

**SAVONIA**

ammattikorkeakoulu

OPINNÄYTETYÖ - YLEMPI AMMATTIKORKEAKOULUTUTKINTO  
SOSIAALI-, TERVEYS- JA LIIKUNTA-ALA

# TEKOÄLYN KÄYTTÖ MAMMOGRA- FIAKUVIEN KUVANLUENNASSA

Kuvaileva kirjallisuuskatsaus

TEKIJÄ Anni Luukkonen

Koulutusala Sosiaali-, terveys- ja liikunta-ala	
Tutkinto-ohjelma Master's Degree Programme in Digital Health	
Työn tekijä(t) Anni Luukkonen	
Työn nimi Tekoälyn käyttö mammografiakuvien kuvanluennassa	
Päiväys 14.1.2024	Sivumäärä/Liitteet 49/2
Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani(t)	
Tiivistelmä	
<p>Tekoälyn käyttö on kasvanut mammografiakuvien kuvanluennassa viime vuosien aikana. Tutkimuksia aiheesta on lähivuosina tehty useita ja tarve uusille tutkimuksille on, jotta tekoäly voidaan vakiinnuttaa mammografiakuvien kuvanluennan prosessiin. Tämän tutkimuksen tarkoituksena oli kuvailevan kirjallisuuskatsauksen muodossa kuvailla tekoälyn käyttöä mammografiakuvien kuvanluennassa. Tavoitteena oli tuottaa tietoa tekoälyn käytöstä mammografiakuvien kuvanluennassa mammografian parissa työskenteleville ammattilaisille.</p> <p>Tähän kuvailevaan kirjallisuuskatsaukseen valikoitui yhteensä 21 tutkimusartikkelia. Kaikki tutkimukset oli julkaistu vuonna 2023. Tutkimusartikkelit valittiin kahdesta tietokannasta, CINAHL Ultimatesta ja PubMedistä. Aineisto analysoitiin induktiivisen sisällönanalyysin avulla.</p> <p>Tekoälyn käytöstä mammografiakuvien kuvanluennassa on sekä hyötyä että haittaa. Tekoälyn ja radiologin tekemä kuvanluenta on yhtä tarkkaa ja sensitiivistä, kuin kahden radiologin tekemä kuvanluenta seulontamammografiassa. Tekoälytyökalun käyttö vaikuttaa myös yksittäisen radiologin suoritukseen positiivisesti. Tekoäly havaitsi aiemmin ja tarkemmin erilaisia rintasyöpiä verrattuna radiologiin. Monen tutkimuksen mukaan tekoälyllä on suuri vaikutus radiologien työkuorman ja kuvanlukuun kuluvan ajan vähentämiseen. Siksi sen käyttö on perusteltua seulontamammografiakuvien kuvanluennassa, jossa kuvattavien määrä on suuri. Tekoälyn käyttö kuitenkin laskee kuvanluennan spesifisyyttä ja lisäsi väärin positiivisten tulosten määrää.</p> <p>Tämän kirjallisuuskatsauksen tulokset ovat linjassa muiden saman aiheen kirjallisuuskatsausten kanssa. Katsauksen aineistonhaun perusteella tekoälyn käyttöä mammografiakuvanluennassa on tutkittu paljon retrospektiivisellä tutkimusmenetelmällä. Jatkotutkimusideana olisi tutkia tekoälyn etiikkaa mammografiakuvien kuvanluennassa tai radiologien/asiakkaiden oletuksia ja näkemyksiä tekoälyn käytöstä mammografiakuvien kuvanlukijana. Tämän tutkimuksen tulokset voivat antaa näkökulmaa tekoälyn käyttöönotolle, sekä lisätä tietoa tekoälyn käytöstä mammografiakuvien kuvanluennassa mammografiakuvausten parissa työskenteleville.</p>	
Avainsanat Tekoäly, AI, Mammografia, Seulontamammografia	

Field of Study Social Services, Health and Sports	
Degree Programme Master's Degree Programme in Health Care, Digital Health	
Author(s) Anni Luukkonen	
Title of Thesis Use of Artificial Intelligence in Mammogram Image Reading	
Date 14 January 2024	Pages/Appendices 49/2
Client Organisation /Partners	
<p><b>Abstract</b></p> <p>The use of artificial intelligence (AI) in mammogram image reading has increased in a couple of years. There are many studies done on the use of AI in mammography during the last years and many more are on the way. New studies are needed for validating the AI system in the mammogram image reading process. The purpose of this thesis was to describe the use of AI in mammogram image reading, and to produce information about it to all professionals working with mammography.</p> <p>The thesis was done as a narrative review. Twenty-one research articles published in 2023 were examined in the thesis, and they were selected from two databases: CINAHL Ultimate and PubMed. The articles were analyzed using inductive content analysis.</p> <p>There are advantages and disadvantages in the use of AI in mammogram image reading. The reading results of AI compared to the reading results of a radiologist are as sensitive and accurate as the reading results of two radiologists compared to each other. The use of AI system improved radiologists' performance. The AI system detected different types of breast cancers earlier than radiologists. The use of AI reduced radiologists' workload and reading time per mammogram image. This is why the use of AI should be concerned in screening mammography where the image volume is large. On the other hand, the use of AI decreases specificity in image reading and increases false positive results.</p> <p>The results of this review are in line with other literature reviews on the same topic. Based on literature research, the use of AI in mammogram image reading is a topic that has been researched a lot using a retrospective research method. The results of this thesis can give new aspects to the use of AI in mammography and give more information about AI to all of them who are working in the field of mammography. Ideas for future studies are to research ethics in the use of AI in mammogram image reading, and to survey opinions of radiologists or patients about the use of AI in mammogram image reading.</p>	
<p><b>Keywords</b> artificial intelligence, AI, mammography, screening mammography</p>	

## SISÄLTÖ

1	JOHDANTO .....	6
2	RINTASYÖPÄ .....	7
3	RINTOJEN KUVANTAMINEN .....	8
3.1	Rintasyövän seulonta eli seulontamammografia .....	8
3.2	Mammografiassa työskentelevät ammattilaiset.....	9
4	KUVANTAMISTUTKIMUSTEN KUVANLUENTA.....	10
5	TEKOÄLY .....	11
5.1	Koneoppiminen ja syväoppiminen .....	11
5.2	Tekoälyn käyttö radiologiassa .....	13
5.3	Tekoälyn käyttö mammografiakuvien kuvanluennassa.....	14
6	TUTKIMUKSEN TARKOITUS JA TAVOITE .....	15
7	TUTKIMUSMENETELMÄ.....	16
8	TUTKIMUKSEN TOTEUTUS .....	18
8.1	Haku sähköisistä tietokannoista .....	18
8.2	Tutkimusten valinta sisäänotto- ja poissulkukriteereiden avulla .....	19
8.3	Aineiston analyysi .....	21
9	TUTKIMUSTULOKSET .....	24
9.1	Tekoälyn suoritus seulontamammografian kaksoisluennassa on verrattavissa radiologin suoritukseen.....	24
9.2	Tekoälytyökalujen käyttö parantaa radiologien suoritusta ja auttaa muutosten havaitsemisessa...	25
9.3	Tekoälyn käyttö sujuvoittaa radiologien työtä ja vähentää työkuormaa.....	27
10	TUTKIMUSTULOSTEN TARKASTELU JA JOHTOPÄÄTÖKSET .....	28
11	POHDINTA.....	32
11.1	Tutkimuksen etiikka ja luotettavuus .....	32
11.2	Jatkotutkimus- ja kehittämisideat.....	34
	LÄHTEET .....	35
	LIITE 1: KIRJALLISUUSKATSAUKSEN TUTKIMUSTAULUKKO.....	40
	LIITE 2: AINEISTON LUOKITTELU .....	48

## KUVALUETTELO

Kuva 1. Yksinkertaistettu neuroverkkomalli Merilehdon (2018, 52) mallia mukaillen.....	12
Kuva 2. Kaavio aineiston valinnasta .....	21
Kuva 3. Esimerkki aineiston luokittelusta.....	23

## JOHDANTO

Syöpään sairastuu joka kolmas ihminen elämänsä aikana (Jyrkkiö 2023). Naisilla yleisin syöpä on rintasyöpä ja siihen sairastuu vuosittain yli 5000 naista Suomessa (Matsson & Karihtala 2023). Rintoja voidaan tutkia esimerkiksi mammografiatutkimuksen avulla (Rissanen & Dean 2017). Rintasyövän seulonnassa eli seulontamammografiassa löytyy jopa 40 prosenttia Suomessa todettavista rintasyövistä. Seulontamammografiassa rintasyöpä voidaan havaita jo hyvin varhaisessa vaiheessa ennen oireiden syntymistä. (Vehmanen 2020.)

Tekoäly on viime vuosikymmenten käytetyintä teknologiaa ja se tulee olemaan sitä luultavasti myös tulevaisuudessa. Tekoälyä voidaan ajatella systeeminä, joka ympäristöönsä havainnoimalla voi toimia saavuttaakseen sille määritellyn tavoitteen. Sen toiminta on älykästä ja osittain autonomista. (EPRS 2020, 1.) Tekoälyn ja erityisesti syväoppimisen rooli mammografiakuvantamisessa on kasvanut viimeisen vuosikymmenen aikana. Tekoälyä voidaan käyttää itsenäisenä diagnosointimenetelmänä ja se voi korvata toisen seulontamammografiakuvia tulkitsevan radiologin. (Jairam & Ha 2022, 43.) Tekoälyllä tehostettu rintojen kuvantaminen on vahvasti kehittymässä. Tarjolla on monia potentiaalisia tekoäly menetelmiä esimerkiksi rintasyöpäriskin arviointiin, sekä massamuutosten havaitsemiseen ja luokitteluun. Tekoälytyökalut rinnan kuvantamisessa antavat tulevaisuudessa ennennäkemättömiä mahdollisuuksia parantaa kuvantamisdatan kliinistä käyttöä ja potilaan hoitoa. (Bitencourt ym. 2021, 10.) Tutkimukset osoittavat, että teknologia on mahdollistanut tekoälyä käyttävät ohjelmat mammografiakuvantamisessa itsenäisinä diagnostisina suorittajina. Tekoälytyökalut parantavat tutkimuksen spesifisyyttä ja herkkyyttä rintasyövän diagnosoinnissa. Ne auttavat myös vähentämään radiologien työtaakkaa ja työaikaa. (Yoon & Kim 2020, 1235.)

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on kuvailevan kirjallisuuskatsauksen muodossa kuvailla tekoälyn käyttöä mammografiakuvien kuvanluennassa. Tavoitteena on kuvailevan kirjallisuuskatsauksen muodossa tuottaa tietoa tekoälyn käytöstä mammografiakuvien kuvanluennassa mammografian parissa työskenteleville ammattilaisille.

## RINTASYÖPÄ

Syöpä on yleinen sairaus. Syöpätyyppejä tunnetaan yli sata kappaletta. (Jyrkkiö & Leppä 2023.) Joka kolmas suomalainen sairastuu syöpään elämänsä aikana. Syöpä syntyy, kun solukasvun säätely pettää. Normaalisti elimistö säätelee solujen jakautumista tarkasti ja kun solu vaurioituu tai vanhenee, se kuolee. Tilalle tulee uusi terve solu. Syöpäsolussa perimäaine on vaurioitunut, jolloin sen säätelymekanismit eivät enää toimi. Syöpäsolu ei tällöin kuole, vaan jatkaa jakautumistaan. Syöpäsolut kasvavat hallitsemattomasti. Ne tuhoavat normaalia kudosta ja muodostavat malignin, eli pahaalaatuisen kasvaimen. (Jyrkkiö 2023.)

Rintasyöpä on naisten yleisin syöpä ja siihen sairastuu Suomessa noin 5000 naista vuosittain (Vehmanen 2020; Matsson & Karihtala 2023). Sen ilmaantuvuus on noin 170/100 000 ihmistä. Melkein joka kahdeksannella naisella todetaan rintasyöpä elämänsä aikana. (Matsson & Karihtala 2023.) Tämän lisäksi erilaisia syövän esiasteita (intraduktaalinen rintasyöpä, DCIS) todetaan yli 600 naisella. Miehillä rintasyöpä on harvinainen ja siihen sairastuu noin 25–30 miestä vuosittain. Keski-ikä rintasyövän toteamishetkellä on 60 vuotta ja rintasyöpä yleistyykin vaihdevuosi-ikä lähestyessä. Rintasyöpää esiintyy myös nuorilla naisilla. (Vehmanen 2020.) Se on alle 30-vuotiailla kuitenkin erittäin harvinainen ja tällöin taustalla on usein geneettistä alttiutta (Matsson & Karihtala 2023).

Rintasyövän syntyyn vaikuttavat monet asiat ja syöpäriskiä lisääviä tekijöitä tunnetaan useita. Yksittäisen potilaan kohdalla on mahdotonta selvittää syytä sairastumiselle. (Vehmanen 2020.) Suurimpia riskitekijöitä ovat ikä ja sukupuoli. Muiden riskitekijöiden vaikutus on pienempi. (Matsson & Karihtala 2023.)

Rintasyöpä oireilee monin tavoin. Rintasyövän tavallisin oire on kivuton kyhmy rinnassa. Kyhmy saattaa tuntua myös kainalossa. Muita mahdollisia rintasyövän oireita on rinnan kipu, verinen tai kirakas erite nännistä ja ihon tai nännin vetäytyminen. Tulehduksellisessa rintasyövässä rintaan tulee laaja-alainen punoitus, kuumotus tai turvotus ilman tuntuva pattia tai massaa. Tämä on melko harvinainen rintasyövän alatyppi. (Matsson & Karihtala 2023.)

## RINTOJEN KUVANTAMINEN

Lääketieteen termistössä diagnostiikka tarkoittaa taudin määrittämistä (Duodecim Terveysportti, julkaisuaika tuntematon D). Radiologia on lääketieteen ala, joka käyttää säteilyä diagnostiseen tarkoitukseen tai hoitoihin (Duodecim Terveysportti, julkaisuaika tuntematon A). Yleisin radiologinen tutkimus on röntgenkuvaus. Röntgenkuva syntyy röntgenputken tuottamasta röntgensäteilystä, joka ohjataan kohteen läpi kuvalevyille. Kuvalevy tunnistaa kohteen läpi tulleen röntgensäteilyn määrän ja paikan, ja tämä tieto muutetaan kuvaksi. Röntgenkuva on kaksisuuntainen projektio kolmiulotteisesta kohteesta. Sen vuoksi on usein tarpeen kuvata kohde ainakin kahdesta eri suunnasta. Röntgenkuvissa on tyypillisesti nähtävissä neljää eri tiheyttä harmaansävyjä. Vaalea on tiheärakenne, esim. luu, metalli, vierasesine, proteesi. Harmaa sävy edustaa pehmytkudosta. Tummat sävyt edustavat rasvaa ja musta ilmaa. Röntgenkuvan tummuutta voi säätää kuvauksen jälkeen, mutta tiheyserojen suhdetta toisiinsa ei voi muuttaa. (Blanco Sequeiros & Lundbom 2017.)

Rinnan kuvantamiseen käytetään erilaisia kuvaustapoja. Näitä ovat mammografia, magneettikuvaus, kaikututkimus (ultraääni), galaktografia (maitotiehyen varjoainekuvaus) ja isotooppikuvaus. Mammografia on rintojen ensisijainen kuvaustutkimus. Mammografia on röntgentutkimus, jossa käytetään erityisesti rintojen kuvantamiseen kehitettyä laitetta. Mammografian avulla pyritään selvittämään oireen syy, sekä varmistamaan, ettei rinnassa ole muita oireettomia hoitoja vaativia muutoksia. Mammografialaite tuottaa pienienenergistä röntgensäteilyä ja laitteen avulla pehmytkudosten tiheyserot saadaan hyvin näkyviin. Hyvän pehmytkudoskontrastin lisäksi tarvitaan hyvää paikanerotuskykyä pienten yksityiskohtien erottamiseksi. Mammografian peruskuvat otetaan kahdesta suunnasta: viistokuva, jossa putkea on kallistettu ja suora ylhäältä alaspäin kuva. Viistokuvassa saadaan mukaan koko rinta ja myös osa kainaloa. Perusprojektioita täydennetään tarvittaessa lisäprojektioidilla. Rintasyöpä näkyy mammografiakuivissa pyöreänä ja tähtimäisenä tiivistymänä, mikrokalkkikerätyminä tai epäsuorina merkkeinä, kuten rakennehäiriönä tai kudoksen kuroutumisena. Mammografian heikkous on, että tiivis rintakudos rakenne saattaa peittää löydöksen alleen. Myös monet hyvänlaatuiset muutokset näkyvät mammografiassa omina tyypillisinä löydöksinään. Näitä muutoksia ovat esimerkiksi nestekystat, fibroadenoomat tai lipoomat. (Rissanen & Dean 2017.)

### 3.1 Rintasyövän seulonta eli seulontamammografia

Rintasyöpä voidaan havaita jo varhaisvaiheessa ennen oireiden ilmenemistä syöpäseulonnan avulla. Suomessa todettavista rintasyövistä 40 prosenttia löytyy seulontamammografiassa. Seulontamammografia vähentää siihen osallistuvien rintasyöpäkuolemia noin kolmanneksella. (Vehmanen 2020.)

