystytään hyödyntämään hoidon suunnitteluun tehostamalla työn tekoa esimerkiksi automaattisella herkkien elimien rajauksella. Miksi tätä sitten halutaan tutkia? Hoidon suunnitelman laatiminen manuaalisesti eli ihmisten toimesta saattaa altistaa suunnitelman inhimillisille virheille. Lisäksi usein suunnitelmaa on tekemässä monta osapuolta, joten eroavaisuuksia saattaa esiintyä ammatillisissa näkemyksissä. Tekoälyn avulla voitaisiin poistaa inhimilliset virheet suunnittelusta sekä tehostaa sen tekemistä ja suunnata resurssit tehokkaammin. Tekoälyn käyttö sädehoidon saralla on vielä suhteellisen uutta, eikä sen kliinisestä käytöstä ole

merkittävän paljon tietoa. Mahdollisuuksia tietysti on paljon, ja etenkin hoidon suunnittelussa sitä pystyttäisiin hyödyntämään suuresti tulevaisuudessa.

Scoping-katsauksen tavoitteena on kartoittaa jo olemassa olevaa tutkimustietoa tekoälyn hyödyntämisessä pään ja kaulan alueen sädehoidossa. Sen sijaan tämän opinnäytetyön tavoitteena on kuvata, miten tieteellinen artikkeli rakentuu ja minkälainen sen kirjoittamisen prosessi on scoping-katsaus-protokollan mukaisesti. Tavoitteena on lisäksi kirjoittaa julkaisukelpoinen artikkeli, joka on samalla tämän työn tuotos. Scoping-katsauksen artikkeli analysoi tarkemmin valittujen artikkelien tuloksia. Tämä työ sen sijaan kartoittaa tarkemmin tieteellisen artikkelin työstämistä sekä pureutuu aiheen taustoihin tarkemmin.

3 Pään ja kaulan alueen syöpä ja sädehoito

Maailmanlaajuisesti pään ja kaulan alueen syöpä on kuudenneksi yleisin syöpätyyppi ja vuosittain diagnosoidaan lähes miljoona uutta tapausta (Ferlay ym. 2021). Pään ja kaulan alueen syöpään kuuluu laaja heterogeeninen joukko pahanlaatuisia kasvaimia, jotka sijaitsevat hengitysteiden ja ruoansulatuskanavan yläosissa; nenäontelossa sekä sen sivuonteloissa, nielussa, kurkunpäässä, suuontelossa, huulissa sekä sylkirauhasissa. Yli 90 % pään ja kaulan alueen syöivistä on levyepiteelikarsinomia, jotka kehittyvät ihon ja limakalvojen pintakerrokseen. (Mesia ym. 2021; Mody ym. 2021; Klein & Grandis 2010; Vrtovec ym. 2020; Santos-de-Frutos ym. 2019.)

3.1 Sädehoito

Pään ja kaulan alueen syövän hoito on haastavaa ja vaatii monialaisen lähestymistavan, jotta optimaalinen hoitotulos on mahdollista saavuttaa (Yeh 2010; Nigro ym. 2017). Yleisimmät hoitomenetelmät pään ja kaulan alueen kasvainten hoidossa ovat kirurginen hoito, sädehoito ja kemoterapia sekä niiden yhdistelmät. Hoidon valinta riippuu monesta eri tekijästä, kuten kasvaimen sijainnista, laadusta ja levinneisyydestä sekä potilaasta johtuvista seikoista. Sädehoidon rooli eri hoitomenetelmistä on merkittävä; arvioidaan jopa 80 % pään ja kaulan

alueen syöpää sairastavista hyötyvän sädehoidosta jossakin sairautensa vaiheessa. Erityisesti varhaisen vaiheen sekä paikallisesti levinneen pään, ja kaulan alueen kasvainten hoidossa sädehoito on hyvin olennainen osa hoitoa. (Mody ym. 2021; Alterio ym. 2019; Borrás ym. 2015.)

Sädehoidon tarkoituksena on tuhota syöpäsoluja säteilyttämällä ionisoivalla säteilyllä tarkasti rajattua kohdealuetta samalla minimoiden terveiden kudosten ja elinten saamaa säteilyä (Baskar ym. 2012). Pään ja kaulan alueen sädehoidon haastavuutta lisää sen anatominen rakenne. Alueella sijaitsee monia säteilyherkkiä elimiä (organ-at-risk, OAR), jotka usein osuvat säteilytettävälle kohdealueella tai hyvin lähelle sitä. Säteilyherkkiä elimiä alueella ovat muun muassa selkäydin, aivorunko, silmät ja näköhermot, sylkirauhaset, nielemiseen liittyvät rakenteet sekä kurkunpää. (Alterio ym. 2019; Yeh 2010.)

3.2 Sivuvaikutukset

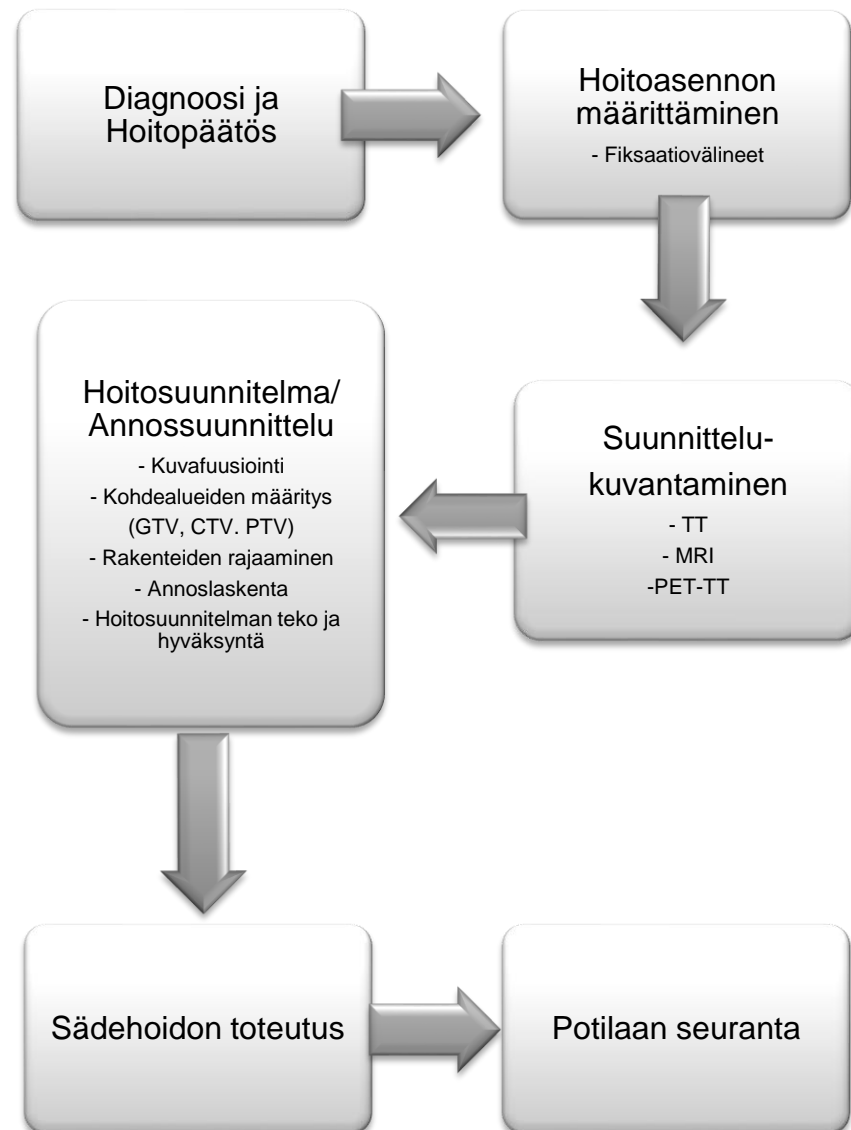
Huolimatta syöpähoitojen nopeasta kehityksestä ja sen myötä eloonjäämisasteen noususta ovat pään ja kaulan alueen syöpää sairastavien hoitotulokset edelleen verrattain alhaisia; syövän uusiutuvuusprosentti on melko korkea ja potilaat joutuvat usein kärsimään monista sädehoidon aiheuttamista sivuvaikutuksista, jotka saattavat alentaa potilaan elämänlaatua merkittävästi. (Alterio ym. 2019.) Pään ja kaulan alueen sädehoidosta johtuvien sivuvaikutusten voimakkuus riippuu suurelta osin sädeannoksen suuruudesta ympäröiviin sädeherkkiin kudoksiin ja siksi annoksen minimoiminen tälle alueelle on erityisen kriittistä. Herkkien kudosten säästäminen täysin säteilyltä ei ole käytännössä kuitenkaan mahdollista ja usein hoidon suunnittelussa joudutaan tekemään kompromisseja. (Rosenthal ym. 2008; Kim ym. 2014.)

Sädehoidosta voi aiheutua potilaalle sekä akuutteja että myöhäisiä haittoja. Akuutit haitat häviävät yleensä nopeastikin hoidon päätyttyä mutta myöhäishaitat voivat aiheuttaa vielä vuosienkin kuluttua sairastavuutta sekä lisätä sekundaarisyövän mahdollisuutta. (Van den Bosch ym. 2021; Nurmi ym. 2013.) Yleisimpiä akuutteja haittoja ovat eriasteinen mukosiitti eli limakalvovauriot suun ja

nielun limakalvoilla, makuaistin menetys sekä eriaisteiset suun hiivatulehdukset, yleiset kiputuntemukset sekä kurkunpään turvotus. Edellä mainitut sivuvaikutukset voivat johtaa ruokahaluttomuuteen tai kyvyttömyyteen syödä, mikä saattaa johtaa voimakkaaseen laihtumiseen sekä aliravitsemukseen. Lisäksi ihoreaktiot ovat yleisiä ohimeneviä sivuvaikutuksia. Pitkäaikaisista sivuvaikutuksista eniten esiintyy xerostomiaa eli suun kuivuutta, jonka ilmaantumiseen vaikuttavat suuresti sädeannoksen määrä sekä sylkirauhasten osuminen säteilykenttään. Xerostomia voi johtaa muun muassa hankaliin nielemisvaikeuksiin, huonoon hammashygieniaan, aliravitsemukseen sekä heikentyneeseen puheentuottoon. Se heikentää potilaan elämänlaatua ja vaikeuttaa sosiaalista elämää. Muita pitkäaikaisia haittoja kuten osteonekroosia eli luukuoliota, leukalukkoa, kilpirauhasen vajaatoimintaa, kuulo- ja näkövaikeuksia sekä vakavimpina neurologisia häiriöitä esiintyy jonkin verran riippuen muun muassa kokonaisannoksesta, sijainnista ja kohdennusmenetelmästä. (Yeh 2010; Alterio ym. 2019.)

3.3 Sädehoidon suunnittelu ja toteutus

Sädehoidon hoitopolku sisältää useita eri vaiheita. Ne saattavat hieman vaihdella riippuen hoidettavasta kohteesta, mutta tavallisesti hoitopolku alkaa diagnoosin ja hoitopäätöksen jälkeen ensin hoitoasennon määrittämisellä erilaisia fiksaatiovälineitä hyödyntäen. Tämän jälkeen suoritetaan kuvantamistutkimukset, joiden pohjalta seuraavaa vaihetta eli hoitosuunnitelmaa lähdetään rakentamaan. Annoslaskennan ja hoitosuunnitelman jälkeen alkaa hoidon toteutus, joka pään ja kaulan alueen sädehoidossa tarkoittaa tavallisesti 54–70 Gy:n (Gray) kokonaisannosta jaettuna 2 Gy:n annosfraktioihin toteutettuna viitenä päivänä viikossa. Hoitojen loputtua potilasta seurataan vielä tietyn ajanjakson ajan. (Chandarana ym. 2018; Nurmi ym. 2013; Colevas ym. 2018.) Hoitopolun eri vaiheet on kuvattu myös alla olevassa kuvassa 1.



Kuva 1. Sädehoidon hoitopolku (Chandarana ym. 2018; Nurmi ym. 2013).

Kuvantamistutkimukset aloittavat varinaisen suunnitteluprosessin. Kuvantamisen avulla arvioidaan syövän laatua ja levinneisyyttä sekä käytetään perustana sädehoidon suunnittelussa (Mody ym. 2021). Viimeaikaiset edistysaskeleet radiologisessa kuvantamisessa ovat mahdollistaneet yhä tarkemman tiedon keräämisen kasvainalueesta sekä sitä ympäröivistä herkistä rakenteista (Chandarana ym. 2018). Pään ja kaulan alueen syövässä positroniemissiotomografian (PET) sekä tietokonetomografian (TT) yhdistelmäkuvantaminen eli PET-TT-kuvantaminen on yleisessä käytössä syövän levinneisyyden määrittämisessä. Se auttaa todentamaan biologisesti aktiivisen kasvainkudosalueen ja näin ollen sitä

voidaan käyttää myös apuna sädehoidon suunnittelussa. Tietokonetomografiakuvantaminen on sädehoidon suunnittelun peruskuvantamismenetelmä. Sädehoitosuunnitelma ja annoslaskenta laaditaan pääsääntöisesti aina tietokonetomografiakuvien pohjalta. Lisäksi erityisesti pään ja kaulan alueen kasvainten kuvantamisessa magneettikuvaus (Magnetic resonance imaging, MRI) on yleistä sen paremman pehmytkudoserottuvuuden vuoksi. Eri tekijöistä riippuen potilaalle suoritetaan useita tutkimuksia eri kuvausmenetelmillä tarkimman mahdollisen tiedon keräämiseksi. Nykyisillä annossuunnittelujärjestelmillä on mahdollista suorittaa kuvafuusiointia eli yhdistää annossuunnittelu-TT-kuviin muiden kuvantamismodaliteettien kuvia kuten magneetti- ja PET-TT-kuvasarjoja. Myös potilaan aikaisempia diagnostisia kuvasarjoja voidaan fuusioda annossuunnittelukuvien kanssa. Lisäksi uusintakuvauksia on mahdollista tehdä ja sädehoitosuunnitelmaa muokata myöhemmin sädehoitojakson aikana, jos huomataan että kohteen geometria on muuttunut esimerkiksi kasvaimen pientymisen tai potilaan voimakkaan laihtumisen vuoksi. (Mody 2021; Nurmi ym. 2013; Alterio ym. 2019.)

Hoitosuunnitelmassa annossuunnittelun TT-kuviin määritetään makroskooppinen kasvainalue (gross tumor volume, GTV), kliininen kohdealue (clinical target volume, CTV), joka on arvio syövän kliinisestä ja biologisesta käyttäytymisestä sekä sen paikallisesta levinneisyydestä sekä kohdealue (planning target volume, PTV), joka sisältää CTV:n lisäksi epävarmuusmarginaalin (tavallisesti 3–15 mm). Marginaalilla otetaan huomioon kasvain- ja terve kudosalueiden liike, hoitoasennon mahdolliset vaihtelut sekä tekniikkaan liittyvät seikat. Epävarmuusmarginaali tulisi pitää mahdollisimman pienenä, jotta suojataan ympärillä olevia terveitä kudoksia mutta kuitenkin niin suurena että koko syöpäsolukkoa sisältävä kudosalue saa riittävän suuren sädeannoksen. (Nurmi ym. 2013.) Ennen annoslaskennan suorittamista TT-kuviin rajataan määritettyjen kohdealueiden lisäksi herkkien elinten rakenteet. Tämä on hoitosuunnitelman laadinnassa tärkeä mutta aikaa vievä sekä vaihteluille altis vaihe. Aikaisemmin kaikki rakenteiden piirrot tehtiin manuaalisesti ihmisen toimesta leikekuviin mutta nykyään käyttöön on otettu lisäksi automatisoituja ohjelmia, jotka ovat nopeuttaneet tätä vaihetta. Niiden käyttöön liittyy kuitenkin paljon epävarmuustekijöitä. On

huomattava, että herkkien elinten saama säteilyannos riippuu pitkälti tästä hoitosuunnittelun vaiheesta kuten myös optimaalinen kohdealueen annos. (Sharp ym. 2014; Vandewinckele ym. 2020; Tong ym. 2018.)

Sädehoidon toteuttaminen on muuttunut yksinkertaisista kaksiulotteisista (2D) kentistä kolmiulotteisiin (3D) kenttiin 1990-luvulla (Chandarana ym. 2018). 3D-tekniikalla on mahdollista saavuttaa parempi annosjakauma kuin yksinkertaisilla kohtisuoraan annetuilla ja suorakulmion muotoisilla tasahoitokentillä (Nurmi ym. 2013; Alterio 2019). Pään ja kaulan alueelle annettavassa sädehoidossa Intensiiteetti muokattu sädehoito (Intensity-modulated radiotherapy, IMRT) on nykyisin yleisin käytössä oleva sädehoitotekniikka. Siinä lukuisat moniliuskakeilareijaimien avulla muotoillut kentät mukailevat tarkasti hoidettavaa kohdealuetta vaihtelevilla voimakkuuksilla. Näin pystytään mahdollisimman tarkkarajaisesti kohdistamaan kasvaimen suuri sädeannos ja samalla vähentämään ympäröivän terve kudoksen saamaa annosta. (Mody ym. 2021; Nurmi ym. 2013; Siddique & Chow 2020.) IMRT-tekniikan käyttö perustuu käänteiseen hoitosuunnitteluun, jossa aluksi sekä suojeltaville rakenteille ja herkille elimille että kohdealueelle asetetaan annosrajat, jonka jälkeen annoslaskentaohjelma laskee eri hoitokenttien annosintensiteetin ja annoksen optimaalisen jakautumisen kyseisille alueille. (Joensuu ym. 2001; Cho 2018; Vrtovec ym. 2020.) Käänteinen suunnittelu vaatii ammattitaitoa sekä moniammatillista yhteistyötä. Se on usein myös aikaa vievä prosessi monine työvaiheineen. (Wang ym. 2019; Kearney ym. 2018.)

3.4 Sädehoito ja tekoälypohjaiset sovellukset

Yleinen teknologinen kehitys viimeisen vuosisadan ja erityisesti viime vuosikymmenten aikana ovat vaikuttaneet vahvasti myös sädehoidon kehitykseen. Uudet yhä tarkemmat sädehoitotekniikat kuten intensiteettimuokattu hoito (IMRT), kuvantamisohjauksinen sädehoito, stereotaktinen sädehoito ja brakyterapia eli sisäinen sädehoito ovat parantaneet hoitotuloksia merkittävästi samalla vähentäen haittavaikutuksia. (Caudell ym. 2017.) Lisäksi tekoälyn kehittymisen myötä sen sovelluksia on viime vuosina ryhdytty laaja-alaisesti lisäämään myös

lääketieteen eri aloille. Sädehoidon saralla AI-pohjaista teknologiaa ja automaatiota hyödynnetään jo hoidon työkulun useassa eri vaiheessa kuten kuvantamisessa, kudosalueiden rajauksessa, hoitosuunnittelussa, sädehoidon annossa sekä hoitovasteen arvioinnissa. (Siddique & Chow 2020; Wang ym. 2019.)

Sädehoidon kehityksestä huolimatta hoidon suunnittelu on edelleen yksi kompastuskivi sädehoidon kokonaisuudessa. Jotta optimaalinen säteilyannos voitaisiin saavuttaa, hoidon suunnitelma joutuu käymään monella eri ammattilaisella. Ihmisen suorittama hoitosuunnitelman tarkistus on hidasta ja siinä saattaa esiintyä inhimillisiä virheitä ja näkemysten eroavaisuuksia eri ammattilaisten välillä. Mikäli hoidon suunnitteluun käytettyä aikaa yritetään karsia, saattaa se aiheuttaa toivottua huonompaa hoidon tasoa. Hoidon suunnittelun automatisointi syväoppimisen avulla on yksi merkittävimmistä tavoista varmistaa jokaiselle potilaalle paras mahdollinen hoito. (Barragán-Montero ym. 2021.) Tietoon perustuva suunnittelu (Knowledge based planning, KBP) perustuu jo aikaisemmin kerätyn tiedon automaattiseen hyödyntämiseen hoidonsuunnittelussa. Aikaisemmista hoitosuunnitelmista luodaan malli, jota KBP-ohjelmisto hyödyntää ja tuottaa potilaskohtaisen hoitosuunnitelman sen tietojen perusteella (Tol ym. 2015). KBP-ohjelmistoja voidaan esimerkiksi hyödyntää annoshistogrammien ennustamiseen ja näin ohjaamaan hoitoa tehokkaammaksi (Ge & Wu 2019). KBP-ohjelmiston kehittämisen tarve perustuu optimaalisen annoskoon ja annoksen jakauman tavoitteluun ihmisen apuna. (Hunt ym. 2002).