Syöpäseulonalla tarkoitetaan varhaisvaiheisen syövän tai syövän esiasteiden järjestelmällistä etsimistä väestöstä. Toiminnan tavoitteena on vähentää seulottavan syövän aiheuttamia kuolemia. Seulontaan osallistuminen on kutsuttaville maksutonta. (Sosiaali- ja terveysministeriö, julkaisuaika tuntematon.) Rintasyövän seulontaan eli rintojen mammografiatutkimukseen kutsutaan Suomessa 50–69-vuotiaat naiset. Seulontamammografiaan kutsutaan tämän ikäluokan naiset noin kahden vuoden välein. Suomessa seulontaan osallistuu noin 80 prosenttia kutsun saaneista. Jatkotutkimuksiin heistä kutsutaan noin kolme prosenttia ja heistä noin 20 prosentilla löytyy rintasyöpä. Jatkotutkimukset



sisältävät Suomessa ultraäänen ja tarvittaessa neulanäytteen ottamisen. (Suomen syöpärekisteri, julkaisuaika tuntematon.)

### 3.2 Mammografiassa työskentelevät ammattilaiset

Suomessa tehtiin vuonna 2021 yhteensä 6,8 miljoonaa radiologista tutkimusta. Röntgentutkimusten määrä kaikista tutkimuksista oli 5,7 miljoonaa. (Ruonala 2022, 12.) Tavallisia röntgentutkimuksia tehtiin kaikista röntgentutkimuksista 2 648 131 kappaletta. Yleisimpiä näistä röntgentutkimuksista olivat keuhkojen röntgenkuvaus, rintojen seulontamammografia ja polven röntgenkuvaus. (Ruonala 2022, 15.) Seulontamammografia tutkimuksia tehtiin samana vuonna 292 468 kappaletta. Muiden mammografiatutkimusten kokonaismäärä on pysynyt melko samana jo yli 20 vuoden ajan ja vuonna 2021 näitä tutkimuksia tehtiin noin 96 000 kappaletta. (Ruonala 2022, 16–17.) Näitä tutkimuksia suorittamaan tarvitaan sekä röntgenhoitajia, että radiologeja.

Röntgenhoitaja on röntgentutkimusten tekemiseen ja radiologiseen hoitotyöhön koulutettu hoitaja (Duodecim Terveysportti, julkaisuaika tuntematon C). Röntgenhoitajat ovat kliinisen radiografian ja lääketieteellisen säteilynkäytön asiantuntijoita. Röntgenhoitajat työskentelevät kolmella säteilynkäytön alueella: diagnostiikka, sädehoito ja isotooppikuvantaminen. (Suomen röntgenhoitajat, julkaisuaika tuntematon.) Säteilyä käyttävällä henkilöstöllä tulee olla vaadittu pätevyys, tarvittava säteily-suojelukoulutus, sekä perehtyneisyys mammografialaitteisiin ja -tutkimuksiin. Mammografiakuvauksia tekevien tulee osallistua täydennyskoulutuksiin, joissa osaamista ylläpidetään. (STUK 2013, ST 3.8.)

Radiologi on radiologian erikoislääkäri (Duodecim Terveysportti, julkaisuaika tuntematon B). Radiologi on lääkäri, jonka erikoisalana on tapaturmien ja sairauksien diagnosointi kuvantamisen eli radiologian avulla. Radiologitkin valitsevat oman alansa. Diagnostiset radiologit diagnosoivat sairauksia ja tapaturmia eri kuvausmodaliteettien avulla. Kuvausmodaliteetteja ovat esimerkiksi röntgenkuvaus, mammografia, magneettikuvaus ja tietokonetomografia. (American College of radiology, julkaisuaika tuntematon.)

## KUVANTAMISTUTKIMUSTEN KUVANLUENTA

Kuvantamistutkimuksissa diagnostinen tarkkuus perustuu kuvan järjestelmälliseen ja kokonaisvaltaiseen tulkintaan riippumatta käytetystä kuvausmetodista. Käytetyn kuvantamismetodin edut ja rajoitukset on tiedostettava kuvanluennan aikana. On varmistettava, että tehty tutkimus on asianmukaisesti kuvattu ja laadultaan riittävä kuvanluentaa varten. Kuvanluennassa on tärkeintä tuntea kohteen normaali anatomia ja anatomian variaatiot. Kuvassa erottuvat poikkeamat ja muutokset määrittellään ja paikannetaan. Kuvassa olevan muutoksen määrittelyllä tarkoitetaan löydöksen tarkastelua verrattuna normaaliin tilanteeseen. Kaikki kuvassa näkyvät alueet tarkastellaan järjestelmällisesti sen jälkeen, kun yksittäinen poikkeama on havaittu. Näin voidaan sulkea pois yksi yleisimmistä virhelähteistä, eli kuvan tulkitsejan tyytyminen yhteen löydökseen. (Blanco Sequeiros 2017.)

Seulontamammografian tulosten tulkinta eli kuvanluenta on määritelty sosiaali- ja terveysministeriön asetuksessa säteilyn lääketieteellisestä käytöstä. Asetuksen mukaan seulottavan taudin poissulkemista koskevan arvion tulee perustua kahteen toisistaan riippumattomasti annettuun ja sisällöllisesti toisiaan tukevaan lausuntoon. Mikäli toisistaan riippumattomat lausunnot ovat ristiriitaiset, on lausunnonantajien keskusteltava keskenään ennen lopullista arviota. Tarvittaessa tehdään perustelluiksi katsotut lisätutkimukset. Radiologian erikoislääkäri voi osoittaa pätevyytensä seulontamammografiakuvien kuvanluentaan joko Suomen Lääkäriliiton tai Suomen Radiologiyhdistyksen erityispätevyysneuvottelukunnan myöntämällä todistuksella. Lausunnonantajien on oltava hyvän radiologisen kokemuksen omaavia ja kyseiseen seulontaan perehtyneitä lääkäreitä. (Sosiaali- ja terveysministeriön asetus säteilyn lääketieteellisestä käytöstä 423/2000, 41 §.) Todistuksen saaminen edellyttää muita todistuksia esimerkiksi teoreettisesta koulutuksesta, käytännön harjoittelusta ja suoritettusta kokeesta. (STUK 2013, ST 3.8.)

Tekoälylle ei ole olemassa yhtä ja ainoaa määritelmää. Euroopan parlamentti on määritellyt tekoälyn (Artificial Intelligence, AI) olevan systeemi, joka voi toimia itsenäisesti ympäristöä havainnoimalla ja saavuttaa siten sille määritellyn tavoitteen (EPRS 2020, 1). Boranan (2016) mukaan tekoäly on keinotekoisista älykkyyttä, joka voi ratkaista monimutkaisia ongelmia. Tekoälyn ajatellaan yleensä olevan tietokone tai laite. Se on yhdistelmä tietotekniikkaa ja fysiologista älykkyyttä, joiden avulla voidaan päästä määriteltyihin tavoitteisiin. Älykkyys on kykyä ajatella, tuottaa muistoja, huomata erilaisia kaavoja, tehdä päätöksiä ja oppia kokemuksista. Tekoälyllä voidaan saada kone tekemään samoja asioita kuin ihmiset, mutta paljon nopeammin. (Borana 2016, 64.) Tekoäly on luotu simuloimaan ihmisten älykkyyttä, mutta ei tietenkään ole sitä. Tekoäly luottaa erilaisiin algoritmeihin saavuttaakseen halutun tuloksen, mutta sen tuloksen saavuttaminen ei kerro mitään siitä, onko tulos inhimillinen ja onko se saavutettu inhimillisin keinoin. (Mueller & Massaron 2018, 12.)

### 5.1 Koneoppiminen ja syväoppiminen

Koneoppimisen (Machine learning, ML) ja syväoppimisen (Deep learning, DL) erona on se, että syväoppimisessa neuroverkot pystyvät käsittelemään monimutkaista dataa, esimerkiksi kuvia. Neuroverkot pystyvät itse löytämään dataa parhaiten edustavat piirteet. Koneoppimisessa taas ihmisen tulee valita ja laskea nämä edustavat piirteet, esimerkiksi kuvan rakeisuutta tai värejä kuvastavat laskennalliset arvot. (Huhtanen, Nyman, Karlsson & Hirvonen 2020, 1957–1958.)

Keskeinen idea koneoppimisen takana on, että todellisuutta voidaan kuvata käyttämällä matemaattisia funktioita, joita algoritmit eivät tiedä etukäteen, mutta voivat arvata sen nähdessään tiettyä dataa. Koneoppimisessa oppiminen on täysin matemaattista. Sen oppimista kutsutaan mieluummin harjoitteluksi, sillä algoritmit on koulutettu vastaamaan tiettyihin kysymyksiin tietyllä tavalla. (Mueller & Massaron 2018, 127.)

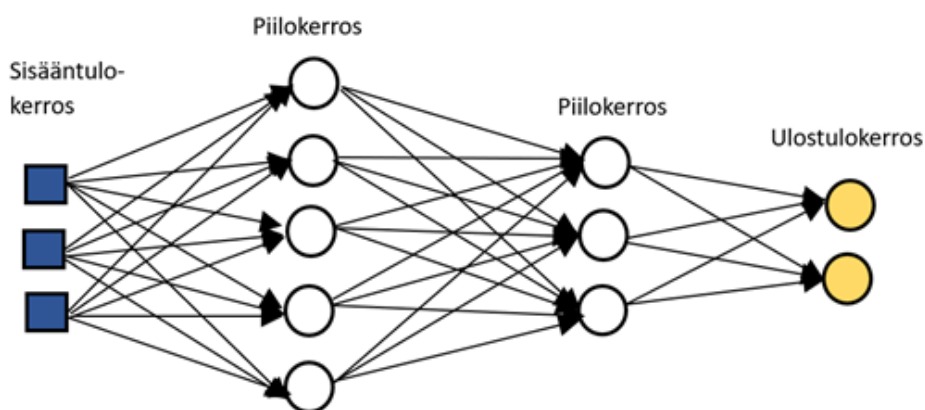
Koneoppimisen alalla arvioidaan ja kehitetään algoritmeja, joilla tietokone oppii funktioita tietoaaineistosta. Yksinkertaisimmillaan tietoaaineisto on esimerkiksi taulukko. Algoritmi on prosessi (esim. ohjelma), jota tietokone noudattaa. Koneoppimisessa algoritmi määrittelee tietoaaineistoa analysoivan ja aineiston toistuvien tekijöiden tunnistavan prosessin. Funktio on deterministinen (funktion syötearvojen joukko tuottaa aina saman tuloksen) kuvaus syötearvojen joukolta yhteen tai useampaan ulostuloarvoon. Funktio voidaan esittää monin tavoin ja yksi niistä on neuroverkko. (Kelleher 2020, 15–18.)

Syväoppiminen on tekoälyn osa, jonka toiminta perustuu sellaisten suurten neuroverkkomallien luomiseen, jotka tekevät aineistoon perustuvia päätöksiä. Se sopii erityisesti sellaisiin käyttöyhteyksiin, joissa tietoaaineistot ovat suuria ja aineisto on monimutkaista. (Kelleher 2020, 11.) Syväoppiminen on koneoppimisen alatiede. Se keskittyy syviin neuroverkkomalleihin. (Kelleher 2020, 18.) Se kuvaa myös neuroverkkomallien joukkoa, jossa monta yksinkertaista, tietoja käsittelevien ohjelmien kerrostusta eli neuronia on muodostunut verkkomaiseksi rakenteeksi. (Kelleher 2020, 64.)

Neuroverkot ovat matemaattisia ja operoivia yksiköitä, jotka oppivat havainnoimalla. Oppimansa kautta se pystyy saavuttamaan erilaisia tavoitteita. Itse syväoppiminen tapahtuu neuroverkkokerroksissa, jotka toimivat yhdessä. Monimutkainen tunnistusjärjestelmä saadaan rakentamalla monia yksinkertaisia tunnistusjärjestelmiä päällekkäin. Neuroverkot osaavat muun muassa kääntää kieliä, muuntaa puhetta tekstiksi ja tunnistaa, sekä nimetä kuvista asioita. (Merilehto 2018, 45.)

Keinotekoinen neuroverkko koostuu toisiinsa kytkeytyneistä neuroneista, jotka ovat harjoitelleet haluttua toimintaa isolla määrällä dataa. Neuroverkot oppivat paremmin silloin, kun niillä on paljon dataa käytettävissään. Etu muihin koneoppimismalleihin verrattuna on niiden laaja sovellettavuus. (Merilehto 2018, 47–48.)

Monikerroksinen perseptroniverkko koostuu kerroksiin sijoitetuista keinotekoisista neuroneista, jotka voidaan jakaa kahteen luokkaan: piilokerrokseen ja ulostulokerrokseen. Kolmas kerros on nimeltään sisääntulokerros, jonka ainoa tehtävä on ottaa vastaan neuroverkolle tuleva data. Sisääntulokerroksessa ei tapahdu oppimista, joten sen yksiköitä ei pidetä neuroneina. (Merilehto 2018, 52.)



Kuva 1. Yksinkertaistettu neuroverkkomalli Merilehdon (2018, 52) mallia mukaillen

Neuro- tai hermoverkkomallit ovat saaneet muotonsa biologisesta hermostosta. Keinotekoisessa hermoverkostossa solmut (ikään kuin hermosolut) järjestäytyvät kerroksiksi. Solmujen välisillä yhteyksillä on omat painokertoimet ja sopivat epälineaariset funktiot. Funktioiden avulla signaalia estetään tai vahvistetaan. Hermoverkon matalimmat kerrokset oppivat tunnistamaan alkeellisia asioita, kuten kuvien kaaria ja reunoja. Syvemmät kerrokset taas tunnistavat monimutkaisempia kokonaisuuksia, ilman ihmisen etukäteen määrittelemiä kriteereitä. Yleisimmät neuroverkkotyypit ovat konvoluutioverkot ja takaisinkytketyt hermoverkot. Konvoluutioverkot sopivat hyvin kuvantunnistukseen ja takaisinkytketyt verkot esimerkiksi kielen analysointiin. Näitä hermoverkkotyyppejä voidaan myös yhdistää. (Hirvonen ym. 2020, 1958.) Konvoluutioneuroverkot ovat siis neuroverkkojen alalaji, jotka ovat hyviä erityisesti kuvista koostuvan datan prosessointiin. Ne eroavat perinteisistä neuroverkoista siten, että joidenkin kerrosten neuronit eivät ole enää tekemisissä seuraavien kerrosten kaikkien neuronien kanssa. Tämän verkon syötteenä toimii kuva ja jokaisessa konvoluutioverkon kerroksessa

käytetään suodattimia. Konvoluutioneuroverkot ovat tehokkaita kuvadatan käsittelyssä, sillä ne rajoittavat itsensä suodatuksella, joka on käytännöllinen keino käsitellä juuri kuvadataa. Konvoluutioverkoilla käydään läpi datamassoja, joita tulee tunnistaa. (Merilehto 2018, 53.)

Käytännössä useimpien sovellusten hermoverkkojen opetus on ohjattua. Esimerkiksi kuhunkin kuvaan on liitetty oikean vastauksen tieto. Hermoverkot vaativat hyvin suuria määriä opetusaineistoa. Laadukkaan opetusaineiston kokoaminen on usein rajoittava tekijä. Opetusta voidaan nopeuttaa esiopetuksella (transfer learning). Tällöin malli koulutetaan ensin helposti saatavalla, mutta vain osittain vastaavalla aineistolla. (Hirvonen ym. 2020, 1958.)

## 5.2 Tekoälyn käyttö radiologiassa

Tekoäly uudistaa vauhdilla diagnostiikkaa ja hoitoa pitkällä aika välillä. Se ei vain paranna nykyisiä käytäntöjä, vaan luo uusia mahdollisuuksia. Teknologian tarjoamien mahdollisuuksien ilmeneminen tulee viemään vuosia, sillä lainsäädännön, terveystietojen arkaluonteisuuden ja olemassa olevien järjestelmien ja prosessien muuttamisen vuoksi muutokset ovat hitaita ja vaivalloisia. Kuvantamisteknologiat hyötyvät tekoälyn kyvystä tulkita ja analysoida monimutkaista kuvadataa. (Salo 2023, 147.)

Nykyiset tekoälyalgoritmit on tehty kapeasti määriteltyihin yksittäisiin tehtäviin, kun taas radiologin tehtävän ovat moninaisia, helpommasta hyvin haastaviin. Tekoälyalgoritmit eivät pysty ihmisten kaltaiseen tehokkaaseen toiminnanohjaukseen. Toiminnanohjauksen keskeisimpiä piirteitä ovat toiminnan kohdistaminen olennaiseen tietoon ja epäolennaisen tiedon suodattaminen, virheiden tunnistaminen ja niiden korjaus, uusien tilanteiden tunnistaminen, toiminnan tavoitteen määrittely ja päätöksenteko. Toiminnanohjaus eli kyky ohjata huomio keskeiseen asiaan on radiologin työssä erittäin tärkeää, sillä lääketieteelliset ongelmat eivät yleensä ole pelkistettävissä yksinkertaisiin luokitteluihin. Myös tiedon yhdistäminen muuhun tietoon, tai uuden tiedon hankkiminen ovat keskeisiä vaatimuksia radiologin työssä. (Hirvonen ym. 2020, 1961–1962.)