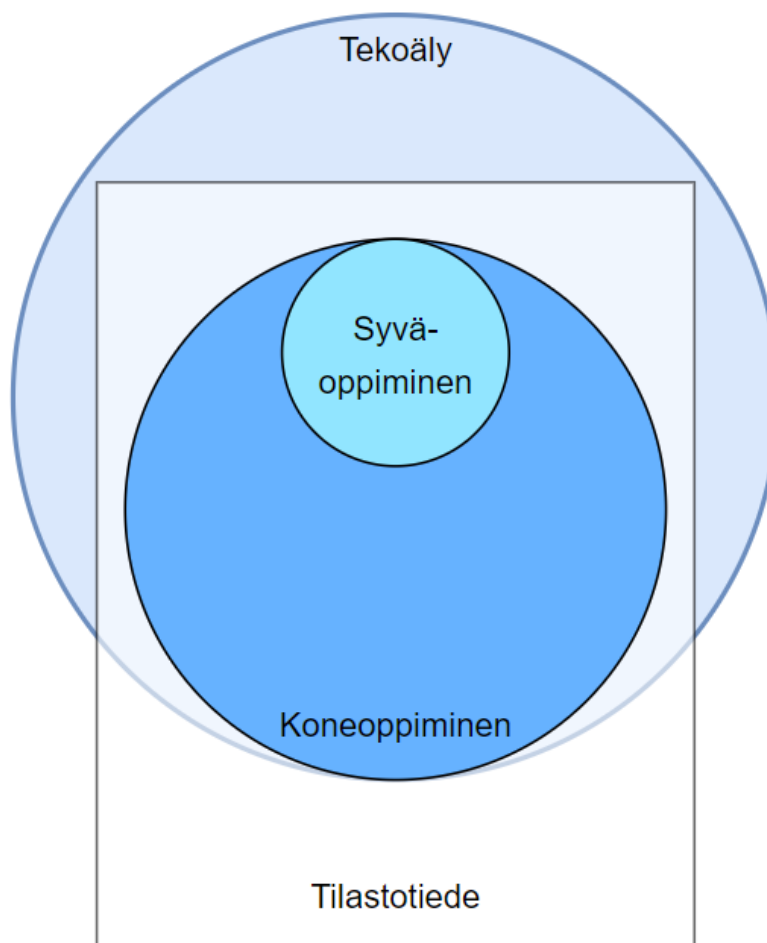
Tietokoneiden tehokkuuden kasvu, algoritmien kehittyminen ja massadatan keräyksen kehittyminen ovat mahdollistaneet monien uusien syväoppimista hyödyntävien sovellusten käytön eri tieteen aloilla, mukaan lukien sädehoidossa (Kosmin ym. 2019). Syväoppimiseen perustuvien algoritmien kehitys on keskitynyt enimmäkseen geometriseen tarkkuuteen tavoiteannoksen ja säteilyherkkien elinten osalta. Kliininen standardi on kuitenkin vielä manuaalinen rajaustavoite annoksille ja säteilyherkille elimille, vaikka se on aikaavievää ja herkkä eroille rajauksen tekijöiden kesken (Meyer ym. 2018). Meyer ym. (2018) osaa kertoa, miten yksi ongelma ovat tämänhetkiset kaupalliset ohjelmistot. Sädehoidossa vaarallisen suuria annoksia säteilyä annetaan 1 tai 2 mm päähän

herkistä elimistä, joten tarkan segmentoinnin tärkeys korostuu tässä. Tällä hetkellä saatavilla olevat kaupalliset automaattiset segmentointiohjelmistot eivät pysty saavuttamaan haluttua segmentointitarkkuutta. Automaattisen segmentoinnin epäluotettavuuden takia onkologit joutuvat tarkistamaan segmentoinnin tuloksen tarkemmin, mikä saattaa kuluttaa tarpeettomasti aikaa. (Meyer ym. 2018.)

3.5 Tekoäly

Tekoäly (Artificial intelligence, AI) voidaan määritellä koneen tai ohjelman kyvyllä jäljitellä ihmisälyä sekä käyttää hyväkseen sitä. Tekoäly voidaan jakaa kahteen alaryhmään sen käytön soveltamisen perusteella: fyysiseen, jota käytetään robotiikassa ja koneautomaatiossa, sekä virtuaaliseen. Virtuaalinen tekoäly voidaan esittää myös koneoppimisena (Machine learning). Sen avulla pystytään luomaan matemaattisia algoritmeja, ja malleja ja se oppii kokemuksen kautta. 2000-luvun alun jälkeen on ollut yhä suurempi halu tuoda tekoälyä lääkinnälliseen tekniikkaan mukaan. Vaikka tekoäly on kerännyt suurta huomiota, on koneoppiminen myös alkanut herättämään kiinnostusta eri tekniikan aloilla. (Rattan ym. 2022.) Koneoppimisen eri algoritmeja ja niiden sovelluksia onkin jo käytössä sädehoidon eri vaiheissa. Erityisesti syväoppimisella (Deep learning) ja sen sovelluksilla esimerkiksi Artificial neural networks (ANN) on lupaava potentiaali hoidon suunnittelun automatisoinnissa sekä annoslaskennassa. (Siddique & Chow. 2020.)

Kuvasta 2 pystytään katsomaan kone- ja syväoppimisen suhde tekoälyyn sekä tilastotieteeseen. Molemmat kone- ja syväoppiminen hyödyntävät palasia sekä tekoälystä että tilastotieteestä. Ihmisen kyky oppia kokemastaan ja keräämään tiedosta on pitkä oppimisprosessi. Sen sijaan tietokone pystyy keräämään ja tallentamaan tietoja algoritmien avulla huomattavasti enemmän ja lyhyemmässä ajassa kuin ihminen.



Kuva 2. Syväoppimisen ja koneoppimisen suhde tekoälyyn.

Koneoppimisen (ML) tekniikat on suunniteltu ymmärtämään ja esittämään matemaattisesti datasta löytyviä samanlaisuuksia. ML-algoritmien kehityksessä onkin tästä syystä tärkeää, että kehittämiseen tarkoitetun datan laatu on tarpeeksi hyvää ja sitä on määrällisesti tarpeeksi iso määrä. ML-mallin rakentaminen perustuu matemaattisten toimintojen optimointiin siten, että tulos vastaa mahdollisimman paljon tosielämää. Malli oppii harjoittelun aikana muuttamalla sen parametrejä harjoitusdataa hyödyntäen. Kun optimaaliset parametrit on valittu, voidaan mallin tehokkuutta arvioida esittelemällä sille testidata. Testidata on samanlaista dataa kuin harjoitusdata. Malli ei kuitenkaan koskaan ole sitä nähnyt. Se voi olla samasta erästä, kun harjoitusdata tai kokonaan eri lähteestä hankittua dataa. (Rattan ym. 2022.)

Tekoälyn kehittymisen ja sen implementoinnin lääketieteeseen mukana herää myös kysymys, milloin tekoälyn käyttö on eettistä ja miten sen käyttö on eettistä. Onko eettistä hyödyntää tekoälyä silloin, kun ihmisen terveys tai jopa henki saattaa olla kyseessä? Tekoälyä jo hyödynnetään auttamaan lääketieteen ammattilaisia tekemään päätöksiä esimerkiksi herkkien elimien rajausten kanssa. Tekoälyn kanssa pitää muistaa, että tekoäly ei ole ihminen vaan ohjelma, joka on ihmisten rakentama ja monitoroima (Geis ym. 2019). Tästä syystä tekoäly ei ota huomioon sen päätösten reiluuutta tai oikeudenmukaisuutta, vaan sen varmistamisen vastuu jää ihmisten harteille. Tekoälyä hyödyntävien tulisi myös osata vastata, miten tekoäly tekee päätökset ja miksi se tekee juuri ne päätökset.

Tekoälyn rakentamiseen vaaditaan mittava määrä dataa, jonka keräys on lääkäreiden ja radiologien vastuulla. Koska dataa kerätään jokaisesta potilaasta, on ehdottoman tärkeää tiedottaa potilaita, mihin ja miten heistä kerättyä dataa käytetään. Oli se sitten tilastoihin tai jonkin tekoälyn sovelluksen kehittämiseen. Hyödyntäessä kerättyä dataa sitä hyödyntävien tulee varmistaa, ettei dataa käytetä niin, että se haittaa hoitotulosta tai vaikuta siihen huonolla tavalla (Geis ym. 2019). Tekoälyä rakentaessa tulee siis varmistaa, ettei data aseta mitään vääristymiä mihinkään suuntaan. Tekoälyä hyödyntävien tulee myös olla tietoinen, minkälaisia ennakoasenteita datassa saattaa esiintyä, vaikka niiden minimoimisesta olisi varmistuttu.

Geis ym. (2019) kasasi kattavan määrän kysymyksiä, mihinkä jokaisen tekoälyn kanssa tekemisissä olevan tulisi osata vastata:

- Mitä koulutusta ja taitoja tarvitaan, jotta voidaan päättää, milloin tekoälyä hyödynnetään potilaan hoitoon ja miten sitä hyödynnetään turvallisesti ja tehokkaasti tarvittaessa?
- Miten varmistamme, että testausdata vastaa tarkasti kliinistä joukkoa?

- Miten monitoroimme jatkuvasti ja aktiivisesti tekoälyyn perustuvia automaattisia ja älykkäitä työkaluja varmistaaksemme niiden oikein toimivuuden kliinisessä asetuksessa?

Näissä muutamissa esimerkeissä esiintyvät suurimmat kysymykset tekoälyn hyödyntämisessä lääketieteessä. Jotta tekoälyä voitaisiin jatkossa hyödyntää kattavammin lääketieteessä, täytyy sen käytön eettisyydestä varmistua, oli kyse sitten potilaan yksityisyydestä, tekoälyn hyödyntämisen todellisesta tarpeesta tai tekoälyn toimivuuden varmistamisesta.

4 Scoping-katsaus menetelmänä

Kirjallisuuskatsaus voidaan ajatella eräänlaiseksi tutkimustyön välineeksi, jossa kiinnostuksen kohteena olevan aihealueen tai asiakokonaisuuden aikaisempaa tutkittua tietoa kootaan yhteen ja muodostetaan näin kokonaiskuva aiheesta. Siinä siis tutkitaan tutkimuksia. Näyttöön perustuvan toiminnan vaatimuksesta ja sen lisääntymisestä kirjallisuuskatsausten määrä on kasvanut nopeasti. Tämä on johtanut lukuisiin erilaisiin lähestymistapoihin ja katsausten moninaiseen terminologiaan, joka vaihtelee tieteenalasta toiseen. (Suhonen ym. 2016: 7–9; Whittemore 2005.) Jopa 14 erilaista kirjallisuuskatsaustyyppiä on pystytty tunnistamaan, ja vaikka jokaisella tyyppillä on omat erityispiirteensä, sisältävät ne kaikki kuitenkin kirjallisuuskatsauksen pääominaisuudet, jotka ovat tiedon kerääminen ja arvioiminen sekä tutkimusnäytön esittäminen (Grant & Booth 2009; Arksey & O'Malley 2005).

Scoping-katsaus on yksi kirjallisuuskatsauksen tyypeistä (Suhonen ym. 2016: 10). Se on kartoittava katsaus, jossa tarkastellaan kaikkea aihealueeseen liittyvää aikaisempaa tutkimustietoa (Arksey ym 2005; Levac ym. 2015).