Yleisesti ottaen tekoälyn syväoppiminen tarjoaa mahdollisuuksia löytää kuvista automaattisesti erilaisia haluttuja kohteita. Suhteellisen helppo tekoälyn opettamisprosessi ja sen systeemisen suorittamisen hienosäätö antavat sille hyviä mahdollisuuksia kehittyä viimeisintä tekniikkaa edustavaksi teknologiaksi. Lääketieteellisessä kuvantamisessa tätä potentiaalia ei ole kuitenkaan täysin käytetty. Syväoppiminen vaatii pääsyy suuriin tietojoukkoihin, jotta tautien havaitseminen ja luokittelu on onnistunutta. Suuren tietojoukon lukeminen on tekoälyltä äärimmäisen aikaa vievää ja kallista prosessi. (Ravi, Wong, Deligianni, Berthelot, Andreu-Perez, Javier, Lo, & Yang 2017, 13.)

Radiologit ovat tottuneet teknologisten innovaatioiden haasteisiin, sillä radiologia on aina ollut teknologisen kehittymisen leikkikenttä. Radiologin tulisi olla ajan tasalla koneoppimisen ja syväoppimisen perusteista. Radiologin ei tarvitse tietää näiden systeemien pieniä yksityiskohtia, mutta heidän tulisi osata teknistä sanastoa, jotta voivat kommunikoida tekoälyä luovien asiantuntijoiden kanssa. Tekoälyn kanssa työskentely on radiologiassa nykypäivää. (Pesapane, Codari & Sardanelli 2018, 8.)

### 5.3 Tekoälyn käyttö mammografiakuvien kuvanluennassa

Syväoppimisen rooli mammografiassa on kasvanut viimeisen vuosikymmenen aikana. Teknologisten harppausten ansiosta tekoäly voi tätä nykyä auttaa tautien diagnosoimisessa ja parantaa diagnostisia mittareita verrattuna perinteisiin CAD (Computer-Aided Detection) järjestelmiin. Tekoälyä voidaan käyttää itsenäisenä diagnosointimenetelmänä ja se voi mahdollisesti korvata toisen kuvia lukevan radiologin. Identifioimalla puhtaat mammografiakuvat, tekoäly voi vähentää radiologin työaakkaa. Syväoppimisen työkalut parantavat tehokkuutta ja ne voivat myös pienentää syövän ja sen uusiutumisen määrää. Tämä taas parantaa asiakkaan ennustetta ja lieventää ahdistusta, joka liittyy myöhään tai huomaamatta jääneiden kasvainten löytymiseen. Monia haasteita kuitenkin esiintyy tekoälyn käyttöönottamisessa mammografiakuvantamisessa. Näitä haasteita ovat esimerkiksi implementaation kustannukset, eettiset ja lain opilliset tekijät, ennakkoluulot, vastuullisuus, yksityisyyden suoja ja tietoturva. Näistä haasteista huolimatta tekoälyn käyttö kehittyä aputyökaluna mammografiassa ja sillä on suuri potentiaali rintasyöpäseulonnan parantamisessa. (Jairam & Ha 2022, 43.)

Tutkimuksen mukaan radiologien kyky havaita poikkeamia mammografiakuvissa parani tekoälyn avulla, verrattuna ilman tekoälyä luettaviin mammografiakuviin. Kuvien luentaan käytettyyn aikaan tekoäly ei kuitenkaan tuonut muutosta. Tekoälyohjelmat helpottavat epäselvien tapausten arviointia. (Rodríguez-Ruiz, Krupinski, Mordang, Schilling, Heywang-Köbrunner, Sechopoulos & Mann 2019, 6.)

Teknologia on mahdollistanut tekoälyä käyttävät ohjelmat mammografiakuvantamisessa itsenäisinä ja diagnostisina suorittajina. Ne parantavat herkkyyttä ja tarkkuutta rintasyövän diagnosoinnissa ja ne auttavat myös vähentämään radiologien työaakkaa ja työaika. Vaikka useat tekoälyalgoritmit näyttävät mammografian kannalta melko positiivisilta, on kliininen testaus tarpeen muun muassa tehokkuuden ja tulosten johdonmukaisuuden varmistamiseksi. Eettisten ja laillisten tekijöiden lisäksi, on pohdittava mikä rooli tekoälyllä on mammografiakuvien luennassa. Vaikka tekoälyn käyttö on vielä validoinnin ensimetreillä, siihen panostetaan kasvavasti lääketieteen saralla ja sen implementointia kliiniseen työhön halutaan edistää. Tekoäly rintojen kuvantamisessa on hyväksyttävä tulevaisuuden teknologiaksi. (Yoon & Kim 2020, 1235.)

## 6 TUTKIMUKSEN TARKOITUS JA TAVOITE

Tämä opinnäytetyö on luonteeltaan kuvaileva. Kuvailevan tutkimuksen piirteenä on esittää tarkkoja kuvauksia tapahtumista, tilanteista ja henkilöstä. Sillä dokumentoidaan ilmiöstä keskeisiä ja kiinnostavia piirteitä. (Hirsjärvi, Remes & Sajavaara 2018, 137–139.)

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on jo tehtyjen tutkimusten perusteella kuvailla tekoälyn käyttöä mammografiakuvien kuvanluennassa. Tavoitteena on kuvailevan kirjallisuuskatsauksen muodossa tuottaa tietoa tekoälyn käytöstä mammografiakuvien kuvanluennassa esimerkiksi mammografian parissa työskenteleville ammattilaisille. Katsauksessa etsitään vastauksia seuraaviin tutkimusongelmiin:

1. Miten tekoälyä käytetään mammografiakuvien kuvanluennassa?
2. Miten tekoälyn käyttö mammografiakuvien kuvanluennassa vaikuttaa radiologin työhön?

## TUTKIMUSMENETELMÄ

Tämä opinnäytetyö suoritetaan narratiivisena (kuvailevana) kirjallisuuskatsauksena. Tässä kuvailevassa kirjallisuuskatsauksessa kuvaillaan tekoälyn käyttöä mammografiakuvantamisen kuvanluennassa ja kuinka sen käyttö vaikuttaa radiologien työhön. Kirjallisuuskatsaus on tutkimus. Tämä tarkoittaa sitä, että kirjallisuuskatsaus noudattaa jokaista tutkimuksen eri vaihetta, sisältää tutkimuskysymyksiä, joihin vastataan etsimällä ja arvioimalla tutkimuksen kannalta merkityksellistä aineistoa. (Aveyard 2014, 18.).

Kirjallisuuskatsaus voidaan määritellä tutkimustavaksi, jossa tutkitaan eri tutkijoiden alkuperäistutkimuksia. Se toteutetaan olemassa olevan tiedon tunnistamiseksi, tulkitsemiseksi, arvioimiseksi ja yhdistämiseksi. Tämän metodin avulla on tarkoitus tiivistää alkuperäistutkimusten olennainen ja olemassa oleva tieto oman tutkimuksen aihepiirissä. Sitten tehdään keskeiset johtopäätökset ennalta asetetun tutkimuskysymyksen mukaan. Tavoitteena kirjallisuuskatsauksessa on kriittisesti tarkasteltu synteesi. Kirjallisuuskatsauksessa yhdistyvät ennalta suunniteltu järjestelmällinen tutkimuksen hakuprosessi, löydettyjen tutkimusten valikointi, kriittinen lukeminen ja arviointi, muistiinpanojen tekeminen alkuperäistutkimuksista, sekä tutkimusten analyysi. Kirjallisuuskatsauksella voi olla erilaisia tavoitteita. Tavoitteena voi olla esimerkiksi kuvata, mitä tutkimusten avulla jo tiedetään aiheesta. (Vilka 2023 A, 11–13.)

Kirjallisuuskatsauksissa on neljä päätyyppiä, joita ovat narratiivinen, systemaattinen, ja integratiivinen kirjallisuuskatsaus, sekä meta-analyysi tekniikkana. Kirjallisuuskatsauksen tyyppin valinnan perusteena on tavoite, kohderyhmä ja katsauksen tarkoitus kohderyhmälle. (Vilka 2023 A, 19.) Kuvaileva kirjallisuuskatsaus on yksi eniten käytetyistä kirjallisuuskatsaustyypeistä. Kuvailevaa kirjallisuuskatsausta voidaan ajatella yleiskatsauksena ilman tarkkoja ja tiettyjä sääntöjä. Katsauksessa käytetyt aineistot ovat laajoja. Aineiston valintaa eivät kuitenkaan rajaa metodiset säännöt. Kuvailevassa kirjallisuuskatsauksessa tutkittava ilmiö pystytään kuvaamaan laaja-alaisesti ja tutkittavan ilmiön ominaisuuksia pystytään luokittelemaan. (Salminen 2011, 6.) Kuvailevan kirjallisuuskatsauksen tarkoituksena on etsiä vastauksia kysymykseen, mitä tutkittavasta ilmiöstä jo tiedetään tai mitkä ovat tutkittavan ilmiön keskeisimmät käsitteet ja niiden suhde toisiinsa. Kirjallisuuskatsauksen avulla voidaan löytää uusi näkökulma tutkittavaan ilmiöön. (Kangasniemi ym. 2013, 294.)

Salminen (2011) mukaan kuvaileva kirjallisuuskatsaus voidaan jakaa kahteen alatyypin: narratiiviseen ja integroivaan. Narratiivisen kirjallisuuskatsauksen avulla voidaan antaa laaja kuva käsiteltävästä aiheesta, tai kuvailla käsiteltävän aiheen kulkua tai historiaa. Narratiivisen kirjallisuuskatsauksen yleisin toteuttamistapa on yleiskatsaus, jonka tarkoituksena on tiivistää aiemmin tehtyjä tutkimuksia. Tässä analyysin muoto on kuvaileva synteesi, jonka yhteenveto on tehty johdonmukaisesti ja ytimekkäästi. (Salminen 2011, 7.)

Narratiivisen kirjallisuuskatsauksen tavoite on ilmiön ymmärtäminen, sekä ymmärretyn tiedon kuvaileminen vakuuttavasti ja johdonmukaisesti. Narratiivisella katsauksella voi tehdä uuden kokonaisnäemyksen tai tiivistyksen jo olemassa olevien alkuperäistutkimusten perusteella, sekä järjestää tietoa johdonmukaiseksi ja jatkuvaksi kokonaisuudeksi. Näin metodilla pystytään antamaan laaja yleis-



kuva käsiteltävästä aiheesta. Kuvaileva kirjallisuuskatsaus on muita katsaustyypppejä vapaampi esimerkiksi tiedonhaun kohdalla ja siinä, kuinka tarkkaan valintakriteerit tulisi määritellä. Alkuperäistutkimuksia tutkittaessa ymmärretään ja tunnistetaan tutkimusten keskeisiä ongelmia, eroja ja yhtäläisyyksiä, lähestymistapoja, sekä epäjohtonmukaisuuksia. (Vilka 2023 A, 21–22.)

Kuvailevassa kirjallisuuskatsauksessa aineiston valintaa ohjaa tutkimuskysymys. Aineiston valinta ja analyysi ovat aineistolähtöisiä ja ne tapahtuvat osittain samanaikaisesti. Aineiston valinnassa huomiota on kiinnitettävä jokaisen alkuperäistutkimuksen rooliin suhteessa tutkimuskysymykseen vastaamiseen. Kuvailevassa kirjallisuuskatsauksessa aineisto muodostuu tutkimusaiheen kannalta merkityksellisestä, aiemmin julkaistuista tutkimuksista. Aineiston valinnan tukena voidaan käyttää taulukointia. Sen tavoitteena on jäsentää valittua aineistoa ja arvioida sen luotettavuutta, sekä tunnistaa valittujen lähteiden sisältö suhteessa tutkimuskysymyksiin. (Kangasniemi ym. 2013, 295–296.)

Hakuprosessi pyritään tekemään läpinäkyvästi, jäsennellysti, tarkasti ja tutkimuskysymykseen suhteutettuna kattavasti. Kirjallisuuskatsauksen hakuprosessi toteutetaan käyttäen ennalta suunniteltua, toistettavaa ja perusteltua menetelmää. Hakuprosessin menetelmällisyys tarkoittaa, että tutkimuskysymys on huolellisesti määritelty, avainsanat tunnistetaan, haun suunnittelussa luonnollisen ja kontrolloidun kielen ero hahmotetaan, hakujen rajaamista ja laventamista sisällyttämis- ja poissulkukriteerein ja että hakukoneissa käytetään vähintään Boolean-hakutekniikkaa. (Vilkkä 2023 A, 54–55.)

Kirjallisuushaku ja aineiston valinta sisältää varsinaisen haun ja omaan tutkimukseen osuvimman kirjallisuuden valintaprosessin (Stolt, Axelin & Suhonen 2016, 25). Systemaattinen hakustrategia tarkoittaa, että identifioidaan minkä tyyppistä aineistoa etsitään, jotta tutkimuskysymykseen voidaan vastata. Hakutermit mietitään niin, että ne ovat loogisia ja osuvia hakua varten ja niiden avulla löydetään tutkimuskysymykseen vastaavaa aineistoa. Systemaattinen haku on kaksivaiheinen. Ensimmäisessä vaiheessa suunnitellaan hakustrategia ja toisessa vaiheessa tehdään itse haku. Suunnitteluvaihe on tärkeä, jotta haussa varmasti käytetään osuvia hakusanoja tutkimusta ajatellen. (Aveyard 2014, 69.) Hakuprosessin kuvaaminen on kuvailtava tarkasti, jotta lukija pystyy sen halutessaan toistamaan. Hakuprosessi ei koskaan ole täydellinen. Sen toteutus on riippuvainen myös käytettävissä olevista resursseista. Hyvin suunnitellussa haussa on kuitenkin aina myös vahvuuksia. (Stolt ym. 2016, 27.) Katsauksessa voidaan suorittaa myös manuaalinen haku, esimerkiksi katsaukseen valittujen tutkimusten lähdeluettelojen läpikäynnillä. Tällöin on mahdollista tunnistaa katsaukseen soveltuvia tutkimuksia, joita ei tullut esille sähköisistä tietokannoista. (Stolt ym. 2016, 27.)

### 8.1 Haku sähköisistä tietokannoista

Alustavasti ennen varsinaista tutkimusta tehtiin eri tietokannoista testihakuja, jotta osattiin määrittellä mitä terveysalan tietokantoja kannattaa käyttää ja kuinka paljon tutkimusartikkeleja löytyy. Testihakujen perusteella suomenkielinen Medic tietokanta suljettiin pois tutkimuksesta, sillä suomalaisilla hakusanoilla ”mammografia” ja ”tekoäly” ei löytynyt kuin 6 hakutulosta, joista yksikään ei ollut tutkimusartikkeli. Samoin Joanna Briggs Insitutute EBD Database jäi pois tutkimuksesta. Tässä tietokannassa hakusanoilla ”mammography” ja ”artificial intelligence” ei löytynyt yhtään julkaisua. Boolean hakutekniikkaa käytettiin sekä testihaussa että varsinaisessa haussa.

Hakusanoja ja hakulausekkeita pohdittiin tarkemmin yhdessä ammattikorkeakoulun informaation kanssa. Myös tutkimukseen käytettäviä tietokantoja pohdittiin. Tietokannoiksi päätyivät tässä vaiheessa PubMed, sekä CINAHL Ultimate. Hakusanoiksi valikoituivat ”Mammography”, ”breast screening”, ”breast cancer screening”, ”breast neoplasm screening” ”artificial intelligence”, ”AI” ja ”a.i.”.

Informaatikon kanssa päädyttiin siihen, että käytetään näitä vapaita hakusanoja, sillä tietokantakoh-  
taisista asiasanastoista ei löytynyt tarkempia alakäsitteitä. Kuvaluentaan liittyvää hakusanaa oli vai-  
kea määrittellä, joten se jätettiin pois hakulausekkeesta. Taulukon 1 hakulausekkeilla CINAHL Ulti-  
mate tietokannasta 278 hakutulosta ja PubMedistä 856 hakutulosta.