Scoping-katsaus eroaa muutamalla merkittävällä tavalla systemaattisesta katsauksesta, joka on parhaiten tunnettu kirjallisuuskatsauksen tyyppi. Ensinnäkin systemaattinen katsaus pyrkii tyyppillisesti keskittymään hyvin tarkkaan muotoiltuun tutkimuskysymykseen sekä tarkasti valittuihin menetelmiin ja

menettelytapoihin, kun taas scoping-katsaus keskittyy laajempiin aihekokonaisuuksiin ja tutkimuskysymyksiin vapaammilla menetelmillä. Toiseksi systemaattisessa katsauksessa tutkimukset ovat hyvin tarkkaan rajattuja laatuarvioituja tutkimuksia, mikä ei tavallisesti päde scoping-katsaukseen, sillä tutkimusten laadunarviointia ei välttämättä tarvitse suorittaa. Lisäksi scoping-katsaukseen mukaan otettava kirjallisuus sallii vertaisarvioitujen tutkimusten lisäksi laajemman kirjon erilaista kirjallisuutta, kuten esimerkiksi vielä julkaisematonta tutkimustietoa, ammatillisia artikkeleita tai ohjeistuksia. (Arksey & O'Malley; Granth & Booth 2009; Peters ym. 2020.)

4.1 Scoping-katsauksen ominaispiirteet

Yleisellä tasolla scoping-katsauksen tavoitteena on luoda nopeasti katsaus tutkittavaan aiheeseen sekä tunnistaa sen avainkäsitteet, ilmiöt, keskeiset lähteet ja tiedon luonne (Suhonen ym 2016:11). Se, kuinka perusteellisesti Scoping katsaus pyrkii aihetta kattamaan saatavilla olevan kirjallisuuden perusteella, riippuu pitkälti itse katsauksen tarkoituksesta (Arksey & O'Malley 2005). Arksey & O'Malleyn (2005) mukaan Scoping-katsauksen tekeminen voisi olla perusteltua ainakin seuraavissa neljässä tapauksessa:

1. Kun halutaan tutkimuksen määrän, laadun ja luonteen kuvaamiseksi karottaata tutkimuskohdetta laaja-alaisesti esimerkiksi ennen systemaattista katsausta.
2. Varsinaisen systemaattisen katsauksen tarpeen määrittämiseksi: onko systemaattinen katsaus ylipäänsä mahdollinen riittävän kirjallisuuden puolesta ja onko aikaisempia systemaattisia katsauksia aiheesta jo tehty.
3. Tutkimustulosten yhteenvedon ja synteessin määrittämiseksi ja välittämiseksi jatkokäyttäjille, kuten tutkijoille ja päätöksentekijöille.
4. Olemassa olevan kirjallisuuden puutteiden tunnistamiseksi. Katsauksessa tehdään johtopäätöksiä olemassa olevasta tutkimustiedosta koskien koko tutkimusaluetta.

Kuten kaikkien kirjallisuuskatsausten myös scoping-katsauksen tekoprosessi sisältää tietyt ennalta määritellyt vaiheet eli niin sanotun suunnitteluprotokollan, jonka mukaan edetään kohti katsauksen raporttia (Peters ym. 2020). Scoping-katsauksen alkuperäisen metodologisen viitekehyksen esittäneet Arksey & O'Malley (2005) laativat scoping-katsauksen työprosessiin viisivaiheisen protokollan, joka esitetään kuvassa 3 ja käydään tarkemmin tarkastellen läpi seuraavissa alaluvuissa. Näiden viiden vaiheen lisäksi on mahdollista suorittaa vapaaehtoisena kuudentena vaiheena konsultointi, joka tarkoittaa esiin nousseiden havaintojen jakamista sidosryhmien kanssa (Levac ym. 2010). Tämä lisää Levac ym. (2010) mukaan tutkimuksen metodologista tarkkuutta. Alkuperäistä protokollaa ja sen vaiheita on sittemmin kehitetty tarkempaan ja helpommin noudatettavaan muotoon (Arksey & O'Malley 2005; Levac ym 2010; Peters ym. 2020).

Katsauksen toteuttaminen vaatii kurinalaisuutta, täsmällisyyttä ja tieteen periaatteiden noudattamista. Jokainen tekoprosessin vaihe tulisi dokumentoida niin yksityiskohtaisesti, että tutkimus olisi toistettavissa muiden toimesta. Tällainen systemaattinen ja tarkka vaiheiden kuvaus lisää katsauksen luotettavuutta ja läpinäkyvyyttä. Lisäksi lukija pystyy helposti arvioimaan eri vaiheiden toteutustapaa. (Holopainen ym. 2008; Niela-Vilén & Hamari 2016: 23–25.)



Kuva 3. Scoping-katsauksen vaiheet (Arksey & O'Malley 2005; Levac ym. 2010).

Tämän opinnäytetyön tuotoksena syntynyt Scoping-katsaus pyrki tarkastelemaan vertaisarvioitujen tutkimusten perusteella, mitä pään ja kaulan alueen syövän sädehoidon suunnittelusta ja annosoptimoinnista tekoälypohjaisia sovelluksia hyödyntäen oikeastaan tiedetään, onko tutkimusta aiheen ympäriltä runsaasti sekä vetämään yhteen kerätyn tiedon. Katsauksen teko eteni vaihe vaiheelta -protokollan mukaisesti ja kaikki vaiheet huolellisesti dokumentoiden kohti lopullista scoping-katsaus-artikkelia.

4.2 Tutkimuskysymyksen ja katsauksen tarkoituksen määrittäminen

Ensimmäinen vaihe ja lähtökohta katsauksen tekemiselle on tutkimuskysymyksen määrittäminen. Scoping-katsaukselle luonteenomaista ovat laajat tutkimuskysymykset, sillä tämän katsaustyyppin painopiste on suurelta osin tiedon yhteen kokoamisessa. (Arksey & O'Malley 2005.) Tutkimuskysymys tulee kuitenkin olla hyvin jäsennelty, aiheeseen nähden relevantti ja siihen on pystyttävä vastaamaan kirjallisuuden perusteella (Levac ym. 2010; Niela-Vilén & Hamari 2016: 24). Tutkimuskysymyksen määrittämisen apuna voidaan käyttää yleisesti tunnettua PICO (Population, Intervention, Comparison, Outcome) -mallia. Myös PICo (Population, Intervention, Context) tai erityisesti scoping-katsaukselle sopivat PCC (Population, Concept, Context) -mallit sopivat kysymyksen muotoiluun. Tätä samaa metodologia tulisi yhdenmukaisuuden vuoksi hyödyntää myös hakuprotokollan sisäänottokriteereissä sekä otsikoinnissa. Kysymyksiä voi olla yksi tai useampia. Tavallisesti scoping-katsauksessa pyritään yhteen päätutkimuskysymykseen, mutta toisinaan pääkysymys saattaa hyötyä yhdestä tai useammasta lisäkysymyksestä. (Peters ym. 2022.)

Katsauksen tarkoituksen määrittäminen kuuluu myös ensimmäiseen vaiheeseen. Sekä tutkimuskysymyksen että tarkoituksen laatiminen heti alkuvaiheessa antavat selkeän suunnan prosessille ja helpottavat myöhempien vaiheiden toteuttamista kuten kirjallisuushakua ja aineiston valintaa. (Niela-Vilén & Hamari 2016: 24; Arksey & O'Malley 2005; Levac ym. 2010.)

Tämä scoping-katsaus lähti liikkeelle alkuvuodesta 2021 aiheeseen liittyvään kirjallisuuteen tutustumalla. Tutkimuskysymyksiä sekä katsauksen tarkoitusta alettiin pohtia loppukevään 2021 aikana, kun lisää ymmärrystä aiheesta kertyi. Tutkimuskysymykset vielä muokkaantuivat muutamaan otteeseen kevään ja syksyn 2021 aikana lopulliseen muotoonsa. Katsauksen tutkimuskysymykset: ”Miten tekoälyä voidaan hyödyntää sädehoidon suunnittelussa?” sekä ”Mitkä ovat tekoälyn käytön mahdollisuudet annosoptimoinnissa sädehoidon suunnitteluvaiheessa?” on esitelty aikaisemmin luvussa 2. Tässä yhteydessä ne on

jäsennelty PICO-mallin mukaan (taulukot 1 ja 2). Lisäksi tämän scoping-katsauksen tarkoitus on esitelty luvussa 2.

Taulukko 1. Päättökysymys PICo-mallin mukaisesti.

<i>PICo 1</i>	
Population:	<i>Pään ja kaulan alueen sädehoitopotilaat</i>
Intervention:	<i>Tekoäly</i>
Context:	<i>Sädehoidon suunnittelu</i>

Taulukko 2. Lisätutkimuskysymys PICO-mallin mukaisesti.

<i>PICO 2</i>	
Population:	<i>Pään ja kaulan alueen sädehoitopotilaat</i>
Intervention:	<i>Tekoäly</i>
Context:	<i>Sädehoidon suunnittelu</i>
Outcome:	<i>Annosoptimointi</i>

4.3 Kirjallisuushaku

Protokollan toisessa vaiheessa suoritetaan kirjallisuushaku. Ennen kirjallisuushakua tulisi kuitenkin määrittää kriteerit, joiden mukaan tietoa kerätään eli niin sanotut mukaan- ja poissulkukriteerit. Tämä on olennainen osa hakuprotokollaa, jolla lisäksi varmistetaan katsauksen fokuksen säilyminen aiheessa. Mukaanotokriteereiden tulisi olla linjassa tutkimuskysymyksen kanssa ja ne tulisi rajata aiemmin esitetyn PICO-mallin mukaan. Lisäksi mukaan- ja poissulkukriteereihin tulisi määrittää kieli- ja aikarajaukset sekä millaista kirjallisuutta katsaukseen halutaan sisällyttää. (Peters ym. 2020.)

Jotta kirjallisuushaku olisi systemaattinen sekä mahdollisimman kattava, tarvitaan erityinen hakustrategia. Tämä vaihe on kriittinen myös koko katsauksen luotettavuuden kannalta, sillä tässä vaiheessa tehdyt virheet saattavat johtaa vääristyneisiin johtopäätöksiin. (Peters ym. 2020; Niela-Vilén & Hamari 2016: 25; Whitemore 2005.) Toteutettavan kirjallisuuskatsauksen tyypistä riippuu,

kuinka systemaattinen hakustrategian tulee olla (Grant & Booth 2009). Joanna Briggs -instituutin julkaiseman scoping-katsaus-protokollan mukaan kirjallisuushaussa tulisi käyttää kolmen vaiheen hakustrategiaa: ensimmäinen rajattu haku vähintään kahdesta aiheeseen sopivasta ja asianmukaisesta tietokannasta, toinen haku kaikista mukaan otettavissa tietokannoissa ensimmäisessä vaiheessa määritetyillä hakusanoilla ja -lausekkeilla sekä kolmannessa vaiheessa manuaalinen haku koko tekstin perusteella valittujen tai lopulliseen aineistoon mukaan valikoitujen artikkeleiden lähdeluettelosta. (Peters ym. 2020.)