TAULUKKO 1. Hakusanat, hakulausekkeet ja käytetyt tietokannat

Käytetyt hakusanat:	Käytetyt hakulausekkeet:	Käytetyt tietokannat:
Mammography, breast scree- ning, breast cancer screening, breast neuroplasm screening, artificial intelligence, AI ja a.i.	(Mammography OR "breast screening" OR "breast cancer screening" OR "breast neu- roplasm screening") AND ("Ar- tificial intelligence" OR AI OR a.i.)	CINAHL Ultimate  PubMed

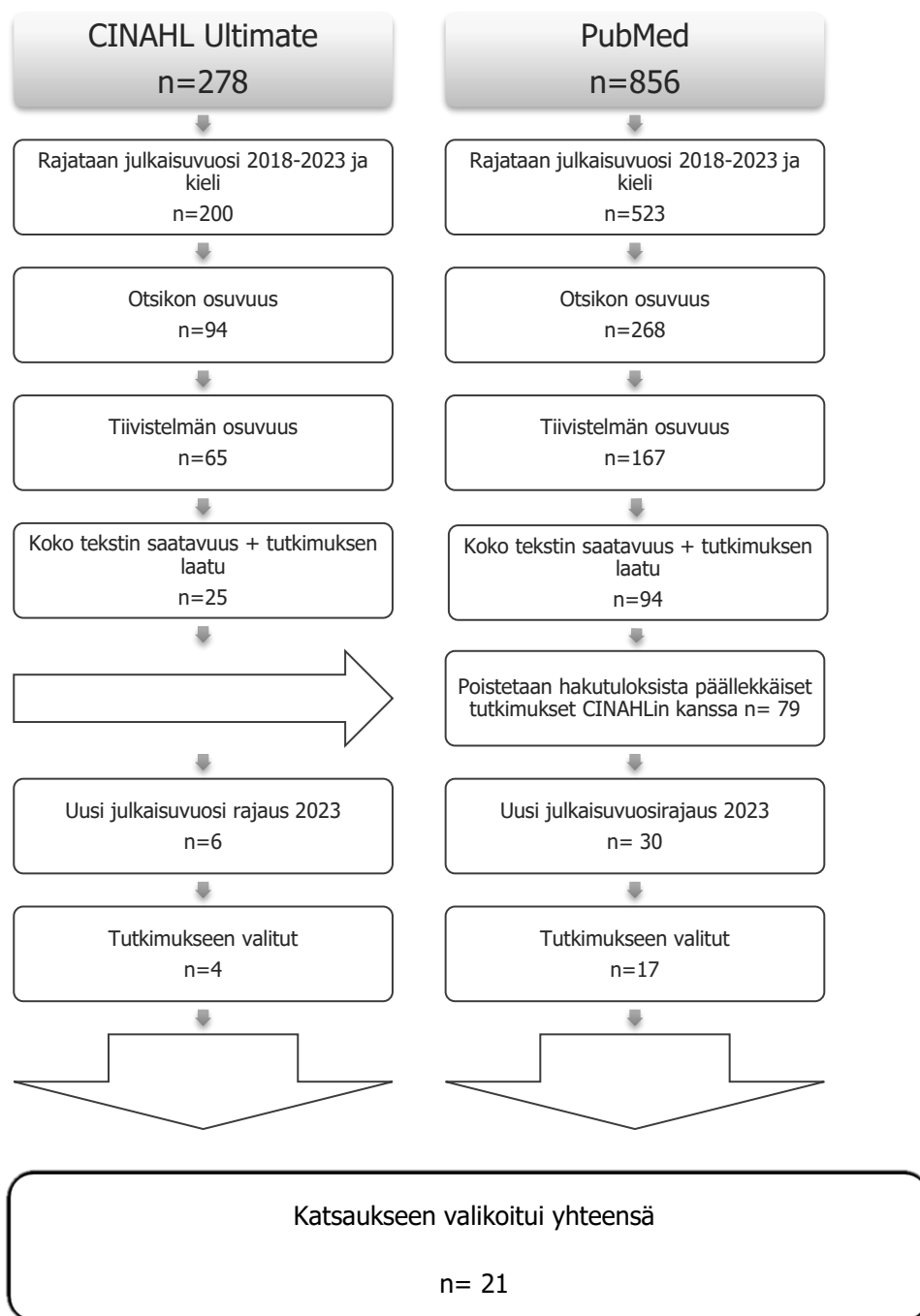
## 8.2 Tutkimusten valinta sisäänotto- ja poissulkukriteereiden avulla

Suunnitelluista hakulausekkeista huolimatta tietokantahakujen tuloksena on myös sellaisia tutkimuk-  
sia, jotka eivät sovi tehtävään katsaukseen. Sisäänotto- ja poissulkukriteerit auttavat tunnistamaan  
sopivia tutkimuksia ensin otsikkotasolla, sitten abstraktitasolla ja lopuksi koko tekstejä tarkastelta-  
essa. (Stolt ym. 2016, 27.) Sisäänotto- ja poissulkukriteerit auttavat tunnistamaan tutkimuskysymyk-  
seen vastaavaa aineistoa. Sisäänotto ja poissulkukriteerit antavat mahdollisuuden demonstroida tut-  
kimuksen laajuutta ja yksityiskohtia, joita ei tutkimuskysymyksen avulla voida todeta. (Aveyard  
2014, 70–71.) Hakuprosessissa valitut tutkimukset tulee arvioida. Arviointi voidaan suorittaa myös  
osana tutkimusten valintaprosessia, jolloin yhdeksi mukaanottokriteeriksi voidaan sisällyttää laadun  
aste. Arvioinnin tarkoituksena on tarkastella valittujen tutkimusten tulosten edustavuutta ja tiedon  
kattavuutta, sekä havaita kuita relevanttia tieto on tutkimuskysymysten kannalta. Arvioinnilla voi-  
daan välttää katsauksen tulosten vinoumia ja virheellisesti painottuneita päätelmiä. (Stolt ym. 2016,  
28.)

TAULUKKO 2. Tutkimusten sisäänotto- ja poissulkukriteerit

Sisäänottokriteerit	Poissulkukriteerit
Vertaisarvioitu tutkimusartikkeli, ei kirjalli- suuskatsaus	Ei vertaisarvioitu tutkimusartikkeli, kirjalli- suuskatsaus
Artikkeli saatavilla koko tekstinä	Artikkelista ei saatavilla koko tekstiä
Artikkeli on saatavilla ilmaiseksi	Artikkeli on maksullinen
Artikkeli on julkaistu vuonna 2023	Artikkeli on julkaistu ennen vuotta 2023
Artikkeli on julkaistu suomeksi tai englanniksi	Artikkeli on muun kuin suomen- tai englan- ninkielinen
Artikkeli sisältää tietoa tekoälyn käytöstä mammografiakuvien kuvanluennassa. Mam- mografialla tarkoitetaan 2D- ja tavallisia rönt- genkuvia.	Artikkeli ei sisällä tietoa tekoälyn käytöstä- mammografiakuvien kuvanluennassa. Mam- mografialla tarkoitetaan muuta kuin 2D- ja tavallisia röntgenkuvia.

Tietokantahaun jälkeen rajattiin aineistoa tietokannoissa sisäänotto- ja poissulkukriteereiden (Taulukko 2) mukaisesti. Ensin valittiin tutkimusten kieleksi englanti tai suomi ja julkaisuvuosi 2018–2023. Rajauksen jälkeen CINAHL Ultimate tietokantaan jäi 200 hakutulosta ja PubMediin 523 hakutulosta. Näiden rajauksien jälkeen aineistoa käytiin läpi tuloksia selaamalla. Katsaukseen sopivia tutkimuksia karsittiin ensin aineiston otsikoiden, sitten tiivistelmän perusteella. Tämän jälkeen aineistosta rajattiin pois ne artikkelit, joita ei löydy/saa ilmaiseksi koko tekstinä, ovat ei vertaisarvioituja artikkeleja tai kirjallisuuskatsauksia. Tässä vaiheessa aineistonhakua koko tekstin arviointiin jäi tietokannoista CINAHL Ultimate 25 tutkimusartikkelia ja PubMed 94 tutkimusartikkelia. Päällekkäisiä tutkimusartikkeleja oli CINAHL Ultimaten ja PubMedin välillä 15 kappaletta. Nämä vähennettiin PubMedistä saadusta aineistosta, jonne jäi tämän jälkeen 79 tutkimusartikkelia. Koska aineisto on edelleen laaja, rajattiin tutkimuksen julkaisuvuodet vuosista 2018–2013 vuoteen 2023. Näin aineistoa saatiin rajattua kohtuulliseksi. Lopuksi aineisto arvioitiin koko tekstin perusteella: sisältääkö aineisto tietoa tekoälyn käytöstä mammografiakuvien kuvanluennassa. Katsaukseen valikoitui yhteensä 21 tutkimusartikkelia. Valintaprosessi on kuvailtu kuvassa 2.



Kuva 2. Kaavio aineiston valinnasta

### 8.3 Aineiston analyysi

Uutta tietoa syntyy analysoimalla alkuperäistutkimuksien havaintoja. Hakuprosessin jälkeen analysoinnissa tulisi olla vain ne tutkimukset, jotka ovat katsauksen kannalta merkityksellisiä. Sisällönanalyysi koostuu kolmesta vaiheesta. Ensimmäinen vaihe on tiedonjärjestämisen vaihe, jossa selvitetään tutkimusten aihe, teoria, menetelmä ja tavoite. Jäsentely voidaan tehdä eri apuvälinein, kuten taulukoin ja kuvion. Toisessa analyysin vaiheessa tehdään induktiivinen analyysi. Tällöin edetään aineistosta löytyneistä, sekä tutkimuskysymyksen kannalta olennaisista havainnoista päätelmiin ja tuloksiin. Kolmannessa vaiheessa analyysi raportoidaan. Sisällönanalyysin tavoitteena on luoda aineis-

tosta asiakokonaisuus, eli synteesi. (Vilka 2023 B, 3.1.) Liitteessä 1 on alkuperäistutkimusten taulukointi, johon kerättiin tutkimusten tiedot aihe ja tavoite, sekä menetelmä. Lisäksi liitteeseen on kirjattu myös tutkimuksen keskeiset tulokset.

Sisällönanalyysi on perusanalyysimenetelmä, jota voidaan käyttää kaikissa laadullisissa tutkimuksissa (Tuomi & Sarajärvi 2018, 102). Sisällönanalyysin menetelmällä voidaan aineistoa analysoida objektiivisesti ja systemaattisesti. Tällä analyysimenetelmällä pyritään saamaan tutkittavasta ilmiöstä tiivistetty ja yleisessä muodossa oleva kuvaus. Sisällönanalyysillä kerätty aineisto saadaan jäsenneiltyä johtopäätöksiä varten. (Tuomi & Sarajärvi 2018, 117.) Tutkimuksen aineisto kuvaa tutkittavaa ilmiötä ja analyysillä pyritään luomaan selkeä ja sanallinen kuvaus tutkittavasta ilmiöstä. Aineisto pyritään sisällönanalyysin avulla jäsentelemään selkeään ja tiiviiseen muotoon kadottamatta aineiston sisältämää informaatiota. Näin luodaan selkeyttä aineistoon, jotta saadaan luotettavia johtopäätöksiä ilmiöstä. (Tuomi & Sarajärvi 2018, 122.)

Induktiivisessa, eli aineistolähtöisessä analyysissä tutkimusaineistosta pyritään luomaan teoreettinen kokonaisuus (Tuomi & Sarajärvi 2018, 108). Tässä analyysissä on karkeasti jaoteltuna kolme vaihetta: aineiston redusointi eli pelkistäminen, aineiston klusterointi eli ryhmittely ja abstrahointi eli teoreettisten käsitteiden luominen (Tuomi & Sarajärvi 2018, 122). Ensimmäinen vaihe on aineiston pelkistäminen (reduointi). Siinä aineistosta karsitaan tutkimukselle epäolennainen tieto pois. Pelkistäminen voi tapahtua esimerkiksi niin, että aineistosta etsitään tutkimustehtävää kuvaavia ilmaisuja. Pelkistetyt ilmaukset voidaan listata allekkain, jolloin saadaan hyvä pohja klusteroinnille. Datan pelkistämisen jälkeen toteutetaan datan ryhmittely eli klusterointi. Tässä vaiheessa aineistosta eriteltyt alkuperäisilmaukset käydään läpi tarkasti ja aineistosta etsitään samankaltaisuuksia ja eroavaisuuksia kuvaavia käsitteitä. Samaa ilmiötä kuvaavat käsitteet yhdistetään alaluokiksi ja nämä alaluokat nimetään sisältöä kuvaavalla käsitteellä. Tällöin aineisto tiivistyy, koska yksittäiset tekijät sisällytetään yleisempiin käsitteisiin. Käsitteiden ryhmittelystä käytetään nimeä alaluokka ja niitä yhdistelemällä muodostetaan yläluokkia ja yläluokkia yhdistelemällä pääluokkia. Klusteroinnissa luodaan pohja tutkimuksen perusrakenteelle, sekä alustavia kuvauksia tutkittavasta ilmiöstä. Aineiston klusterointia seuraa aineiston käsitteellistäminen eli abstrahointi. Siinä erotetaan tutkimuksen kannalta olennainen tieto ja valikoidun tiedon perusteella muodostetaan teoreettisia käsitteitä. Käsitteellistämässä edetään alkuperäisdatan käyttämistä kielellisistä ilmaisuista teoreettisiin käsitteisiin ja johtopäätöksiin. (Tuomi & Sarajärvi 2018, 122–125.)

Aineistolähtöisessä sisällönanalyysissä yhdistellään käsitteitä, jolloin saadaan vastaus tutkimustehtävään. Se perustuu tulkintaan ja päättelyyn, jossa edetään empiirisestä aineistosta kohti käsitteellistä näkemystä. Käsitteellistämistä eli abstrahointia voidaan pitää prosessina, jossa tutkija rakentaa kuvauksen tutkimuskohteesta muodostamiensa käsitteiden avulla. (Tuomi & Sarajärvi 2018, 127.) On huomattava, että sisällönanalyysi kirjallisuuskatsauksessa on aina vain aineiston järjestämisen apuväline. Kun se on apuväline, usein jo alaluokkien, joskus yläluokkien luokittelu saattaa riittää. Näiden avulla aineisto saadaan ryhmiteltyä ja järjestettyä, eikä pyritä abstrahointiin, kuten muissa laadullisissa tutkimuksissa. (Tuomi & Sarajärvi 2018, 140.)

Liitteessä 2 ja kuvassa 3 on kuvailtu aineiston redusointi pelkistettyihin käsitteisiin, sekä klusterointi ala- ja yläluokkiin. Taulukoinnin avulla tutkimustulokset on helpompi ryhmitellä ja järjestellä kokonaisuudeksi luokittelujen perusteella.

Pelkistetyt ilmaisut	Alaluokat	Yläluokat
<ul style="list-style-type: none"> <li>- AI + R lukee kuvat yhtä hyvin kuin R + R</li> <li>- AI + R havaitsee paremmin syövät kuin R + R</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Tekoälyn ja radiologin tekemä kaksoisluenta verrattuna kahden radiologin tekemään kaksoisluentaan.</li> </ul>	Tekoälyn käyttö kuvanluennassa radiologin kanssa
<ul style="list-style-type: none"> <li>- AI on sensitiivisempi kuin R</li> <li>- AI ei ole niin spesifi kuin R</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Tekoälyn suorituskyky verrattuna radiologin suorituskykyyn kuvanlukijana</li> </ul>	

Kuva 3. Esimerkki aineiston luokittelusta

## 9 TUTKIMUSTULOKSET

Tämän katsauksen aineistoon hyväksyttiin yhteensä 21 vertaisarvioitua tutkimusartikkelia. Kaikki artikkelit vastaavat tutkimuskysymyksiin. Valitun aineiston tutkimukset oli tehty ympäri maailman ja useat tutkimukset oli suoritettu eri maiden ja eri yliopistojen yhteistyönä. Maat löytyvät liitteestä 1 alkuperäistutkimusten taulukointi. 19 tutkimusta on tehty retrospektiivisenä tutkimuksena, jonka aineisto oli kerätty ja analysoitu jälkikäteen. Yksi tutkimus on prospektiivinen tutkimus ja yksi satunnaistettu kontrolloitu tutkimus.

### 9.1 Tekoälyn suoritus seulontamammografian kaksoisluennassa on verrattavissa radiologin suoritukseen

Radiologin ja tekoälyn suorittaman kaksoisluennan on todettu olevan kaikilla mittareilla vähintään yhtä hyvää, kuin kahden radiologin suorittama kaksoisluenta (Ng, Glocker, Oberije, Fox, Sharma, James, Ambrózay, Nash, Karpati, Kerruish & Kecskemethy 2023, 271; Dembrower, Crippa, Colon, Eklund & Strand 2023, 707). Se on myös yhtä turvallista, sillä syöpien havaitsemista mittaavat luvut olivat samanarvoisia tekoälyn ja radiologin suorittamalla kaksoisluennalla kuin kahden radiologin suorittamalla kaksoisluennalla (Lång, Josefsson, Larsson, Larsson, Högberg, Sartor, Hofvind, Andersson & Rosso 2023, 942). Tekoälyn käyttö toisena kuvanlukijana seulontamammografiassa radiologin kanssa vähensi kuvan diagnosointiin liittyviä erimielisyyksiä, verrattuna kahden radiologin suorittamaan kaksoisluentaan (Ng ym. 2023, 271). Tekoälyn käyttö seulontamammografiassa kaksoisluennan tukena oli vähintään yhtä hyvää kuin radiologien suoritus, kun otetaan huomioon esim. spesifisyys, sensitiivisyys, takaisinkutsuntaluku ja syövänhavaitsemisluku (Sharma, Ng, James, Khara, Ambrózay, Austin, Forrai, Fox, Glocker, Heindl, Karpati, Rijken, Venkataraman, Yearsley & Kecskemethy 2023, 6).

Seulontamammografiassa käytetyt tekoälysovellukset havaitsivat enemmän rintasyöpiä, kuin radiologit omassa kuvanluennassaan. Kun tekoälyn ja radiologin mielipide-eroja seurattiin tutkimuksessa, huomattiin, että tekoäly havaitsi merkittävästi enemmän intervallisia (seulontojen välissä ilmeneviä) syöpiä kuin radiologit. Tämän seurauksena tekoäly merkitsi kuviin kuitenkin enemmän vääriä positiivisia merkintöjä. (Ng ym. 2023, 271.) Kun verrattiin tekoälyn ja radiologin suorittamaan seulontamammografian kaksoisluentaa kahden radiologin suorittamaan kaksoisluentaan, huomattiin, että tekoälyn ja radiologin suorittama kaksoisluenta havaitsi neljä prosenttia enemmän seulontakuvauksissa havaittuja rintasyöpiä (Dembrower ym. 2023, 708). Tekoäly systeemin lisääminen mammografiaseulonnan työnkulkuun auttoi havaitsemaan viisi yhdeksästä (17,9 %) radiologien huomaamatta jääneistä rintasyöivistä (Yoon, Han, Suh, Youk, Lee & Kim 2023, 3).