Vaikka scoping-katsauksen kirjallisuushaku on systemaattinen ja noudattaa tiettyjä vaiheita, voi se samalla olla myös iteratiivinen, sillä mitä enemmän tutkittavaan aiheeseen perehtyy, sitä enemmän uutta termistöä ja avainsanoja löytyy, jotka puolestaan muokkaavat hakua, jolloin hakustrategian työvaiheita joudutaan toistamaan. Oleellista kuitenkin on, että mahdolliset hakuun tehdyt muutokset dokumentoidaan huolellisesti ja tuodaan esiin katsauksen raportissa, jotta tutkimuksen luotettavuus ja läpinäkyvyys säilyvät. (Peters ym 2020.) Huomioitavaa on myös, ettei hakuprosessia saada ikinä täydelliseksi ja siinä tehdyt päätökset esimerkiksi haun rajoitusten suhteen saattavat johtaa virhepäätelmiin tai julkaisuharhoihin (CRD 2008; Niela- Vilen & Hamari 2016: 27).

Tämän katsauksen hakustrategiaa aloitettiin luomaan heti, kun alustavat tutkimuskysymykset olivat valmiina. Mukaan- ja poissulkukriteerit olivat melko selkeät alusta alkaen, mutta muokkaantuivat muutamien kriteereiden osalta hakuprosessin edetessä sekä vielä aineiston luokittelu- ja kartoittamisvaiheessa. Kriteerit esitetään tarkemmin taulukossa 3. Kartoitettavia ensimmäisiä testihakuja Pubmed- ja ScienceDirect -tietokantoihin ryhdyttiin tekemään loppukeväästä 2021. Kun erilaiset käsitteet olivat tulleet tutuiksi, hakusanoja muotoiltiin eri kombinaatioin hakulausekkeiksi ja niitä kokeiltiin tietokantoihin. Tulokset olivat hyvin vaihtelevia niin lukumäärältään kuin sisällöltäänkin, ja vain pieni osa hakutuloksista vastasi tutkimuskysymyksiin. Hakusanoja ja -lausekkeita muokattiin Metropolian kirjaston informaattikon avustamana. Testihakuja tehdessä sekä hakulausekkeita muokattaessa kävi selväksi, että aiheeseen vahvasti liittyvät avainsanat "organs-at-risk" tai "OAR" tulisi jättää pois varsinaisesta

hakulausekkeesta, sillä se rajasi liikaa tuloksia ja olisi saattanut karsia pois potentiaalisia artikkeleita. Haku rajattiin koskemaan vuonna 2015 ja sen jälkeen julkaistuja artikkeleita, sillä aihepiiri on nopeasti kehittyvä ja mukaan haluttiin tuoretta tutkimustietoa tekoälyn käytöstä sädehoidon suunnittelussa. Lisäksi on huomioitava, että kielirajaus asetettiin koskemaan ainoastaan englanninkielisiä artikkeleita ja näin ollen jotakin potentiaalista aineistoa saattoi jäädä tutkimuksen ulkopuolelle. Lisäksi haku rajattiin ainoastaan vertaisarvioituihin tutkimuksiin, sillä katsaukseen haluttiin mukaan mahdollisimman laadukkaita tutkimuksia, eikä muunlainen kirjallisuus olisi vastannut katsauksessa asetettuihin tavoitteisiin riittäväällä tavalla.

Aineiston varsinainen haku suoritettiin loka-marraskuussa 2021 Pubmed-, Science Direct-, CINAHL-, Ovid- ja ProQuest -tietokantoihin. Hakusanat kaikissa tietokannoissa olivat: "artificial intelligence OR machine learning OR deep learning AND radiotherapy OR radiation therapy AND radiation dose AND head and neck cancer OR HNC".

Taulukko 3. Artikkelien mukaanotto- ja poissulkukriteerit.

MUKAANOTTOKRITERIT	POISSULKUKRITERIT
<ul style="list-style-type: none"> • Vastaa tutkimuskysymyksiin • (P) Kaikentyypiset sekä kaikenikäiset pään ja kaulan alueen syövät ja syöpäpotilaat • (I) Käytettävä sovellus tekoälypohjainen • (C) Konteksti sädehoidon suunnittelussa • (O) Vaikutukset sädeannokseen • Julkaistu 2015–2021 • Vertaisarvioitu tutkimus • englanninkielinen 	<ul style="list-style-type: none"> • Ei vastaa tutkimuskysymyksiin • Tutkimuksen pääfokus oli muussa kuin annostarkastelussa esimerkiksi työnkulun tehostamisessa • Tutkimuksen pääasiallinen käytetty teknologia oli jokin muu kuin tekoälypohjainen.

4.4 Aineiston valinta

Lopullisen kirjallisuushaun jälkeen tuloksena on suuri joukko tutkimuksia, joiden joukosta lopullinen katsaukseen tuleva aineisto valitaan. Jotta vältetään liian suurelta määrältä tutkimuksia, jotka eivät sovellu katsaukseen, olisi erityisen tärkeää, että protokollan edelliset vaiheet on tehty huolellisesti: aiheeseen liittyvät keskeiset käsitteet on tunnistettu ja hakuun liittyvät rajaukset tarkkaan määritetty. (Peters ym 2020; Niela-Vilen & Hamari 2016.)

Aineiston valinta etenee ensin otsikko- ja tiivistelmätasoa tarkastellen, jonka jälkeen lopulliset tutkimukseen mukaan otettavat tutkimukset valitaan koko tekstin perusteella. Valintaa ohjaavat aiemmin määritetyt mukaan- ja poissulkukriteerit. Aineiston valinnassa tulisi käyttää vähintään kahta tutkijaa, ja koko prosessi vaiheineen tulisi dokumentoida. Myös ratkaisut tutkijoiden näkemyserojen ristiriitailanteista tulisi selkeästi kuvata. Koko valintaprosessi tulisi esittää prosessikaaviolla, joka on selkeä ja informatiivinen tapa kuvata aineiston haun etenemistä (Peters ym. 2020; CRD 2008.) Tähän katsaukseen liittyvä artikkelien valintaprosessiprosessikaavio löytyy taulukosta 4.

Taulukko 4. Artikkelien valintaprosessi.

	tulosten määrä (n)	Otsikon perusteella valitut	Duplikaattien poiston jälkeen (n)	Luettu tiivistelmä tasolla (n)	Luettu koko tekstin tasolla (n)	Viimeinen valinta (n)	Valittu arvioinnissa (n)
Pubmed	89	61	61	61	20	9	8
Cinahl	6	6	0	0	0	0	0
Science Direct	124	13	13	7	7	3	2
Ovid (complete)	176	24	0	0	0	0	0
Proquest	69	0	0	0	0	0	0
Yhteensä	464	104	68	68	27	12	10

Kirjallisuushaun tuloksena saatiin yhteensä kaikista viidestä tietokannasta 464 osumaa. Tämän jälkeen alkoi aineiston valintaprosessi, jossa julkaisuja karsittiin pois vaihe vaiheelta. Artikkelit käytiin läpi ensin otsikkotasolla, joista tuli ilmetä jotenkin seuraavat asiat: pään ja kaulan alueen syövän sädehoitosädehoitosädehoitosädehoito, jokin tapa optimoida annosta sekä tekoäly, syväoppiminen, koneoppiminen tai niiden alakategoria. Taulukosta 4 nähdään, kuinka artikkeleiden määrä jakautui eri tietokantojen välille. Koska Pubmed oli ensimmäinen tietokanta, sen tuloksia käytettiin duplikaattien etsimiseen ja poistamiseen tuloksista. Duplikaattien poisto suoritettiin manuaalisesti tietokannan tuloksia

vertaamalla. Ensimmäisen vaiheen ja duplikaattien poiston jälkeen artikkeleita, jotka siirtyivät toiseen vaiheeseen, oli 68, joten artikkeleita karsittiin pois ensimmäisessä vaiheessa yhteensä 396 kappaletta.

Julkaisujen karsiminen tiivistelmän perusteella oli seuraava vaihe. Tiivistelmässä tuli ilmetä samat asiat kuin otsikosta ja lisäksi jo otsikossa ilmenneitä kriteereitä tuli tarkentaa, kuten miten annosta optimoidaan. Mikäli tiivistelmässä mainittiin menetelmä, jolla on mahdollista parantaa annosoptimointia, valittiin se seuraavaan vaiheeseen. Toisessa vaiheessa artikkeleita karsittiin 41 kappaletta ja kolmanteen vaiheeseen siirtyi 27 artikkelia. Valintaprosessin kolmannessa ja viimeisessä vaiheessa karsiminen tapahtui koko teksti läpi käyden ja valinnassa käytettiin samoja kriteerejä kuin kahdessa ensimmäisessä vaiheessa: niiden tuli selkeästi vastata tutkimuskysymyksiin ja olla PICO-kriteerien mukaiset. Koko tekstiä lukiessa huomattiin, että osassa tutkimuksista pääfokus keskittyy johonkin muuhun kuin annoksen tarkasteluun ja optimointiin, esimerkiksi työnkulun tehostamiseen ja näin ollen tällaiset artikkelit karsittiin. Lisäksi muutamassa tutkimuksessa käytetty teknologia oli jotakin muuta kuin tekoälypohjaista, joten tällaiset artikkelit jätettiin myös katsausaineiston ulkopuolelle. Kaiken kaikkiaan tämä vaihe karsi 15 kappaletta julkaisuja ja lopullisen valintaseulan läpäisivät yhteensä 12 artikkelia.

Koko aineiston valintaprosessin suoritti kaksi opinnäytetyöntekijää. Jokaisella valintakierroksella artikkeleiden valinnat tehtiin kummankin katsauksen tekijän toimesta itsenäisesti, jonka jälkeen valittuja artikkeleita verrattiin keskenään. Ainoastaan muutama tutkimus aiheutti eriäviä mielipiteitä sen soveltuvuudesta aineistoon. Tällaiset ristiriitatilanteet ratkaistiin yhteisymmärryksessä keskustelun, tutkimuskysymysten sekä mukaan- ja poissulkukriteerien avustamana.

Aineiston karsimisen jälkeen suoritettiin vielä edellisen vaiheen hakuprosessin manuaalinen haku jäljelle jääneiden 12 artikkelin lähdeluettelon perusteella. Manuaalisen haun perusteella ei kuitenkaan löytynyt yhtään uutta kriteerejä täyttävää tutkimusta.

4.5 Tutkimusaineiston käsittely

Scoping-katsauksissa tutkimusaineiston käsittelyä voidaan kuvata myös termillä ”aineiston kartoittaminen”, joka kuvaa katsaukseen mukaan otettujen tutkimusten pääkohtien jaottelua ja taulukointia. Jo protokollavaiheessa aineistosta olisi hyvä laatia taulukko, jota päivitetään ja muokataan prosessin edetessä ja esitetään katsauksen raportissa. Esimerkiksi seuraavat keskeiset tiedot tutkimuksista voidaan koota taulukkoon: tekijä(t), julkaisuvuosi, alkuperämaa, tutkimuksen tavoite/tarkoitus, käytetty metodologia/menetelmät sekä tutkimuksen keskeiset tulokset, jotka vastaavat tutkimuskysymykseen. (Arksey & O’Malley 2005; Peters ym 2020.)

Tämän scoping-katsauksen 12 artikkelia luokiteltiin taulukkotyökalua apuna käyttäen ja niistä kerättiin katsauksen kannalta seuraavat oleelliset pääkohdat:

- kirjoittaja(t), julkaisuvuosi ja maa
- tutkimuksen tavoitteet
- tietoaaineisto
- tutkimuksessa hyödynnetty tekoälyteknologia
- menetelmät
- keskeiset tulokset.

Tietoja kerättiin melko yleisellä tasolla eikä tutkimusten yksityiskohtiin menty tässä vaiheessa. Taulukointivaiheessa huomattiin, että mukaan valituista tutkimuksista kaksi ei vastannut selkeästi tutkimuskysymyksiin eikä sopinut teknologiansa puolesta mukaan lopulliseen aineistoon, joten ne päätettiin poistaa aineistosta. Lopulliseen tutkimusaineistoon jäi siis yhteensä kymmenen artikkelia.

4.6 Tulosten analysointi ja raportointi

Protokollan viides ja viimeinen vaihe sisältää tutkimusaineiston yhteen vetämisen, sen esittämisen ja raportoinnin lopullisessa muodossa (Niela-Vilen & Hamari 2016). Scoping-katsauksessa ei pyritä samalla tavoin tulkitsemaan ja muodostamaan aineiston tuloksista synteesiä kuten esimerkiksi systemaattisessa

katsauksessa, vaan luomaan yleiskatsauksen tutkittavasta aiheesta ja vetämään yhteen tutkimusaineiston pääkohdat (Arksey & O'Malley 2005; Peters ym. 2020). Levac ym. (2010) esittää tämän viidennen vaiheen pilkkomista aineiston analysointiin, tulosten raportointiin sekä tulosten hyödyntämismahdollisuuksiin selkeyden ja johdonmukaisuuden vuoksi (Levac ym. 2010).

Joanna Briggs -instituutin (2020) mukaan scoping-katsauksen analysointi voi tapahtua monella tapaa, mutta se riippuu ennen kaikkea katsauksen tarkoituksesta sekä katsauksen kirjoittajan omasta arviosta. Useimpien scoping-katsausten kohdalla on riittävää tarkastella esimerkiksi käsitteiden, kohderyhmien, tiettyjen ominaisuuksien tai muun tiedon esiintymistiheyttä. On myös mahdollista tarkastella tuloksia kvalitatiivisella sisällönanalyysillä, joka scoping katsauksissa tulisi olla luonteeltaan kuvaileva (Peters ym. 2020.)

Tutkimustulokset tulee esittää selkeällä ja ymmärrettävällä tavalla ja niiden tulisi olla linjassa katsauksen tarkoituksen kanssa. Katsauksen tekijät voivat oman harkintakykynsä mukaan päättää, kuinka tulokset esitetään ja sitä tulisikin pohdita jo katsauksen suunnitelmavaiheessa. Esittämistapoina voidaan käyttää esimerkiksi taulukoita, kaavioita tai kuvioita (Levac ym 2010; Peters ym 2020).

Tämän scoping-katsauksen raportissa aineisto esitettiin taulukkomuodossa. Jo aineiston kartoittamisvaiheessa luotua taulukkoa muokattiin selkeämmäksi ja artikkelit jaoteltiin käytetyn tekoälyä hyödyntävän metodin mukaan kolmeen kategoriaan:

- automaattinen segmentaatio
- automaattinen hoidon suunnittelu
- annosennustaminen.

Näin ollen lukijan olisi helpompi tarkastella taulukon tietoja. Myös tutkimusten tulokset analysoitiin katsauksessa saman kategorisoinnin mukaisesti ja yksittäisten artikkelien tarkka tulosten tarkastelu jätettiin pois; vain yksittäisiä esimerkkejä poimittiin tutkimuksista. Pyrkimyksenä oli luoda yleiskatsaus katsauksen valitun aineiston perusteella ja saada vastaukset tutkimuskysymyksiin.

Koko aineiston hakuprosessi suoritettiin scoping-protokollan mukaisesti ja kaikki vaiheet dokumentoitiin. Oikeiden hakutermien varmistamiseksi koehakuja erilla silla hakusanoilla ja niiden eri kombinaatioilla tehtiin lukuisia kertoja. Kummalla-kaan tekijöistä ei ollut ennakoasenteita tutkittavaa aineistoa kohtaan, mikä olisi vaikuttanut valintoihin tai ohjannut valintaprosessia tiettyyn suuntaan. Mukaan haluttiin ainoastaan vertaisarvioituja tutkimuksia ja näin ollen esimerkiksi har- maata kirjallisuutta ei hyväksytty aineistoon. Lisäksi valittujen 12 artikkelin läh- deviihteet käytiin manuaalisesti läpi mahdollisten lisätutkimusten löytämiseksi.

5 Scoping-katsaus

Tämän opinnäytetyön tuotoksena syntynyt englanninkielinen scoping-katsaus- artikkeli *The importance of dose optimization in head and neck cancer radiothe- rapy treatment planning: A scoping review* – Ahervo H; Korhonen J; Lim S; Wong J; Soini M; Metsälä E on tarkoitus julkaista kansainvälisessä *Radiography* -lehdessä. Artikkelin kirjoituksessa käytettiin kyseisen lehden antamia tiukkoja kriteereitä (*Radiography* 2022). Yleisesti artikkelin rakenne etenee scoping-kat- saus-protokollan mukaisesti seuraavanlaisesti: otsikko, tiivistelmä, johdanto, metodit, tulokset ja yhteenveto (Peters ym. 2020). Johdanto-kappaleessa käy- dään läpi sädehoidon käyttöä pään ja kaulan alueen syövässä, tekoälyn hyö- dyntämistä sädehoidossa sekä artikkelin tavoite ja tarkoitus. Metodit-luvussa kuvaillaan artikkelien hakuprosessia, artikkelien valintakriteereitä, miten valitut artikkelit valittiin ja miten ne taulukoitiin. Toisin kuin systemaattisessa katsauk- sessa, ei scoping-katsauksessa tarvitse tuoda ilmi valittujen artikkeleiden laa- dunarviointia (Peters ym. 2015; Munn ym. 2018). Tulokset käydään läpi tarkas- tellen kolmea kategoriaa: automaattista segmentointia, automaattista hoidon suunnittelua ja annosennustamista.

5.1 Artikkelin elinkaari

Scoping katsauksen prosessi alkoi vuoden 2021 keväällä. Prosessin ensimmäi- sen vaiheena oli aiheen valinta sekä tutkimuskysymyksien hahmottaminen ja suunnitelman luonti. Prosessin seuraava vaihe oli hakuvirkkeen luonti.

Hakuvirkettä muokattiin useaan kertaan, jotta löydettiin virke, joka mahdollisimman hyvin vastaa tutkimuskysymyksiin ja samalla tuottaa mahdollisimman laajan otannan. Testihakuja suoritettiin valituissa tietokannoissa tämän saavuttamiseksi. Metropolian kirjaston informaattikkoja hyödynnettiin tässä vaiheessa. Tällä pystyttiin löytämään mahdolliset virheet hakuvirkkeestä ja varmistamaan, että jokaisen tietokannan virkkeen syntaksi on oikea siihen tietokantaan. Kun hakuvirke oli hiottu lopulliseksi, pystyttiin siirtymään artikkelien keräämiseen. Artikkelien haku tehtiin yhden viikon aikana marraskuussa 2021. Artikkelien haku tuotti viidestä eri tietokannasta kaiken kaikkiaan 456 tulosta, joista duplikaattien poiston jälkeen sekä otsikko-tiivistelmä että koko tekstin tarkastelun sekä vielä taulukointivaiheessa karsittiin julkaisut kymmeneen artikkeliin, jotka läpäisivät hakukriteerit ja jotka ovat tämän scoping katsauksen aineisto. Näistä mukaan valituista tutkimuksista neljä käsitteli automaattista segmentointia, neljä automaattista hoitosuunnittelua ja vain kaksi annosennustamista. Sen vuoksi myös tulosten analysointi keskittyi ensisijaisesti kahteen ensimmäiseen teemaan. Mukaan otetut tutkimuksen on julkaistu vuosien 2017–2021 välillä, joista kuusi vuonna 2020 tai 2021. Tästä voidaan päätellä aihealueen lähiaikainen kiinnostus ja, että sen ympärillä tehdään tutkimusta jatkuvasti. Kymmenestä artikkelista kuusi on julkaistu Pohjois-Amerikassa, kaksi Euroopassa ja kaksi kahden eri maanosan yhteistyönä. Katsaukseen valitut artikkelit olivat kaikki vertaisarvioituja. Artikkelien valinnan jälkeen pystyttiin aloittamaan tulosten tarkastelu, analysointi ja koonti scoping-katsausta varten ja ne luokiteltiin aiemmin esitettyjen teemojen mukaisesti. Artikkelit taulukoitiin yhteen Google Sheets -taulukkoon, jossa esille tuodaan lähde ja maa, tutkimuksen tavoite, tietoaineisto, käytetty teknologia, metodi(t) ja päätulokset.

Tällä hetkellä artikkeli on käsikirjoitusvaiheessa ja sen liittäminen tähän opin- näytetyöhön estäisi artikkelin julkaisun Radiography-lehdessä. Samasta syystä myös artikkelin tulokset käydään vain yleistasolla läpi eikä tuloksista tuoda esille sen tarkemmin yksittäisiä tuloksia.

5.2 Tulokset

Artikkelien tuloksia läpikäydessä pystyttiin havainnoimaan, ettei teknologia vielä ole siinä vaiheessa, että se pystyisi korvaamaan ihmistä sädehoidon prosessissa. Tutkimuksissa pystyttiin kuitenkin tuomaan esille tuloksia, jotka olivat verrattavissa nykyiseen kliiniseen käytäntöön tehokkuutta ja annoskokoa tarkasteltaessa sen optimoinnin kannalta. Tutkimuksista ei erotu teknologiaa tai metodia, joka olisi merkittävästi parempi tai huonompi kuin nykyinen kliininen käytäntö. Merkittävimmät tulokset kuitenkin pystyttiin toteamaan metodeista, joissa tekoälyä hyödynnettiin päätöksen tukemisessa, eli pyrittiin niin sanottuun hybridimalliin (Sher ym. 2021). Tässä ihminen pystyy tukeutumaan tekoälyn tehokkuuteen ja päätöksentekokykyyn ja perustaa päätöksensä siihen. Esimerkiksi automaattisen segmentoinnin kohdalla tekoälyllä voidaan rajata pois säteilyherkät elimet, jotka eivät ole vaarassa sädehoidon aikana. Näin hoitosuunnitelman laatija pystyy tehokkaammin keskittymään niihin säteilyherkkiin elimiin, jotka ovat kohdealueen läheisyydessä. (Chen ym. 2021.) Automaattisessa hoidon suunnittelussa tekoälyllä pystyttiin toteamaan, että joskus tekoälyn tekemä hoitosuunnitelma on liian kompleksinen kliiniseen asetukseen, eikä sitä olisi mahdollista toteuttaa. Tekoälyä kuitenkin pystyttiin hyödyntämään ihmisen apuna päätöksen tukijana. (Babier ym. 2018.) Tulosten perusteella voidaan todeta, että etenkin automaattiseen segmentointiin ja automaattiseen hoidon suunnitteluun tekoälystä voisi olla suurta hyötyä, mutta se vaatii vielä lisää tutkimustietoa ennen kuin sitä voidaan täysin itsenäisesti hyödyntää niissä.