Tekoälyn hyvä suorituskyky kuvalukijana näkyy erityisesti tiheiden rintakudosten omaavien naisten kohdalla, sillä tutkimuksen mukaan tekoäly huomasi jopa sata prosenttia seulontatutkimuksen yhteydessä esiintyvistä rintasyöivistä, jotka esiintyivät tiheä rintakudoksisilla naisilla (Koch, Larsen, Bartsch, Kurz & Hofvind 2023, 3738–3739). Tekoäly havaitsi epänormaaleja löydöksiä jo seulontamammografiaa edeltävistä kuvista, jolloin voidaan todeta, että tekoäly voi auttaa havaitsemaan rintasyöpiä aikaisemmassa vaiheessa (Koch ym. 2023, 3741).

Tekoälyn käyttö seulontamammografioiden toisena kuvanlukijana on yhtä sensitiivistä, kuin kahden radiologin tekemä kaksoisluenta, verrattuna yhden radiologin tekemään kuvanluentaan (Heywang-



Köbrunner, Hacker, Jänsch, Hertlein, Mieskes, Elsner, Sinnatamby & Katalinic 2023, 2700). Myös yksittäin verrattuna tekoälyn ja radiologin tekemän kuvaluennan sensitiivisyys on sama, mutta tekoälyn spesifisyys on pienempi (Marinovich, Wylie, Lotter, Lund, Waddel, Madeley, Pereira & Houssami 2023, 4). Vaikka tekoälyn käyttö toisena kuvanlukijana on yhtä sensitiivistä, kuin kahden radiologin tekemä kaksoisluenta, on huomioitava, että tekoälyn tarkkuus oli kuitenkin huonompi verrattain radiologien tekemään kaksoisluentaan. Tästä kertoo jopa kaksinkertaiset väärät positiivisen tulokset tekoälyn suorittamassa kuvanluennassa. (Heywang-Köbrunner ym. 2023, 2700.)

Tekoälyn ja radiologin yhteistyö seulontamammografiatilanteessa laski varmistustutkimuksien määrää. Samalla yhdistelmällä syövän havaitsemisluku oli pienempi, mutta tekoäly havaitsi myös sellaisia intervallisyöpiä, joita radiologit eivät havainneet. (Marinovich ym. 2023, 5–6.) Yoonin ym. (2023, 4–5) tutkimuksen mukaan tekoälyn tekemä itsenäinen kuvanluenta mammografiaseulonnoissa aiheutti korkeammat takaisinkutsunta luvut, mutta sensitiivisyys ja syövän havaitsemisluku pysyivät samana, kuin radiologien suorittamissa tutkimuksissa.

## 9.2 Tekoälytyökalujen käyttö parantaa radiologien suoritusta ja auttaa muutosten havaitsemisessa

Tekoälystä on hyötyä lobulaaristen (rauhasperäisten) rintasyöpien tunnistamisessa. Tekoäly havaitsi jopa 80 % loburaalisista rintasyöivistä. Parhaiten se suoriutui kalkkeutumien havainnoinnissa ja huonoiten erilaisten vääristymien havainnoinnissa. Tässä tutkimuksessa tekoäly sovellus antoi kuitenkin suuren määrän vääriä positiivisia merkintöjä, keskimäärin 3,9 mammografiakuvaa kohden. (Acre, Vijay, Yim, Spiguel & Hanna 2023, 3–4.) Tekoälyn suorituskyky syöpien havaitsemisen osalta kertoo kuitenkin siitä, että tekoälyteknologiaa voisi käyttää toisena kuvanlukijana mammografiaseulonnassa. (Acre ym. 2023, 5).

Tekoälyn spesifisyys ja täsmällisyys benignien ja malignien asymmetristen muutosten havainnoinnissa on tutkimuksen mukaan korkeampi verrattuna erikoistuvien radiologien suoritukseen. Myös AUC (Area under curve, spesifisyyden ja sensitiivisyyden suhde) arvot olivat huomattavasti suuremmat tekoälyllä, kuin erikoistuvilla radiologeilla epäsymmetristen muutosten tunnistamisessa. Erikoistuneiden radiologien suoritus AUC arvoa tarkastellessa oli kuitenkin parempi, kuin tekoälyllä. (Liao, Li, Ouyang, Lin, Lai, Cheng & Ma 2023, 4.)

Tekoälyn käyttöä mammografiakuvien kuvanluennassa ultraäänessä havaittujen rintasyöpien kohdalla on myös tutkittu. Kaiken kaikkiaan tekoäly havaitsi 26,6 prosenttia kaikista ultraäänessä todetuista rintasyöivistä mammografiakuvien perusteella ja näin ollen sen käyttö apu työkalun voisi pienentää radiologilta huomaamatta jääneitä rintasyöpätapauksien määrää (Yoen & Chang 2023, 8). Tekoäly ei siis kuitenkaan havainnut suurinta osaa ultraäänessä havaituista rintasyöivistä mammografiakuvien perusteella, mutta auttoi kuitenkin radiologeja löytämällä syöpiä, joita radiologien oli hankala havaita kuvista. Tekoäly merkitsi vääriä positiivisia kohteita 11,9 prosenttiin terveistä kuvista. Tuumorin koko vaikutti tekoälyn kykyyn havaita rintasyöpiä mammografiakuvista, sillä mitä suurempi tuumori oli kyseessä, sitä helpommin tekoäly sen havaitsi. (Yoen & Chang 2023, 4.)

Tekoälyn avulla arvioida myös korkean riskin muutoksia rinnassa, jotka mahdollisesti liittyvät rintasyövän sairastumisen riskiin. Tekoälyn tarkkuus luokitella nämä muutokset maligneiksi tai beni-

gneiksi oli 84 % (Aslan, Oktay, Katuk, Erdur, Dikenelli, Yeniay, Zekioğly & Özbek 2023, 265). Tutkimuksen mukaan tekoälymalli tunnisti kaikki ne korkean riskin muutokset, jotka olivat benigneiksi todettuja leikkauksen myötä ja jotka pysyivät samanlaisena pitkän seurannan aikana. Tämän löydöksen myötä tarpeettomien rintaleikkauksien määrä laskisi 71 prosentilla. (Aslan ym. 2023, 266.)

Rintakudoksen tiheyttä voidaan arvioida tekoälysovelluksen avulla. Automatisoitu rinnan tiheyttä mittaava tekoälytyökalu on tutkitusti yhtä tehokas kuin radiologin tekemä tulkinta rinnan tiheydestä. (Lewin, Schoenherr, Seebass, Lin, Philpotts, Etesami, Butler, Durand, Heller, Heacock, Moy, Tocino & Westerhoff 2023, 205.) Se paransi myös radiologien yhteysymmärrystä rinnan tiheyden arvioinnissa. Tämän takia myös rintasyöpään sairastumisen riskin arviointi paranee ja rinnan tiheyteen kiinnitetään huomiota myös asiakkaan tulevissa seulontamammografioissa. (Lin, Wu, Li, Oyang, Ma, Yi & Tang 2023, 1826.)

Tekoäly radiologin kuvanluennan tukena on tehokasta varsinkin vanhempien naisten kohdalla, joilla on tiheä rintarauhaskudos. Tällöin tekoäly vähentää huomattavasti vääriä negatiivisia tuloksia. (Salim, Dembrower, Eklund, Smith & Strand 2023, 5.) Syväoppimiseen perustuvan rinnan tiheyttä arvioivan tekoälytyökalun diagnostinen suorituskyky on todettu hyväksi benignien ja malignien rintamuutosten tunnistamisessa. Massaa mittaavan ROI (region of interest) mallin tarkkuus on hyvin korkea, joten siksi tällainen tekoälymalli voisi parantaa radiologista diagnostista suoritusta ja vähentää väärin tehtyjä diagnooseja varsinkin benignien massamuutosten kohdalla. (Chen, Lin, Ye, Tong, Lin & Cai 2023 B, 6.) Tekoälytyökalun käytöstä on hyötyä rintarauhaskudoksen kalkkeutumien tunnistamisessa ja luokittelussa. Tutkimuksen mukaan jopa 80,8 % benigneistä biopsioista voitaisiin välttää tekoälyyn perustuvan luennan avulla (Chen, Cheng, Wang, Hsu, Chen, Tseng & Guo 2023 A, 5).

Tekoälyä voidaan käyttää rintasyövän ennustetekijöiden arviointiin radiologin kuvanluennan tukena. Tekoälyn ja radiologin suorittamassa kuvanluennassa ei kuitenkaan ole havaittu merkittäviä eroja, kun tarkoituksena oli arvioida tuumorin kokoa, imusolmukkeiden statusta, tuumorin histologista statusta ja invasiivisten syöpien havaitsemista (Oberije, Sharma, James, Y, Nash & Kecskemethy 2023, 5–8). Vaikka ennustetekijöiden havainnoinnissa ei huomattu eroavaisuuksia tekoälyn ja radiologin välillä, todettiin kuitenkin, että tekoäly havaitsi tässäkin tutkimuksessa intervalliset rintasyövät huomattavasti paremmin kuin radiologi (Oberije ym. 2023, 4–5). Näiden tulosten perusteella tekoälyn käyttö ei ainakaan tuo huonoja vaikutuksia seulontaohjelmaan. Tämä taas tukee ajatusta siitä, että tekoälyn käyttöä toisena kuvanlukijana seulontamammografian työnkulussa tulisi pohtia. (Oberije ym. 2023, 8–9).

Tekoälytyökalun avulla radiologin suorituskyky parani. AUC arvo parani huomattavasti varsinkin kohdallaisen tiheiden rintojen kuvanluvussa. Radiologin sensitiivisyys kuvanluennassa kasvoi yli kymmenen prosenttia, kun kuvanluennassa käytettiin apuna tekoälyä. Sensitiivisyyden kasvu oli huomattavaa varsinkin niissä kuvissa, joissa rintakudoksen tiheys oli matala tai keskiverto. Radiologien kuvanluennan spesifisyys laski hieman tekoälyn kanssa, mutta kuitenkin hyvin vähän. (Bao, Shen, Zhang, Zhang, Wei, Wang, Ding & Han 2023, 3720.) Näin voidaan todeta, että tekoälyn käyttö radiologien kuvanluennan apuna, paransi kokonaisuudessaan radiologien suorituskykyä (Bao ym, 2023, 3722).

Tekoälytyökalun käyttö paransi selvästi varsinkin erikoistuvien radiologien suoritusta. Tämä näkyi AUC:n kasvuna. Suorituskyky parani erikoistuvilla radiologeilla varsinkin kalkkeutumia ja massoja sisältävien kuvien kuvanluennassa. Jo erikoistuneiden radiologien suorituskykyyn kalkkien ja massojen havaitsemisen osalta tekoälytyökalulla ei ollut vaikutusta. (Zhou, Chang, Ding, Deng, Cheng & Wang 2023, 591–592.) Radiologien keskiarvot spesifisyyden ja tarkkuuden osalta paranivat tekoälytyökalun käytön myötä. Tämä näkyi etenkin tiheiden rintojen kuvanluennassa. (Lee, Kim, Yoon, Han, Son, Shin & Moon 2023, 1811.)

### 9.3 Tekoälyn käyttö sujuvoittaa radiologien työtä ja vähentää työkuormaa

Tekoälyn käytöllä on suuria positiivisia vaikutuksia radiologien työn sujuvuuteen ja työkuormaan liittyen. Tekoälyn käyttö kaksoisluennan toisena itsenäisenä kuvanlukijana vähensi radiologien työtaakkaa, eli luettavien kuvien määrää 30–44 prosenttia (Sharma ym. 2023, 6; Marinovich ym. 2023, 5–6). Långin ym. (2023, 942) kuvanluennan määrä pieneni peräti puolella ja Ng ym. (2023, 271) mukaan työkuorma väheni jopa 87 %, sillä toisen radiologin työpanosta ei ensimmäisellä kuvanluentakierroksella tarvita lainkaan.

Tekoälyn käyttö vähentää radiologin ensimmäisen kierroksen luettavat kuvat käytännössä kokonaisuudessaan, mutta se lisää yhteislukuun listattavien tutkimuksien määrää (Dembrower ym. 2023, 708–709; Marinovich ym. 2023, 6). Vaikka yhteislukuun valittavien tutkimusten tekemiseen menisi hieman enemmän aikaa, on huomioitava tekoälyn käyttö toisena kuvanlukijana radiologien työkuormaa vähentävänä tekijänä. (Dembrower ym. 2023, 708–709.) Långin ym. (2023, 942) tutkimuksen mukaan tekoälyn käyttö ei vaikuttanut vääriin positiivisiin löydöksiin, takaisinkutsuntojen määrään tai yhteisluku tilaisuuksiin. Kun taas tekoälyä käytettiin suurennoskuvien kuvanluennan apuna, se vähensi takaisinkutsuntojen määrää huomattavasti. Takaisinkutsuntojen määrät laskivat riippumatta kuvattujen rintojen kudostyyppistä. (Lee ym. 2023, 1811.)

Radiologien kuvanluku-aika mammografiakuva kohden laski huomattavasti tekoälyavusteisessa kuvanluennassa (Bao ym. 2023, 3721; Zhou ym. 2023, 592). Ilman tekoälyavusteista kuvanlukua mediaani kuvanluku-aika oli 215 sekuntia/mammografiakuva ja tekoälytuetussa kuvanluennassa 106 sekuntia/mammografiakuva. (Bao ym. 2023, 3721.) Yhteen mammografiakuvaan kuluva kuvanluku-aika pieneni sekä erikoistuneilla että erikoistuvilla radiologeilla tekoälytyökalun avulla (Zhou ym. 2023, 592).

Useissa tämän katsauksen tutkimuksissa tekoälyn käyttö lisäsi väärin positiivisten merkintöjen määrää mammografiakuvissa. Väärät positiiviset merkinnät mammografiakuvissa indikoivat radiologille mahdollisesti lisätyötä, sillä radiologien tulisi huomata nämä väärät positiiviset merkinnät, jotta takaisinkutsuntojen määrä ei kasvaisi. Tämä lisää kuvanlukuun kuluva aikaa. (Acre ym. 2023, 5.)

Tutkimustuloksia tarkastellessa huomattiin, että tekoälyn käytöstä on sekä hyötyä että haittaa. Tekoälyn käyttöä seulontamammografiakuvien toisena kuvanlukijana on tutkittu useassa aineistoon valitussa tutkimuksessa. Radiologin ja tekoälyn suorittaman mammografiakuvien kaksoisluennan on todettu olevan laadullisesti vähintään yhtä hyvää kuin kahden radiologin tekemä kaksoisluenta (Ng ym. 2023, 271; Dembrower ym. 2023, 707; Sharma ym. 2023, 6). Tekoälyn käyttö toisena kuvanlukijana on myös turvallista (Lång ym. 2023, 6). Näiden tutkimusten perusteella kuvanluenta ei heikene tekoälyn käytön myötä toisena seulontamammografiatutkimusten kuvanlukijana. Tällöin tekoälyn käyttö nähtäisiin hyötynä, sillä se vähentäisi radiologien tarvetta kuvanluennan vaiheessa. Tekoälyn käyttö seulontamammografiatutkimusten toisena kuvanlukijana vähentää radiologien välisiä erimielisyyksiä. (Ng ym. 2023, 271). Tällöin kuvanluku prosessi on jouhevampaa ja yhteislukuun etenee vähemmän tutkimuksia.

Tekoälysovellusten on todettu havaitsevan enemmän erilaisia rintasyöpiä seulontamammografiakuvista (Ng ym. 2023, 271; Dembrower ym. 2023, 708; Yoon ym. 2023, 3; Koch ym. 2023, 3738–3741; Marinovich ym. 2023, 5–6.). Rintasyöpien herkempi ja aikaisemmin todettu havaitseminen on hyvä ja tavoiteltu asia mammografiakuvien kuvanluennassa, jolloin tekoälyn käyttö kuvanluennassa on hyödyllistä.

Tekoälyn käyttö kaksoisluennan toisena kuvanlukijana radiologin sijasta, on todettu olevan yhtä sensitiivistä kuin kahden radiologin tekemä kaksoisluenta (Marinovich ym. 2023, 4; Heywang-Köbrunner ym. 2023, 2700; Yoon ym. 2023, 4–5). Spesifisyys kuitenkin laskee (Marinovich ym. 2023, 4; Heywang-Köbrunner ym. 2023, 2700), jonka myötä väärät positiiviset tulokset jopa kaksinkertaistuvat (Heywang-Köbrunner ym. 2023, 2700). Sensitiivisyyden eli herkyyden pysyminen samana tekoälyn käytön kanssa on tietysti hyödyllistä, mutta spesifisyyden laskua voidaan pitää haittana. Väärin positiivisten löydösten kasvu on myös haitta, sillä se antaa vääriä hälytyksiä ja lisää radiologien työtä yhteisluvun vaiheessa.

Tekoäly auttaa rintakudoksen tiheyden luokittelussa. Rintakudoksen tiheyttä mittaava tekoälytyökalu on tutkitusti yhtä tehokas kuin radiologin tekemä arvio rinnan tiheydestä. (Lewin ym. 2023, 205.) Tekoälyn apu paransi radiologien yhteisymmärrystä rintakudoksen tiheyden arvioinnissa. Tämän myötä rintasyöpään sairastumisen riskin arviointi paranee ja rintakudoksen tiheyteen kiinnitetään huomiota myös tulevilla kuvauksilla. (Lin ym. 2023, 1826.) Vanhempien tiheä rintakudoksisten naisten kohdalla tekoälytyökalu auttoi vähentämään vääriä negatiivisia tuloksia (Salim ym. 2023, 5). Työkalun suorituskyky on todettu hyväksi malignien ja benignien muutosten tunnistamisessa tiheärintakudoksisilla naisilla. Se voisi käytännössä parantaa radiologien diagnostista suoritusta ja vähentää väärin tehtyjä diagnooseja. (Chen ym. 2023 B, 6.) Tekoälytyökalun käyttö rinnan tiheyden arvioinnissa voidaan siis nähdä hyötynä.