6 Pohdinta

Tässä opinnäytetyössä tutkittiin tekoälyn käytön mahdollisuuksia pään ja kaulan alueen syövän sädehoidon suunnittelussa annosoptimoinnin kannalta katsottuna. Opinnäytetyön tuotos toteutettiin scoping katsauksena, joka pyrkii tutkimuksen kohteena olevan aihealueen laaja-alaiseen kartoittamiseen ja tiedon yhteenvetämiseen.

Scoping-katsauksen tavoitteena oli oppia ymmärtämään, missä pään ja kaulan alueen sädehoidon hoitosuunnittelun vaiheissa tekoälyä jo käytetään ja miten sitä voidaan tulevaisuudessa hyödyntää sekä millainen vaikutus sillä on annosoptimointiin. Aihealue itsessään oli kiinnostava, sillä tekoäly on nopeasti kasvava teknologian haara, ja sen eri sovellukset ovat ulottuneet myös lääketieteen eri aloille kasvavalla tahdilla. Vaikka tutkimustietoa tekoälyn hyödyntämisestä sädehoidossa on jo laajasti saatavilla, vaikutti se olevan melko hajanaista, sillä erilaisia tekoälyä soveltavia menetelmiä on lukuisia ja niitä kehitetään jatkuvasti lisää. Tämän työn aiheen taustatutkimusta tehdessä huomattiin, että erityisesti hoitosuunnitteluun keskittyviä kokoavia katsauksia oli vähemmän saatavilla. Lisäksi aihe päätettiin koskemaan ainoastaan pään ja kaulan aluetta sen monimuotoisen anatomisen rakenteen ja sitä kautta haastavan hoitosuunnittelun vuoksi.

Tämän opinnäytetyön tavoitteet erosivat itse katsauksen tavoitteista. Opinnäytetyön ensisijainen tavoite oli perehtyä tieteellisen artikkelin kirjoittamisprosessiin ja työstää aiheesta englanninkielinen julkaisukelpoinen artikkeli scoping-katsaus-protokollan mukaisesti ja toiseksi perehtyä katsauksen aiheeseen laajemmassa mittakaavassa mitä scoping katsauksen raportissa oli mahdollista perehtyä.

Scoping-katsauksen tekeminen sujui suunnitteluvaiheen pienten ryhmä- ja aikataulumuutosten jälkeen suunnitellulla tavalla, vaikka aikataulu venyi suunnitellusta, saatiin artikkelin englanninkielinen käsikirjoitus valmiiksi ja se on tarkoitus saada julkaistua englanninkielisessä Radiography-lehdessä. Katsaus kuten opinnäytetyökin työstettiin kahden tekijän toimesta: yksi röntgenhoitajaopiskelija radiografia ja sädehoidon tutkinto-ohjelmasta sekä yksi hyvinvointi- ja terveysteknologian opiskelija tieto- ja viestintätekniiikan tutkinto-ohjelmasta. Lisäksi Scoping-katsauksen suunnitteluvaiheeseen osallistui yksi röntgenhoitajaopiskelija sekä katsauksen artikkelin rakenteen ja kielellisen sujuvuuden muokkaamiseen yksi SIT:n opiskelija. Myös kaksi ohjaavaa opettajaa oli koko prosessin ajan tiiviisti opastamassa työn toteutuksessa.

Ennen tätä projektia kumpikaan opinnäytetyöntekijöistä ei ollut aikaisemmin kirjoittanut tieteellistä artikkelia, eikä sen työkulku ollut entuudestaan tuttua. Prosessi oli työläs, sillä samaan aikaan oli edistettävä sekä opinnäytetyötä että englanninkielistä katsauksen artikkelia. Lisäksi valittu aihe koettiin melko haastavaksi: aiheessa yhdistyivät niin pään ja kaulan alueen syöpä, sädehoito ja sen eri vaiheet sekä tekoäly ja sen eri alakäsitteet. Myös uusia käsitteitä aihealueen ympäriltä oli valtava määrä. Aihe ja tutkimuskysymykset saatiin kuitenkin rajattua jo alussa melko tarkasti, ja ne vain tarkentuivat hieman prosessin edetessä, kun enemmän tietoa aiheesta kertyi. Näin ollen tekijöillä oli selkeä käsitys työn etenemisestä ja lopputuloksesta koko prosessin ajan. Lisäksi kummallakin tekijällä oli omat vahvuutensa tämän työn aiheisiin liittyen, mikä helpotti tätä prosessia. Kirjoittamistyöt jaettiin pääasiassa omaan alaan liittyen niin, että röntgenhoitajaopiskelija keskittyi enemmän työn sädehoito-osaan ja terveysteknologiaopiskelija enemmän tekoäly aiheeseen. Tietoa ja ymmärrystä koko aihealueesta kuitenkin kertyi molemmille tekijöille runsaasti ja etenkin tekoälytekniikan ollessa entistä ajankohtaisempi aihe, on tämän projektin aikana hankituista tiedoista varmasti hyötyä myös työelämässä. Lisäksi tieteellisen kirjoittamisen eri vaiheet tulivat tutuiksi tämän työn avulla, ja kynnys lähteä kirjoittamaan tieteellistä artikkelia on huomattavasti matalampi, kun prosessin vaiheet ovat ennestään tuttuja.

Etiikka ja luotettavuus ovat tärkeä osa tieteellistä toimintaa, ja ne ovat selkeästi yhteydessä toisiinsa. Tutkimuksen tekemisessä tulee noudattaa tutkimuseettisiä sääntöjä. Tutkimuksen tulee perustua totuudenmukaisuuteen sekä olla läpinäkyvä ja edetä johdonmukaisesti aina tutkimuskysymyksestä lähtien. (Kankunen & Vehviläinen-Julkunen 2018: 211–212; Kangasniemi ym. 2013; Heinrich 2002.) Niin tämän opinnäytetyön kuin scoping-katsaus-artikkelin tekemisessäkin pyrittiin koko prosessin kestävään läpinäkyvyyteen raportoimalla tarkasti katsauksen haku- ja valintaprotokolla sekä perustelut valinnoille, hankkimalla tiedot luotettavista ensikäden lähteistä, viittaamalla käytettyihin lähteisiin oikeaoppisesti sekä välttämällä plagiointia. Lisäksi *Radiography*-lehden sääntöjä pyrittiin noudattamaan eikä mitään scoping-katsauksessa olevaa yksityiskohtaista materiaalia julkaistu tässä opinnäytetyössä, joka olisi voitu nähdä

uudelleenjulkaisuna. Tämän vuoksi myöskään scoping-katsaus-artikkelia ei julkaistu tämän työn liitteenä.

Voidaankin todeta, että syöpien jatkuvasti lisääntyessä on niiden hoidolle luonnollisesti myös entistä enemmän tarvetta. Scoping katsauksen tuloksista voidaan päätellä, että vaikka tekoälylle olisi jo tarvetta, ei sen hyödyntäminen ole vielä täydessä mittakaavassa mahdollista. Pään ja kaulan alueen sädehoidon suunnittelun ollessa usein työläs ja aikaavievä prosessi, johon tarvitaan asian-tuntevaa moniammatillista osaamista, on selvää, että tekoälyn avulla hyödynnettävä automatisoitu hoitosuunnittelun teko tehostuisi. Tämä nopeuttaisi potilaan hoitoon pääsyä ja mahdollisesti parantaisi hoitotuloksia. Lisäksi henkilökunnan resursseja säästyisi hoitosuunnittelusta muihin tehtäviin. Tietysti on selvää, ettei tällainen hoidon tehostaminen automaatiolla saisi tulla hoidon laadun huonontumisen kustannuksella. Tämä on erityisen tärkeä seikka myös eettisistä syistä. Sen perusteella tämän työn tekijät jäivät pohtimaan jatkotutkimusehdotusta, joka pureutuisi tarkemmin tekoälyn käytön eettisiin ongelmiin kuten yksityisyydensuojaan sekä algoritmien luotettavuuteen sädehoidon hoitosuunnitelman laadinnassa. On selvää, että teknologia kehittyy, ja vaikka sädehoidon sovellukset eivät vielä tällä hetkellä yllä täysautomaatioon, on se todennäköisesti tulevaisuudessa uusi kliininen käytäntö.

Kuten katsauksen keskeiset tulokset osoittivat, lähes kaikki tutkitut tekoälypohjaiset menetelmät pään ja kaulan alueen haastavan hoitosuunnitelman helpottamiseksi ja annosten optimoimiseksi ylsivät nykyisten kliinisten suunnitelmien tasolle tai niiden yli. Lisäksi todettu selkeä etu oli suunnitelmien nopeampi tekeminen.

Lähteet

Alterio, D., Marvaso, G., Ferrari, A., Volpe, S., Orecchia, R., & Jereczek-Fossa, B. A. (2019, June). Modern radiotherapy for head and neck cancer. In *Seminars in oncology* (Vol. 46, No. 3, pp. 233-245). WB Saunders.

Arksey, H., & O'Malley, L. (2005). Scoping studies: towards a methodological framework. *International journal of social research methodology*, 8(1), 19-32.

Babier, A., Boutilier, J. J., McNiven, A. L., & Chan, T. C. (2018). Knowledge-based automated planning for oropharyngeal cancer. *Medical physics*, 45(7), 2875-2883.

Barragán-Montero, A. M., Thomas, M., Defraene, G., Michiels, S., Haustermans, K., Lee, J. A., & Sterpin, E. (2021). Deep learning dose prediction for IMRT of esophageal cancer: The effect of data quality and quantity on model performance. *Physica Medica*, 83, 52-63.

Baskar, R., Lee, K. A., Yeo, R., & Yeoh, K. W. (2012). Cancer and radiation therapy: current advances and future directions. *International journal of medical sciences*, 9(3), 193.

Borras, J. M., Barton, M., Grau, C., Corral, J., Verhoeven, R., Lemmens, V., ... & Lievens, Y. (2015). The impact of cancer incidence and stage on optimal utilization of radiotherapy: Methodology of a population-based analysis by the ESTRO-HERO project. *Radiotherapy and Oncology*, 116(1), 45–50.

Caudell, J. J., Torres-Roca, J. F., Gillies, R. J., Enderling, H., Kim, S., Rishi, A., ... & Harrison, L. B. (2017). The future of personalised radiotherapy for head and neck cancer. *The Lancet Oncology*, 18(5), e266-e273.

Chandarana, H., Wang, H., Tijssen, R. H. N., & Das, I. J. (2018). Emerging role of MRI in radiation therapy. *Journal of Magnetic Resonance Imaging*, 48(6), 1468-1478.