Tekoälysovellus on hyödyksi kalkkeutumien havainnoinnissa (Acre ym. 2023, 3–4; Chen ym. 2023 A, 5). Se on tehokasta myös kalkkeutumien diagnosoinnissa ja tutkimuksen mukaan sen avulla voitaisiin välttää jopa 80,8 prosenttia benignien kalkkeumamuutoksien biopsioista (Chen ym. 2023 A, 5).

Tekoäly on tehokas kalkkeutumien havainnoinnissa ja diagnosoinnissa, ja sen avulla voidaan välttää suuri määrä turhia näytteenottoja. Tässäkin tekoälyn käyttö on siis hyödyllistä.

Rintasyövät voivat joskus olla myös mammografiassa näkymättömiä ja sen havainnointiin tarvitaan muita kuvausmetodeja, kuten ultraääntä. Tutkimuksen mukaan tekoälysovellus huomasi neljäsosan radiologeilta mammografiakuvauksessa huomaamatta jääneitä rintasyöpiä, jotka havaittiin vasta ultraäänitutkimuksella (Yoen & Chang ym. 2023, 8). Tekoälyn käyttö voisi siis vähentää huomaamatta jääneiden rintasyöpien määrää niillä naisilla, joilla syöpää ei ole huomattu mammografiakuvista.

Joskus rinnasta löytyy syövän esiasteisia muutoksia. Näiden muutosten arviointiin, sekä niiden hyvän- ja pahanlaatuisuuden arviointiin voidaan myös käyttää tekoälytyökalua. Tekoäly luokittelee 84 prosentin tarkkuudella malignit ja benignit muutokset. (Aslan ym. 2023, 265.) Se tunnistaa myös ne benignit muutokset, joita voidaan jäädä seuraamaan ilman toimenpiteitä. Tämä vähentää korkean riskinmuutosten leikkauksia 71 prosentilla. (Yoen & Chang ym. 2023, 8.) Tekoälyn rooli on hyödyllinen korkean riskin muutosten havaitsemisessa ja turhien rintaleikkausten määrän vähentämisessä.

Tekoälyn ja radiologin kyvyssä havainnoida rintasyövän ennustetekijöitä ei havaittu merkittäviä eroja (Oberije ym. 2023, 5–8). Tekoälystä ei siis ollut hyötyä eikä haittaa ennustetekijöiden arvioinnissa. Tekoälyn on havaittu olevan parempi epäsymmetristen rintamuutosten havainnoinnissa, verraten erikoistuvien radiologien suoritukseen. Erikoistuneiden radiologien suoritus oli kuitenkin parempi epäsymmetristen muutosten diagnosoinnissa verrattuna tekoälyyn. (Liao ym. 2023, 4.) Tässä tapauksessa tekoälystä voisi olla hyötyä erikoistuvien radiologien työn tukena.

Tekoälytyökalun käytöllä on vaikutuksia radiologien suorituskykyyn. Tekoälytyökalun avulla radiologien kuvanluennan suorituskyky parani ja varsinkin sensitiivisyys kasvoi. Spesifisyys laski hieman. (Bao ym. 2023, 3720.) Toisen tutkimuksen mukaan tekoälyn käyttö paransi varsinkin erikoistuvien radiologien suorituskykyä, varsinkin massoja ja kalkkeutumia sisältävien mammografiakuvien kuvanluennassa. Erikoistuneiden suorituskykyyn tekoälyn käytöllä ei ollut vaikutusta. (Zhou ym. 2023, 591–592.) Etenkin tiheää rintakudosta sisältävien mammografiakuvien kuvanluennassa radiologien spesifisyys ja sensitiivisyys kasvoivat. (Lee ym. 2023, 1811.) Tekoälytyökalun käytöstä mammografiakuvien kuvanluennan apuna on hyödyllisiä vaikutuksia radiologien suorituskykyyn.

Tekoälyn käyttö mammografiakuvauksissa vähensi monen tutkimuksen mukaan radiologien työkuormaa (Sharma ym. 2023, 6; Marinovich ym. 2023, 5–6; Långin ym. 2023, 942; Ng ym. 2023, 271). Myös kuvanlukuun kuluva aika väheni tekoäly avusteisessa kuvanluennassa (Bao ym. 2023, 3721; Zhou ym. 2023, 592). Tekoälyn käyttö mammografiakuvien kuvanluennassa lisäsi kuitenkin yhteislukuun kutsuttavien tapausten määrää (Dembrower ym. 2023, 708–709; Marinovich ym. 2023, 6). Joidenkin tutkimusten mukaan yhteisluettavien tutkimuksen määrä ei kuitenkaan noussut (Lång ym. 2023, 942) ja varmistustutkimuksiin kutsuttujen tutkimusten määrä jopa väheni, kun tekoälyä käytettiin suurennoskuvien kuvanluennassa (Lee ym. 2023, 1811) ja seulontamammografiakuvien kuvanluennassa (Marinovich ym. 2023, 5–6). Tekoälyn käytön vuoksi väärin positiivisten tulosten määrä kasvoi (Ng ym. 2023, 271; Acre ym. 2023, 5; Heywang-Köbrunner ym. 2023, 2700; Yoen & Chang ym. 2023, 4.). Tämä tarkoittaa radiologille lisää työtä kuvienluennassa ja lisää kuvanlukuun

kuluvaa aikaa. (Acre ym. 2023, 5.) Tulosten perusteella tekoölyn käytön ansiosta radiologien työkuorma väheni ja kuvanluentaan kuluva aika lyhentyi suurimmassa osassa tutkimuksissa. Tämä on radiologien ajankäytölle hyödyksi ja aikaa vapautuu myös muihin työtehtäviin.

Tulosten perusteella voidaan siis todeta, että tämän aineiston mukaan tekoölyn käytöllä mammografiakuvien kuvanluennassa on enemmän hyötyjä kuin haittoja. Taulukossa 4 on kuvattu hyödyt ja haitat yksinkertaistetusti ja tiivistetysti. Tutkimusten mukaan tekoölyn käyttöä varsinkin seulontamammografiatutkimuksissa tulisi miettiä, sillä se vähentää huomattavasti radiologien työkuormaa, sekä kuvanlukuun kuluvaa aikaa. Tekoölyn suoritus mammografiakuvien kuvanluennassa on tutkimusten mukaan vähintään yhtä hyvää kuin radiologien suoritus, ja tekoölyyn perustuvat työkalut paransivat radiologien suoritusta. Tekoölyyn perustuvassa luennassa sensitiivisyys kasvoi, mutta spesifisyys laski, joka johti kasvaviin väärin positiivisiin tuloksiin. Tekoöly kuitenkin havaitsi paremmin ja aikaisemmassa vaiheessa erilaisia syöpiä. Se on myös hyvä havaitsemaan ja luokittelemaan muita poikkeamia mammografiakuissa.

TAULUKKO 4. Tekoölyn käytön hyödyt ja haitat seulontamammografiakuvien kuvanluennassa yksinkertaistetusti.

HYÖDYT	HAITAT
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Radiologien yleinen suorituskky parani.</li> <li>- Radiologien sensitiivisyys kuvanluennassa parani.</li> <li>- Tekoölyn ja radiologin tekemän kaksoisluennan suoritus oli vähintään yhtä hyvää kuin kahden radiologin tekemä.</li> <li>- Tekoöly havaitsi rintasyöpiä paremmin ja aikaisemmassa vaiheessa kuin radiologit.</li> <li>- Tekoöly on hyvä rinnan tiheyden mittaamisessa.</li> <li>- Tekoöly on hyvä kalkkeutumien ja muutosten havainnoinnissa ja luokittelussa.</li> <li>- Tekoöly tunnistaa korkean riskin muutokset ja osaa luokitella ne.</li> <li>- Radiologien työkuorma ja kuvanlukuun kuluva aika väheni.</li> <li>- Tekoöly vähentää radiologien välisiä erimielisyyksiä kuvista.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Radiologien spesifisyys laski.</li> <li>- Tekoölyn ja radiologin tekemissä kaksoisluennoissa spesifisyys laski.</li> <li>- Tekoöly lisäsi yhteislukuun kutsuttavien määrää, joka saattaa lisätä radiologien työkuormaa.</li> <li>- Tekoöly teki paljon vääriä positiivisia merkintöjä, joka saattaa lisätä radiologien työkuormaa.</li> </ul>

Tekoälyn käyttöä mammografiakuvien kuvanluennassa on tarkasteltu myös muissa kirjallisuuskatsauksissa. Batchun ym. (2021) kirjallisuuskatsauksen tuloksissa todetaan, että tekoälyn käyttö vähentää radiologien työkuormaa ja tuo radiologille diagnostista tukea kuvanluentaan. Tekoäly kykenee luokittelemaan maligneja ja benignejä rintamuutoksia, sekä havainnoimaan tiheä rintakudoksia mammografia kuvia, jolloin rintasyöpään sairastumisen riskiä voidaan arvioida paremmin. (Batchu, Liu, Amireh, Waller & Umair 2021, 484–486.)

Vedanthamin ym. (2022) tekemässä katsauksessa todetaan, että tekoäly tarjoaa radiologin suorituksen verrattavaa havainnointia ja diagnosointia. Tekoäly havaitsee hyvin maligneja ja benignejä muutoksia, sekä kalkkeutumia. Sen todettiin myös havaitsevan hyvin tiheää rintarauhaskudosta ja luokkitelevan sitä. Tekoälyn ja radiologin kuvanluenta on katsauksen mukaan yhtä hyvää verrattuna toisiinsa. Tekoälyn käyttö myös tässä katsauksessa pienentää radiologien työtaakkaa ja parantaa työn sujuvuutta. (Vedantham, Shazeeb, Chiang & Vijayaraghavan 2022, 3–4.)

Andersonin ym. (2022) katsauksen mukaan tekoäly oli kuvanluennassa tarkempi verrattuna radiologiin. Tarkkuus parani myös silloin, kun tekoälyä käytettiin radiologin aputyökaluna. Tarkkuudella tässä tutkimuksessa tarkoitetaan AUC arvon kasvua. (Anderson, Marinovich, Houssami, Lowry, Elmore, Buist, Hofvind & Lee 2022, 6–7.)

Muiden kirjallisuuskatsauksen tulokset tekoälyn käytön hyödyistä mammografiakuvien kuvanluennassa ovat yhteneväiset tämän katsauksen tuloksiin verrattuna. Tekoälyn käytön haitoista mammografiakuvien kuvanluennassa ei kuitenkaan ollut mainintaa näissä katsauksissa. Andersonin ym. (2022, 8) tutkimuksessa pohdittiin sitä, ettei aiheesta ole tehty kuin retrospektiivisiä tutkimuksia, jolloin huolenaiheena on harhakuva potilasmateriaalista ja sen käyttökelpoisuudesta. Myös Vedanthamin ym. (2022, 5) mukaan heidänkin käyttämät tutkimukset olivat retrospektiivisiä ja tarvitaan myös kliinisiä prospektiivisiä tutkimuksia validoimaan nämä tutkimustulokset. Myös Batchun ym. (2021, 487) katsaus sisälsi vain retrospektiivisiä tutkimuksia. Yhdeksäntoista tämänkin katsauksen tutkimuksista oli retrospektiivisiä tutkimuksia.

Kirjallisuuskatsaus oli tutkijalle itselleen uusi tutkimusmenetelmä ja sen toteuttamisessa koettiin erilaisia vaiheita. Aineistonhaun edetessä huomattiin, että tekoälyyn ja mammografiaan liittyviä tutkimuksia on lähivuosina tehty hyvin paljon. Alkuperäinen aineiston rajaus piti supistaa vuosista 2018–2023 ainoastaan vuoteen 2023. Tämä johtui siitä, että kirjallisuuskatsaukseen sopivia artikkeleja olisi tullut lukuun yli sata kappaletta. Vuosiluvun rajauksella tutkimusaineisto saatiin supistettua järkeviin lukemiin. Tietokantoja olisi ollut PubMedin ja CINAHL Ultimaten lisäksi muitakin mahdollisia, mutta nämä kaksi tuottivat jo runsaan määrän tuloksia. Jos tietokantoja olisi lisätty, olisi aineiston määrä kasvanut liian suureksi. Tutkimusten määrästä voidaan päätellä, että aiheena tekoälyn käyttö mammografiassa on kiinnostava ja sen mahdollisuuksia tulevaisuudessa halutaan tutkia.

Tutkimustulokset vastaavat tutkimuskysymyksiin. Katsauksen tulokset vastasivat odotuksiani, sillä tekoälyä on kuitenkin käytetty radiologiassa jo jonkin aikaan. Itseäni jäi mietityttämään eniten tekoälyn eettiset kysymykset itsenäisenä kuvanlukijana, sekä se kenellä on vastuu, jos tekoäly algoritmi toimisikin jostain syystä väärin ja tästä koituisi haittaa kuvatulle henkilölle. Tämän katsauksen tulokset olivat linjassa aiemmin tehtyjen katsausten kanssa.

Tässä tutkimuksessa keskityttiin tekoälyn tekniseen suoritukseen mammografiakuvien kuvanluennassa. Tekoälyn vaikutusta mammografiakuvien kuvanluennassa voidaan pohtia myös radiologien tai asiakkaiden kokemusten ja ennako-oletuksien näkökulmasta. Tämän tutkimuksen vaihtoehtoisena tutkimusmenetelmänä olisi voinut siis olla esimerkiksi kysely- tai haastattelu tutkimus. Tällöin olisi voinut kartoittaa esimerkiksi radiologien näkemystä tekoälyn käytöstä mammografiakuvien kuvanluennassa.

Tutkimusidea lähti tutkijan ammattiosaamisesta radiologiassa ja mammografiakuvauksessa, sekä mielenkiinnosta digitalisaatiota ja tekoälyä kohtaan radiologiassa. Tämän lisäksi tekoälysovellus mammografiakuvien kuvanluennan avuksi on otettu Suomessa pilotointiin ainakin yhdessä terveydenhuollon yrityksessä, jolloin kiinnostus aiheeseen heräsi vielä enemmän.

Koska useassa tutkimuksessa tutkittiin tekoälyn käytön vaikutuksia seulontamammografian kuvanluennassa, on tekoälyn käytöllä mahdollisesti tarve ja oma paikkansa rintojen kuvantamisen diagnostiikassa. Koska seulontamammografiakuvaukset rasittavat radiologeja suurella työkuormallaan, olisi tekoälyn käytöllä merkittäviä parannuksia työkuorman vähentämiseen. Aiheeseen liittyy vielä paljon eettisiä kysymyksiä ja tekoälyn toimivuutta esimerkiksi seulontamammografiatutkimuksissa tutkitaan jatkossa luultavasti paljon.

### 11.1 Tutkimuksen etiikka ja luotettavuus

Opinnäytetyön jokaisessa vaiheessa on noudatettu hyvää tutkimusetiikkaa. Etiikka katsoo asioita moraalisesta näkökulmasta. Tällöin ollaan kiinnostuneita mikä on hyväksyttävää tai tuomittavaa, oikein tai väärin, hyvää tai pahaa. (Launis & Pietarinen 2002, 42–43.) Tieteen etiikalla tarkoitetaan eettisten kysymysten tarkastelua, jotka nousevat esiin tutkimusta tehdessä tai jotka liittyvät tutkittavan kohteen erityislaatuun (Launis ja Pietarinen 2002, 46). Vilkan (2021) mukaan tutkimusetiikalla tarkoitetaan yleisesti sovittuja pelisääntöjä suhteessa tutkimuskohteeseen, rahoittajiin, kollegoihin,



toimeksiantajiin ja suureen yleisöön. Tutkimusetiikka kulkee läpi tutkimusprosessin ideointivaiheesta tutkimustuloksiin. (Vilkka 2021, 2 Tutkimukselle asetetut tavoitteet: tutkimusetiikka.)

Opinnäytetyö toteutettiin ammattikorkeakoulujen opinnäytetöiden eettisten ohjeistusten mukaisesti (ARENE 2019) ja hyvää tieteellistä käytäntöä (HTK) noudattaen (TENK 2023). Hyvän tieteellisen käytännön toteuttamisesta vastaa työn tekijä itse. Tutkimuksessa noudatettiin tiedeyhteisön tunnus-  
tampia toimintatapoja: yleistä huolellisuutta ja rehellisyyttä, tarkkuutta tutkimustyössä, sekä tulosten tallentamisessa, esittämisessä ja tutkimuksen tulosten arvioinnissa. Tiedonhankinta-, tutkimus- ja arviointimenetelmät ovat eettisesti kestäviä ja tieteellisen tutkimuksen kriteerien mukaisia. Tuloksia julkaistaessa toteutetaan avoimuutta ja vastuullista tiedeviestintää. Muiden tutkijoiden työ ja saavutukset on huomioitu asianmukaisella tavalla, eli työssä on kunnioitettu heidän tekemää työtään ja viitataan heidän julkaisuihinsa asianmukaisella tavalla. Tutkimus suunnitellaan, toteutetaan ja raportoidaan tieteelliselle tiedolle asetettujen vaatimusten edellyttämällä tavalla. Tutkijan esteellisyys on arvioitu ennen tutkimuksen aloittamista. (TENK 2023.) Opinnäytetyön tekijä on varmistanut, ettei kyseisen opinnäytetyön tekemiseen tarvita tutkimuslupaa, sillä opinnäytetyö tehdään kirjallisuuskatsauksena ilman toimeksiantajaa, eikä myöskään rahoitusta ole opinnäytetyön tekemiseen käytetty. Opinnäytetyö on tarkistettu plagiaatintunnistusjärjestelmässä. (ARENE 2019.)

Laadullisen tutkimuksen luotettavuutta voidaan pohtia kolmen käsitteen avulla. Nämä käsitteet ovat luotettavuus, uskottavuus ja eettisyys. Luotettavuus tarkoittaa, että tutkija vakuuttaa uskottavin perusteluin, että hän on kyennyt valitsemaan ja käyttämään oikeanlaisia menetelmiä ja lähestymistapoja vastatakseen tutkimusongelmaan ja toteuttaakseen tutkimuksen. Luotettavuuden vaatimus kohdistuu jokaiseen tutkimuksen vaiheeseen. Tutkijan on kuvattava tutkimuksen eteneminen juuri sellaisena kuin se on toteutunut. Uskottavuus kertoo siitä, missä määrin tutkimusta lukevat henkilöt, tutkimukseen osallistuneet henkilöt ja yleisö hyväksyvät tutkimuksen tulokset tosiksi, sekä luottavat asianmukaiseen aineiston keruuseen ja aineiston analysointiin. Eettisyys tarkoittaa sitä, että tutkija on noudattanut eettisiä periaatteita koko tutkimuksen teko ajan. Tutkimuksessa käytetyt menetelmät ja analyysitavat voivat toimia minkä tahansa hyvin tehdyn tutkimuksen ohjenuorina. (Puusa & Juuti 2020, 167.)

Eskolan ja Suorannan (1998) mukaan, laadullisessa tutkimuksessa arviointi pelkistyy kysymykseen tutkimusprosessin luotettavuudesta. Pääasiallinen luotettavuuden kriteeri on tutkija itse, jolloin luotettavuuden arviointi koskee koko tutkimusprosessia. (Eskola & Suoranta 1998, 151–152.) Kaikissa tutkimuksissa pyritään arvioimaan luotettavuutta. Mittaustulosten toistettavuutta kuvataan termillä tutkimuksen reliabelius. Tutkimuksen validius tarkoittaa tutkimusmenetelmän kykyä mitata juuri sitä, mitä on tarkoituskin mitata. (Kananen 2017, 175; Hirsjärvi, Remes & Sajavaara 2007, 226–227.) Laadullisen tutkimuksen luotettavuutta parantaa tutkijan yksityiskohtainen selostus tutkimuksen toteuttamisesta. Tämä koskee tutkimuksen kaikkia vaiheita. (Hirsjärvi, Remes & Sajavaara 2007, 226–227.) Luotettavuusmittarit (reliabiliteetti ja validiteetti) ovat tutkijalle tarkistuspisteitä tutkimuspolulla edetessä. Tutkimuksen validiteetti liittyy tutkimuksen suunnitteluun (tutkimusasetelmaan) ja osittain aineiston analyysin oikein tekemiseen. Reliabiliteetti liittyy lähinnä tutkimuksen toteuttamiseen. (Kananen 2017, 175–176.)

Tämän tutkimuksen aineiston haku on suoritettu hakuprosessin suunnitelman mukaisesti ja se on raportoitu mahdollisimman tarkasti, jotta se voitaisiin toistaa uudelleen. Valittujen artikkelien luotettavuutta on arvioitu hakuvaiheessa ja itse tutkimukseen on valittu vain vertaisarvioituja tutkimusartikkeleja, jotka läpäisivät haussa määritellyt sisäänotto- ja poissulkukriteerit. Tulokset on raportoitu analyysin mukaisesti, sekä totuudenmukaisesti ja tutkimusten suorittajia kunnioittaen.

## 11.2 Jatkotutkimus- ja kehittämisideat

Tämän opinnäytetyön tulokset hyödyttävät kliinisen radiografian kanssa työskenteleviä henkilöitä, jotka haluavat lisätietoa tekoälyperusteisesta kuvanluennasta mammografiakuvauksissa. Tulosten avulla voidaan mahdollisesti tarkastella, olisiko tekoälyyn perustuvan kuvanluennan käyttöönotto hyödyllistä eri kuvantamisyksiköissä.

Koska tässä tutkimuksessa ei käsitelty tekoälyn etiikkaa radiologiassa, olisi jatkotutkimusehdotuksena tehdä tutkimus tai katsaus tekoälyn käytön etiikasta diagnostisten kuvien kuvanluennassa. Toisena jatkotutkimusideana olisi kartoittaa joko radiologien tai kuvantamiseen osallistuvien asiakkaiden ajatuksia tekoälyn käytöstä diagnostisten kuvien kuvanluennassa.

## LÄHTEET

- American College of radiology, julkaisuaika tuntematon. What Is a Radiologist? <https://www.acr.org/Practice-Management-Quality-Informatics/Practice-Toolkit/Patient-Resources/About-Radiology>. Viitattu 7.8.2023.
- Anderson, Anna W., Marinovich, Luke, Houssami, Nehmat, Lowry, Kathryn P., Elmore, Joann, Buist, Diana S.M., Hofvind, Solveig & Lee, Christoph I. 2022. Independent External Validation of Artificial Intelligence Algorithms for Automated Interpretation of Screening Mammography: A Systematic Review. *Journal of the American College of Radiology* 2022 February; 19(2 Pt A): 259–273.
- Arce, Sylvia, Vijay, Arunima, Yim, Eunice, Spiguel, Lisa R. & Hanna, Mariam 2023. Evaluation of an Artificial Intelligence System for Detection of Invasive Lobular Carcinoma on Digital Mammography. *Cureus* 15(5): e38770.
- Arene 2019. Ammattikorkeakoulujen opinnäytetöiden eettiset suositukset. Verkkojulkaisu. <https://www.arene.fi/wp-content/uploads/Raportit/2020/AMMATTIKORKEAKOULU-JEN%20OPINN%c3%84YTET%c3%96IDEN%20EETTISET%20SUOSITUKSET%202020.pdf?t=1578480382>. Viitattu 7.8.2023.
- Aslan, Özge, Oktay, Ayşenur, Katuk, Başak, Erdur, Riza Cenk, Dikenelli, Oğuz, Yeniay, Levent, Zekiöğlü, Osman & Özbek, Süha Süreyya 2023. Prediction of Malignancy Upgrade Rate in High-risk Breast Lesions Using an Artificial Intelligence Model: a Retrospective Study. *Diagn Interv Radiol* 2023.
- Aveyard, Helen 2014. Doing a literature review in health and social care. A practical guide. 3rd edition. Open University Press. New York.
- Bao, Chengzhen, Shen, Jie, Zhang, Yue, Zhang, Yan, Wei, Wei, Wang, Ziteng, Ding, Jia & Han, Lili 2023. Evaluation of an Artificial Intelligence Support System for Breast Cancer Screening in Chinese People Based on Mammogram. *Cancer Medicine* 2023;12: 3718–3726.
- Batchu, Sai, Liu, Fan, Amireh, Ahmad, Waller, Joseph & Umair, Muhammad 2021. A Review of Applications of Machine Learning in Mammography and Future Challenges. *Oncology* 2021; 99:483–490.
- Bitencourt, Almir, Naranjo, Isaac Daimiel, Lo Gullo, Roberto, Rossi Saccarelli, Carolina & Pinker, Katja. AI-enhanced Breast Imaging: Where Are We and Where Are We Heading? *European Journal of Radiology* 142 (2021) 109882.
- Blanco Sequeiros, Roberto 2017. Radiologisten tutkimusten tulkinta. *Kliininen radiologia. Duodecim* 2017.
- Blanco Sequeiros, Roberto & Lundbom, Nina 2017. Tutkimusmenetelmien erityispiirteitä. *Kliininen radiologia. Duodecim* 2017.
- Borana, Jatin 2016. Applications of Artificial Intelligence & Associated Technologies. Verkkojulkaisu. <https://test.globalinfocloud.com/technodigisoftnew/wp-content/uploads/2019/07/Applications-of-Artificial-Intelligence-Associated-Technologies.pdf>. Viitattu 15.8.2023.
- Chen, Qian-qian, Lin, Shu-Ting, Ye, Jia-yi, Tong, Yun-fei, Lin, Shu & Cai, Si-qing 2023 B. Diagnostic Value of Breast Masses by Using Deep Learning. *Frontiers Oncology* 13:1110657.
- Chen, Jian-Ling, Cheng, Lan-Hsin, Wang, Jane, Hsu, Tun-Wei, Chen, Chin-Yu, Tseng, Ling-Ming & Guo, Shu-Mei 2023 A. A YOLO- based AI System for Classifying Calcifications on Spot Magnification Mammograms. *BioMedicalEngineering OnLine* 2023, 22:54.

- Dembrower, Karin, Crippa, Alessio, Colon, Eugenia, Eklund, Martin & Strand, Fredrik 2023. Artificial Intelligence for Breast Cancer Detection in Screening Mammography in Sweden: a Prospective, Population-based, Paired-reader, Non-inferiority Study. *Lancet Digit Health* 2023; 5: e703-11.
- Duodecim Terveysportti, julkaisuaika tuntematon A. Sanakirja. *Radiologia*. Viitattu 22.8.2023.
- Duodecim Terveysportti, julkaisuaika tuntematon B. Sanakirja. *Radiologi*. Viitattu 22.8.2023.
- Duodecim Terveysportti, julkaisuaika tuntematon C. Sanakirja. *Röntgenhoitaja*. Viitattu 22.8.2023.
- Duodecim Terveysportti, julkaisuaika tuntematon D. Sanakirja. *Diagnostiikka*. Viitattu 18.12.2023.
- EPRS 2020. Artificial intelligence: How does it work, why does it matter, and what can we do about it? Verkkojulkaisu. [https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/STUD/2020/641547/EPRS\\_STU\(2020\)641547\\_EN.pdf](https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/STUD/2020/641547/EPRS_STU(2020)641547_EN.pdf). Viitattu 2.8.2023.
- Eskola, Jari & Suoranta, Juha 1998. *Johdatus laadulliseen tutkimukseen*. Tampere. Vastapaino.
- Heywang-Köbrunner, Sylvia H., Hacker, Astrid, Jänsch, Alexander, Hertlein, Michael, Mieskes, Christoph, Elsner, Susanne, Sinnatamby, Ruchira & Katalinic, Alexander 2023. Use of Novel Artificial Intelligence Computer-assisted Detection (AI-CAD) for Screening Mammography: an Analysis of 17,884 Consecutive Two-view Full-field Digital Mammography Screening Exams. *Acta Radiologica* 2023, Vol. 64(10) 2697–2703.
- Hirsjärvi, Sirkka, Remes, Pirkko & Sajavaara, Paula 2018. *Tutki ja kirjoita*. Helsinki. Tammi.
- Hirsjärvi, Sirkka, Remes, Pirkko & Sajavaara, Paula 2007. *Tutki ja Kirjoita*. Helsinki. Tammi.
- Huhtanen, Heidi, Nyman, Mikko, Karlsson, Antti & Hirvonen, Jussi 2020. Tekoäly radiologiassa. *Duodecim* 2020; 136:1957–64.
- Jairam, Meghan P. & Ha, Richard 2022. A Review of Artificial Intelligence in Mammography. *Clinical imaging* 88 (2022) 36–44.
- Jyrkkiö, Sirkku 2023. Syöpäsairauksien monimuotoisuus. *Syöpäsairaudet*. *Duodecim* 2023.
- Jyrkkiö, Sirkku & Leppä, Sirpa 2023. Mitä syöpäsairauksien hoito on? *Ydinasiat*. *Syöpäsairaudet*. *Duodecim* 2023.
- Kananen, Jorma 2017. *Laadullinen tutkimus pro graduna ja opinnäytetyönä*. Jyväskylän ammattikorkeakoulu.
- 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), 291–301.
- Kelleher, John D. 2020. *Syväoppiminen. Kuinka tekoäly toimii?* Helsinki. Libris.
- Koch, Henrik Wethe, Larsen, Marthe, Bartsch, Hauke, Kurtz, Kathinka Dæhli & Hofvind, Solveig 2023. Artificial Intelligence in Breastscreen Norway: a Retrospective Analysis of a Cancer-enriched Sample Including 1254 Breast Cancer Cases. *European Radiology* (2023) 33:3735–3743.
- Launis, Veikko & Pietarinen Juhani 2002. *Etiikan luonne ja alueet*. Tutkijan eettiset valinnat. Helsinki. Gaudeamus.
- Lee, Si Eun, Kim, Ga Ram, Yoon, Jung Hyun, Han, Kyunghwa, Son, Won Jeong, Shin, Hye Jung & Moon, Hee Jung 2023. Artificial Intelligence Assistance for Women Who Had Spot Compression View: Reducing Recall Rates for Digital Mammography. *Acta Radiologica* 2023, Vol. 64(5) 1808–1815.

- Lewin, John, Schoenherr, Sven, Seebass, Martin, Lin, MingDe, Philpotts, Liane, Etesami, Maryam, Butler, Reni, Durand, Melissa, Heller, Samantha, Heacock, Laura, Moy, Linda, Tocino, Irena & Westerhoff, Malte 2023. PACS-integrated Machine Learning Breast Density Classifier: Clinical Validation. *Clinical Imaging* 101 (2023) 200–205.
- Liao, Tingting, Li, Lin, Ouyang, Rushan, Lin, Xiaohui, Cheng, Guanxun & Ma, Jie 2023. Classification of Asymmetry in Mammography via the DenseNet Convolutional Neural Network. *European Journal of Radiology Open* 11 (2023) 100502.
- Lin, Xiaohui, Wu, Shibin, Li, Lin, Ouyang, Rushan, Ma, Jie, Yi, Chunyan & Tang, Yuxing 2023. Automatic Mammography Breast Density Classification in Chinese Women: Clinical Validation of a Deep Learning Model. *Acta Radiologica* 2023 Vol. 64(5) 1823–1830.
- Lång, Kristina, Josefsson, Viktoria, Larsson, Anna-Maria, Larsson, Stefan, Högberg, Charlotte, Sartor, Hanna, Hofvind, Solveig, Andersson, Ingvar & Rosso Aldana 2023. Artificial Intelligence-supported Screen Reading Versus Standard Double Reading in the Mammography Screening with Artificial Intelligence Trial (MASAI): a Clinical Safety Analysis of a Randomised, Controlled, Non-inferiority, Single-blinded, Screening Accuracy Study. *Lancet Oncology* 2023; 24: 936–44.
- Marinovich, M. Luke, Wylie, Elizabeth, Lotter, William, Lund, Helen, Waddel, Andrew, Madeley, Carolyn, Pereira, Gavin & Houssami, Nehmat 2023. Artificial Intelligence (AI) for Breast Cancer Screening: BreastScreen Population-based Cohort Study of Cancer Detection. *eBioMedicine* 2023;90: 104498
- Mattson, Johanna & Karihtala, Peeter 2023. Rintasyövän yleisyys, vaaratekijät ja ehkäisy. *Syöpätaudit*. *Duodecim* 2023.
- Merilehto, Antti. 2018. *Tekoäly: matkaopas johtajalle*. Helsinki: Alma Talent.
- Mueller, John Paul & Massaron, Luca 2018. *Artificial Intelligence For Dummies*. Hoboken. John Wiley & Sons, Inc.
- Ng, Annie Y, Glocker, Ben, Oberije, Cary, Fox, Gerogia, Sharma, Nisha, James, Jonathan J., Ambrózay, Éva, Nash, Jonathan, Karpati, Edith, Kerruish, Sarah & Kecskemethy, Peter. D. 2023. Artificial Intelligence as Supporting Reader in Breast Screening: A Novel Workflow to Preserve Quality and Reduce Workload. *Journal of Breast Imaging* 2023, 267–276.
- Oberije, Cary J. G., Sharma, Nisha, James, Jonathan J. Ng, Annie Y., Nash, Jonathan Nash & Kecskemethy, Peter D. 2023. Comparing Prognostic Factors of Cancers Identified by Artificial Intelligence (AI) and Human Readers in Breast Cancer Screening. *Cancers* 2023, 15, 3069.
- Pesapane, Filippo, Codari, Marina & Sardanelli, Francesco 2018. Artificial Intelligence in Medical Imaging: Threat or Opportunity? *Radiologists Again at the Forefront of Innovation in Medicine*. *European Radiology Experimental* (2018) 2:35.
- Puusa, Anu & Juuti, Pauli 2020. *Laadullisen tutkimuksen näkökulmat ja menetelmät*. Gaudeamus.
- Ravi, Daniele, Wong, Charence, Deligianni, Fani, Berthelot, Melissa, Andreu-Perez, Javier, Lo, Benny, & Yang, Guang-Zhong 2017. *Deep Learning for Health Informatics*. *IEE Journal of biomedical and health informatics*. Vol. 21, No 1.
- Rissanen, Tarja & Dean, Peter B. & 2017. *Rinnan kuvantamismenetelmien perusteet ja käyttöalueet*. *Kliininen radiologia*. *Duodecim* 2017.
- Rodríguez-Ruiz, Alejandro, Krupinski, Elizabeth, Mordang, Jan-Jurre, Schilling, Kathy, Heywang-Köbrunner, Sylvia H., Sechopoulos, Ioannis, Mann, Ritse M. 2019. Detection of Breast Cancer with Mammography: Effect of an Artificial Intelligence Support System. *Radiology* 2019; 00:1–10.