Chen, X., Sun, S., Bai, N., Han, K., Liu, Q., Yao, S., ... & Liu, Y. (2021). A deep learning-based auto-segmentation system for organs-at-risk on whole-body computed tomography images for radiation therapy. *Radiotherapy and Oncology*, 160, 175-184.

Cho, B. (2018). Intensity-modulated radiation therapy: a review with a physics perspective. *Radiation oncology journal*, 36(1), 1.

Colevas, A. D., Yom, S. S., Pfister, D. G., Spencer, S., Adelstein, D., Adkins, D., ... & Darlow, S. D. (2018). NCCN guidelines insights: head and neck cancers,

version 1.2018. *Journal of the National Comprehensive Cancer Network*, 16(5), 479–490.

CRD 2008. Systematic Reviews. CRD's guidance for undertaking reviews in health care. Centre for reviews and Dissemination. University of York. https://www.york.ac.uk/media/crd/Systematic_Reviews.pdf

Ferlay, J., Colombet, M., Soerjomataram, I., Parkin, D. M., Piñeros, M., Znaor, A., & Bray, F. (2021). *Cancer statistics for the year 2020: An overview. International Journal of Cancer*. doi:10.1002/ijc.33588

Ge, Y., & Wu, Q. J. (2019). Knowledge-based planning for intensity-modulated radiation therapy: a review of data-driven approaches. *Medical physics*, 46(6), 2760-2775.

Grant, M. J., & Booth, A. (2009). A typology of reviews: an analysis of 14 review types and associated methodologies. *Health information & libraries journal*, 26(2), 91-108.

Heinrich, K. T. (2002). Slant, Style, and Synthesis: 3 Keys to a Strong Literature Review. *Nurse Author & Editor*, 12(1), 1–3.

Holopainen, A., Hakulinen-Viitanen, T., & Tossavainen, K. (2008). Systematic review—a method for nursing research. *Nurse researcher*, 16(1).

Hunt, M. A., Hsiung, C. Y., Spirou, S. V., Chui, C. S., Amols, H. I., & Ling, C. C. (2002). Evaluation of concave dose distributions created using an inverse planning system. *International Journal of Radiation Oncology* Biology* Physics*, 54(3), 953-962.

Joensuu, H., & Tenhunen, M. (2007). Intensiiteettimuokattu sädehoito: uusi tekniikka parantaneet hoitotuloksia. *Duodecim*. Verkkoaineisto. <<https://www.duodecimlehti.fi/duo92085>>. Luettu 20.4.2022.

Kangasniemi, M., Utriainen, K., Ahonen, S. M., Pietilä, A. M., Jääskeläinen, P., & Liikanen, E. (2013). Kuvaileva kirjallisuuskatsaus: Eteneminen tutkimuskysymyksestä jäsenettyyn tietoon/Narrative literature review: From a research question to structured knowledge. *Hoitotiede*, 25(4), 291.

Kankkunen, Päivi & Vehviläinen-Julkunen, Katri. 2018. Tutkimuksen eettisyys: Julkaisussa Kankkunen, Päivi & Vehviläinen-Julkunen; Katri. Tutkimus hoitotieteessä. Helsinki. Sanoma Pro Oy.

Kearney, V., Chan, J. W., Valdes, G., Solberg, T. D., & Yom, S. S. (2018). The application of artificial intelligence in the IMRT planning process for head and neck cancer. *Oral Oncology*, 87, 111–116.

Kim, J. H., Jenrow, K. A., & Brown, S. L. (2014). Mechanisms of radiation-induced normal tissue toxicity and implications for future clinical trials. *Radiation oncology journal*, 32(3), 103.

Klein, J. D., & Grandis, J. R. (2010). The molecular pathogenesis of head and neck cancer. *Cancer biology & therapy*, 9(1), 1-7.

Kosmin, M., Ledsam, J., Romera-Paredes, B., Mendes, R., Moinuddin, S., de Souza, D., ... & Sharma, R. A. (2019). Rapid advances in auto-segmentation of organs at risk and target volumes in head and neck cancer. *Radiotherapy and Oncology*, 135, 130-140.

Levac, D., Colquhoun, H., & O'Brien, K. K. (2010). Scoping studies: advancing the methodology. *Implementation science*, 5(1), 1-9.

McBee, M. P., Awan, O. A., Colucci, A. T., Ghobadi, C. W., Kadom, N., Kanasagra, A. P., ... & Auffermann, W. F. (2018). Deep learning in radiology. *Academic radiology*, 25(11), 1472-1480.

Mesia, R., Iglesias, L., Lambea, J. *et al.* Correction to: SEOM clinical guidelines for the treatment of head and neck cancer (2020). *Clin Transl Oncol* **23**, 1001 (2021).

Meyer, P., Noblet, V., Mazzara, C., & Lallement, A. (2018). Survey on deep learning for radiotherapy. *Computers in biology and medicine*, 98, 126-146.

Mody, M. D., Rocco, J. W., Yom, S. S., Haddad, R. I., & Saba, N. F. (2021). Head and neck cancer. *The Lancet*.

Munn, Z., Peters, M. D., Stern, C., Tufanaru, C., McArthur, A., & Aromataris, E. (2018). Systematic review or scoping review? Guidance for authors when choosing between a systematic or scoping review approach. *BMC medical research methodology*, 18(1), 1-7.

Nigro, C. L., Denaro, N., Merlotti, A., & Merlano, M. (2017). Head and neck cancer: improving outcomes with a multidisciplinary approach. *Cancer management and research*, 9, 363.

Niela-Vilén, Hannakaisa & Hamari, Lotta. 2016. Kirjallisuuskatsauksen vaiheet: Teoksessa Stolt, Minna & Axelin, Anna & Suhonen, Riitta (toim.). Kirjallisuuskatsaus hoitotieteessä. Turun yliopisto. Hoitotieteen laitoksen julkaisuja. Tutkimuksia ja raportteja. Sarja A73/2016. Turku: Grano Oy.

Nurmi, Heidi & Saarilahti, Kauko & Tenhunen, Mikko 2013. Kvantamisohjauksen sädehoito. Lääketieteellinen aikauskirja Duodecim. Verkkoaineisto. <<https://www.duodecimlehti.fi/duo10892>>. Luettu 1.3.2022.

Peters, M. D., Godfrey, C. M., Khalil, H., McInerney, P., Parker, D., & Soares, C. B. (2015). Guidance for conducting systematic scoping reviews. *JBI Evidence Implementation*, 13(3), 141-146.

Peters MDJ, Godfrey C, McInerney P, Munn Z, Tricco AC, Khalil, H. Chapter 11: Scoping Reviews (2020 version). In: Aromataris E, Munn Z (Editors). *JBI Manual for Evidence Synthesis*, JBI, 2020. Available from <https://synthesismanual.jbi.global>. <https://doi.org/10.46658/JBIMES-20-12>

Radiography.2022. Author information pack 2022. Verkkoaineisto. <https://www.elsevier.com/wps/find/journaldescription.cws_home/623068?generatepdf=tru>. Luettu 20.2.2022.

Rattan, P., Penrice, D. D., & Simonetto, D. A. (2022). Artificial Intelligence and Machine Learning: What You Always Wanted to Know but Were Afraid to Ask. *Gastro Hep Advances*, 1(1), 70-78.

Rosenthal, D. I., Chambers, M. S., Fuller, C. D., Rebuena, N. C., Garcia, J., Kies, M. S., ... & Garden, A. S. (2008). Beam path toxicities to non-target structures during intensity-modulated radiation therapy for head and neck cancer. *International Journal of Radiation Oncology* Biology* Physics*, 72(3), 747-755.

Sharp, G., Fritscher, K. D., Pekar, V., Peroni, M., Shusharina, N., Veeraghavan, H., & Yang, J. (2014). Vision 20/20: perspectives on automated image segmentation for radiotherapy. *Medical physics*, 41(5), 050902.

Sher, D. J., Godley, A., Park, Y., Carpenter, C., Nash, M., Hesami, H., ... & Lin, M. H. (2021). Prospective study of artificial intelligence-based decision support to improve head and neck radiotherapy plan quality. *Clinical and translational radiation oncology*, 29, 65-70.

Shiraishi, S., & Moore, K. L. (2016). Knowledge-based prediction of three-dimensional dose distributions for external beam radiotherapy. *Medical physics*, 43(1), 378–387.

Siddique, S., & Chow, J. C. (2020). Artificial intelligence in radiotherapy. *Reports of Practical Oncology and Radiotherapy*, 25(4), 656-666.

Suhonen, Riitta & Axelin, Anna & Stolt, Minna. 2016. Erilaiset kirjallisuuskatsaukset: Teoksessa Stolt, Minna & Axelin, Anna & Suhonen, Riitta (toim.). Kirjallisuuskatsaus hoitotieteessä. Turun yliopisto. Hoitotieteen laitoksen julkaisuja. Tutkimuksia ja raportteja. Sarja A73/2016. Turku: Grano Oy.

Tol, J. P., Delaney, A. R., Dahele, M., Slotman, B. J., & Verbakel, W. F. (2015). Evaluation of a knowledge-based planning solution for head and neck

cancer. *International Journal of Radiation Oncology* Biology* Physics*, 91(3), 612-620.

Tong, N., Gou, S., Yang, S., Ruan, D., & Sheng, K. (2018). Fully automatic multi-organ segmentation for head and neck cancer radiotherapy using shape representation model constrained fully convolutional neural networks. *Medical physics*, 45(10), 4558-4567.

Van den Bosch, L., van der Schaaf, A., van der Laan, H. P., Hoebbers, F. J., Wijers, O. B., van den Hoek, J. G., ... & Langendijk, J. A. (2021). Comprehensive toxicity risk profiling in radiation therapy for head and neck cancer: A new concept for individually optimised treatment. *Radiotherapy and Oncology*, 157, 147–154.

Vandewinckele, L., Claessens, M., Dinkla, A., Brouwer, C., Crijns, W., Verellen, D., & van Elmpt, W. (2020). Overview of artificial intelligence-based applications in radiotherapy: recommendations for implementation and quality assurance. *Radiotherapy and Oncology*, 153, 55–66.

Vrtovec, T., Močnik, D., Strojjan, P., Pernuš, F., & Ibragimov, B. (2020). Auto-segmentation of organs at risk for head and neck radiotherapy planning: From atlas-based to deep learning methods. *Medical physics*, 47(9), e929-e950.

Wang, C., Zhu, X., Hong, J. C., & Zheng, D. (2019). Artificial intelligence in radiotherapy treatment planning: present and future. *Technology in cancer research & treatment*, 18, 1533033819873922.

Whittemore, R. (2005). Combining evidence in nursing research: methods and implications. *Nursing research*, 54(1), 56-62.

Whittemore, R., & Knafl, K. (2005). The integrative review: updated methodology. *Journal of advanced nursing*, 52(5), 546–553.

Yeh, S. A. (2010, May). Radiotherapy for head and neck cancer. In *Seminars in plastic surgery* (Vol. 24, No. 02, pp. 127-136). © Thieme Medical Publisher.