Ruonala, Verner 2022. Radiologisten tutkimusten ja toimenpiteiden määrät vuonna 2021. Terveystieteiden valvontaraportti. STUK-B 295. Verkkojulkaisu. <https://www.julkari.fi/bitstream/handle/10024/145428/STUK-B-295-Radiologisten-tutkimusten-m%C3%A4%C3%A4r%C3%A4t-vuonna-2021.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Viitattu 1.8.2023.

Salim, Mattie, Dembrower, Karin, Eklund, Martin, Smith, Kevin & Strand Fredrik 2023. Differences and Similarities in False Interpretations by AI CAD and Radiologists in Screening Mammography. *Br J Radiol* (2023).

Salminen, Ari 2011. Mikä kirjallisuuskatsaus? Johdatus kirjallisuuskatsauksen tyyppeihin ja hallintotieteellisiin sovelluksiin. Vaasan yliopisto julkaisuja. Verkkojulkaisu. [https://osuva.uwasa.fi/bitstream/handle/10024/7961/isbn\\_978-952-476-349-3.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://osuva.uwasa.fi/bitstream/handle/10024/7961/isbn_978-952-476-349-3.pdf?sequence=1&isAllowed=y). Viitattu 30.8.2023.

Salo, Immo 2023. Luova tekoäly mullistaa kaiken: ChatGPT näyttää tietä. Viro: Printon.

Sharma, Nisha, Ng, Annie Y., James, Jonathan J., Khara, Galvin, Ambrózay, Éva, Austin, Christopher C., Forrai, Gábor, Fox, Georgia, Glocker, Ben, Heindl, Andreas, Karpati, Edit, Rijken, Tobias M, Venkataraman, Vignesh, Yearsley, Joseph E. & Kecskemethy, Peter D. 2023. Multi-vendor Evaluation of Artificial Intelligence as an Independent Reader for Double Reading in Breast Cancer Screening on 275,900 Mammograms. *BMC Cancer* (2023) 23:460

Sosiaali- ja terveysministeriö, julkaisuaika tuntematon. Syöpäseulonnat. Verkkojulkaisu. <https://stm.fi/seulonnat/syopaseulonnat>. Viitattu 14.11.2023.

Sosiaali- ja terveysministeriön asetus säteilyn lääketieteellisestä käytöstä 423/2000. <https://finlex.fi/fi/laki/alkup/2000/20000423#Lidm46434451402896>. Viitattu 15.11.2023.

Stolt, Minna, Axelin, Anna & Suhonen, Riitta 2016. Kirjallisuuskatsaus hoitotieteessä. Turun Yliopisto.

STUK 2013. ST3.8 Säteilyturvallisuus mammografiatutkimuksissa. <https://www.stuklex.fi/fi/ohje/ST3-8>. Viitattu 14.8.2023

Suomen syöpärekisteri, julkaisuaika tuntematon. Rintasyövän seulonta. Verkkojulkaisu. <https://syoparekisteri.fi/seulonta/rintasyovanseulonta/>. Viitattu 14.11.2023.

TENK 2023. Hyvä tieteellinen käytäntö (HTK). Verkkojulkaisu. <https://tenk.fi/fi/tiedevilppi/hyva-tieteellinen-kaytanto-htk>. Viitattu 7.8.2023.

Tuomi, Jouni & Sarajärvi, Anneli 2018. Laadullinen tutkimus ja sisällön analyysi. Helsinki: Tammi.

Vedantham, Srinivasan, Shazeeb, Mohammed Salman, Chiang, Alan & Vijayaraghavan, Gopal R. 2022. Artificial Intelligence in Breast X-ray Imaging. *Elsevier* 2022; 44: 2–7.

Vehmanen, Leena 2020. Rintasyövän toteaminen, alatyyppit ja ennuste. *Lääkärilehti Duodecim*. <https://www.terveyskirjasto.fi/dlk00618>. Viitattu 15.11.2023.

Vilkka, Hanna 2023 A. Kirjallisuuskatsaus metodina, opinnäytetyön osana ja tekstilajina. Helsinki. Art House.

Vilkka, Hanna 2023 B. Kirjallisuuskatsaus metodina, opinnäytetyön osana ja tekstilajina. Helsinki. Art House. E-kirja.

Vilkka, Hanna 2021. Tutki ja kehitä. Jyväskylä. PS-kustannus. E-kirja.

Yoen, Heera & Chang, Jung Min 2023. Artificial Intelligence Improves Detection of Supplemental Screening Ultrasound-detected Breast Cancers in Mammography. *J Breast Cancer*. 2023 Oct; 26(5): e39.

Yoon, Jung Hyun, Han, Kyungwha, Suh, Hee Jung, Youk, Ji Hyun, Lee, Si Eun & Kim, Eun-Kyung 2023. Artificial Intelligence-based Computer-assisted Detection/Diagnosis (AI-CAD) for Screening Mammography: Outcomes of AI-CAD in the Mammographic Interpretation Workflow. *European Journal of Radiology Open* 11 (2023) 100509.

Yoon, Jung Hyun & Kim, Eun-Kyung 2020. Deep Learning-Based Artificial Intelligence for Mammography. *Korean Journal of Radiology* 2021;22(8), 1225–1239.

Zhou, Wen, Zhang, Xiaodong, Ding, Jia, Deng, Lingbo, Cheng, Guanxun & Wang, Xiaoying 2023. Improved Breast Lesion Detection in Mammogram Images Using a Deep Neural Network. *Diagn Interv Radiol* 2023.

## LIITE 1: KIRJALLISUUSKATSAUKSEN TUTKIMUSTAULUKKO

Tekijä, vuosi ja julkaisumaa	Julkaisun nimi	Tutkimuksen tarkoitus	Tutkimusmenetelmä	Keskeiset tulokset	Laadunarviointi: onko kyseessä vertaisarvioitu tutkimusartikkeli?	Tietokanta ja vastaako tutkimuskysymykseen? Hyöty/haitta?
<b>Oberije, Sharma, James, Y, Nash &amp; Kecs-kemethy</b>  <b>2023</b>  <b>Iso-Britannia</b>	Comparing Prognostic Factors of Cancers Identified by Artificial Intelligence (AI) and Human Readers in Breast Cancer Screening	Vertailla AI:n ja radiologin havaitsemien rintasyöpien ennustetekijöitä keskenään, kuten syövän invasiivisuutta, histologista statusta, imusolmukkeiden pahanlaatuisuuden astetta ja kasvaimen kokoa.	Retrospektiivinen kohorttitutkimus, johon kerättiin 1718 seulonnassa löytynyttä syöpätapausta, sekä 293 intervallisyöpä tapausta. Nämä kuvat luetutettiin sekä AI:lla että radiologilla.	Ennustetekijöissä ei huomattu eroja, olipa kuvat siten luettu AI:n tai radiologin toimesta. AI kuitenkin huomasi paremmin intervallisyöpät, kuin radiologi. Tämä tukee sitä, että AI voisi olla tukena seulonnan kaksoisluennassa.	Kyllä	CINAHL  Hyöty
<b>Heywang-Köbrunner, Hacker, Jänsch, Hertlein, Mieskes, Elsner, Sinatamby &amp; Katalinic</b>  <b>2023</b>  <b>Saksa</b>	Use of novel artificial intelligence computer-assisted detection (AI-CAD) for screening mammography: an analysis of 17,884 consecutive two-view full-field digital mammography screening exams.	Testata DL-AI-CAD systeemiä verrattuna ihmisen suorittamaan kuvien luentaan mammografiaseulonnassa.	Retrospektiivinen, poikittais-tutkimus, jossa 17 884 mammografiatutkimusta kaksoisluettiin radiologin toimesta, sekä analysoitiin DL-AI-CAD systeemillä.	Jokainen ihmisen tekemä kuvanluenta yhdistettynä AI:n kanssa oli yhtä sensitiivinen kuin ihmisten tekemä kaksoisluenta. AI:n ja ihmisen tekemän luennan spesifisyys oli kuitenkin pienempi kuin ihmisten tekemässä kaksoisluennassa. Ihmisen tekemän kuvanluennan ja AI:n yhdistäminen mahdollistaa sensitiivisyyden kasvun, verrattuna yhden ihmisen tekemään kuvanluentaan.	Kyllä	CINAHL  Hyöty ja haitta



<b>Lee, Kim, Yoon, Han, Son, Shin &amp; Moon</b>	Artificial intelligence assistance for women who had spot compression view: reducing recall rates for digital mammography	Tutkia, voiko mammo- grafiassa käytettävä AI algoritmi vähentää vääriä positiivisia tulok- sia niillä naisilla, joilla on otettu myös suu- rennoskuvat.	Retrospektiivinen tutkimus, jossa 471 suurennoskuvissa käyneen naisen kuvat luettiin kolmen radiologin toimesta ja sen jälkeen AI algoritmilla.	AI algoritmi merkittävästi vähensi vääriä positiivisia tuloksia.	Kyllä	CINAHL  Hyöty
<b>2023</b>						
<b>Etelä-Korea</b>						
<b>Arce, Vijay, Ylm, Spiguel &amp; Hanna</b>	Evaluation of an Artificial Intelligence System for Detection of Invasive Lobular Carcinoma on Digital Mammography	Arvioida kuinka AI- CAD systeemi pystyy havaitsemaan lobu- laarisia rintasyöpiä mammografiakuvista.	Retrospektiivinen tutkimus, jossa 124 potilaan mammo- grafiakuvia tulkittiin AI-CAD avulla. Kaikissa mammo- grafiakuvissa oli biopsiassa to- dettu lobulaarinen rinta- syöpä.	AI-CAD systeemi huomasi kuvista 80 % spesifisyydellä lobulaariset rintasyövät.  AI-CAD antoi kuitenkin myös lukuisia vääriä positiiv- isia löydöksiä, jonka puo- lesta käyttöä käytännön työssä tulisi miettiä.	Kyllä	PubMed  Hyöty ja haitta
<b>2023</b>						
<b>Yhdysvallat</b>						
<b>Bao, Shen, Zhang, Zhang, Wei, Wang, Ding &amp; Han</b>	Evaluation of an artificial intelligence support system for breast cancer screening in Chinese people based on mammogram	Arvioida radiologien diagnostista suoriutu- mista AI tuen kanssa ja ilman sitä.	Retrospektiivinen tutkimus, johon osallistui 71 radiologia, jotka tulkitsivat yhteensä 643 mammografiatutkimusta eri- laisilla tutkimusasetteluilla: luenta ilman ja AI:n kanssa.	AI:n käyttö aputyökaluna paransi radiologien sensitiiv- isyyttä ja AUC:ia, mutta huononsi spesifisyyttä.	Kyllä	PubMed  Hyöty ja haitta
<b>2023</b>						
<b>Kiina</b>						
<b>Zhou, Chang, Ding, Deng, Cheng &amp; Wang</b>	Improved breast lesion detection in	Tutkia neuroverkko- jen käyttöä rinta- syöpien ehkäisemi- sessä.	Retrospektiivinen tutkimus, jossa 880 mammografiakuvaa luetutettiin kahden seniori ra- diologin ja yhden erikoistuvan	Neuroverkkomallin käyttö paransi radiologien suori-	Kyllä	PubMed  Hyöty

<b>2023</b>	mammogram images using a deep neural network		radiologin toimesta neuroverkko sovelluksen kanssa ja ilman.	tusta ja aikaa kuvien luetaan kului paljon vähemmän.		
<b>Kiina</b>						
<b>Ng, Glocker, Oberije, Fox, Sharma, James, Ambrózay, Nash, Karpati, Kerruish &amp; Kecskemethy</b>	Artificial Intelligence as Supporting Reader in Breast Screening: A Novel Workflow to Preserve Quality and Reduce Workload	Arvioida AI:n käyttöä toisena kuvanlukijana kaksoisluentaan perustuvissa seulontamammografioissa.	Retrospektiivinen tutkimus, jossa 180 542 naisen kuvat luettiin AI:n ja radiologin toimesta. Ensimmäisen luvun teki radiologi ja AI, jos nämä vastaukset tukivat toisiaan, AI teki toisen luennan. Muussa tapauksessa toinen radiologi teki luennan toisen vaiheen.	AI radiologia tukevana lukijana todettiin olevan parempi tai ei-huonompi kaikilla seulonnan mittareilla, verrattuna radiologin tekemään kaksoisluentaan. AI:n käyttö säilyttää saman tason seulontamammografiassa, kuin radiologien kaksoisluenta, samalla vähentäen työkuormaa.	Kyllä	CINAHL  Hyöty
<b>2023</b>						
<b>Iso-Britannia/Unkari</b>						
<b>Dembrower, Crippa, Colon, Eklund &amp; Strand</b>	Artificial intelligence for breast cancer detection in screening mammography in Sweden: a prospective, population-based, paired-reader, non-inferiority study	Tutkia kuinka AI:n käyttö vaikuttaa syövän havaitsemiseen ja vääriin positiivisiin tuloksiin.	Prospektiivinen, väestöön perustuva tutkimus, jossa verrattiin radiologien tekemän kaksoisluennan ja radiologin + AI:n tekemän luennan tuloksia.	Toisen radiologin korvaaminen AI:lla mammografia-seulonnan kaksoisluennassa 4 % paremman syövän havaitsemisen, kuin tavallisessa kaksoisluennassa.	Kyllä	PubMed  Hyöty
<b>2023</b>						
<b>Ruotsi</b>						
<b>Chen, Cheng, Wang, Hsu,</b>	A YOLO-based AI system for classifying calcifications	Tutkia, voidaanko syväoppimiseen perustuvalla systeemillä auttaa havaitsemaan	Retrospektiivinen tutkimus, jossa AI luki mammogra-	AI:lla on hyvä tarkkuus kalkkeutumien luokittelussa, jotka radiologi oli luokitellut epäilyttäviksi. Näin ollen	Kyllä	PubMed

<b>Chen, Tseng &amp; Guo</b>	on spot magnification mammograms	mammografiakuvista, ovatko kalkkeumat maligneja vai benignejä ja voidaanko tällä tavalla vähentää biopsioiden tarvetta.	fiasuurennoskuvia, joiden tulokset olivat myös patologistesti varmistettuja.	biopsioiden määrää pystyttäisiin potentiaalisesti vähentämään.		Hyöty
<b>2023</b>						
<b>Taiwan</b>						
<b>Koch, Larsen, Bartsch, Kurz &amp; Hofvind</b>	Artificial intelligence in BreastScreen Norway: a retrospective analysis of a cancer-enriched sample including 1254 breast cancer cases	Vertailla AI:n ja radiologien suorittaman kaksoisluennan suorituskykyä seulontamammografiassa.	Retrospektiivinen tutkimus, joka sisälsi 949 seulonnassa havaittua syöpätapausta, 305 intervallista syöpätapausta ja 13 464 negatiivista tutkimusta. AI:n pyydettiin luokittelemaan kuvat asteikolla 1 (Normaali)-10 (mahdollisesti maligni) ja näitä tuloksia verrattiin radiologien kaksoisluennan tuloksiin.	Varsinkin kiinteiden rintojen kuvien luennassa AI:n suorituskyky on lupaava. AI mahdollistaa myös syöpien aiemman havaitsemisen.	Kyllä	PubMed  Hyöty
<b>2023</b>						
<b>Norja</b>						
<b>Lin, Wu, Li, Oyang, Ma, Yi &amp; Tang</b>	Automatic mammographic breast density classification in Chinese women: clinical validation of a deep learning model	Validoida syväoppimismalli ja tutkia sen vaikuttavuutta radiologien rintakudoksen tiheyden arvioon	Luodaan syväoppimismalli 42 152 mammografiakuvan avulla, luokittelemaan rinnan tiheyttä. Viisi radiologia jaettiin kahteen ryhmään. Yhteensä he lukivat 3723 mammografiatapausten kuvat, osan ennen ja osan jälkeen syväoppimismallin lisäämisen.	Syväoppimismalli näyttää toimivan korkealla tarkkuudella ja kliinisesti se osaa luokitella rinnan tiheyttä. Työkaluna se parantaa radiologien johdonmukaisuutta.	Kyllä	PubMed  Hyöty
<b>2023</b>						
<b>Kiina</b>						
<b>Lewin, Schoenherr, Seebass, Lin, Philpotts, Etesami, Butler,</b>	PACS-integrated machine learning	Testata uuden koneoppimismalliin perustuvan rinnan tiheyttä	AI sovelluksen luominen 33 000 mammografiatutkimuksen perusteella ja verrata	Automatisoitu rinnan tiheyden AI työkalu vastasi radiologien arviota rinnan tiheydestä.	Kyllä	PubMed  Hyöty

<b>Durand, Heller, Heacock, Moy, Tocino &amp; Westerhoff</b>	breast density classifier: clinical validation	arvoivan työkalun toimivuutta.	sen antamia tuloksia radiologien lausumiin.			
<b>2023</b>						
<b>Yhdysvallat/Saksa</b>						
<b>Liao, Li, Ouyang, Lin, Lai, Cheng &amp; Ma</b>	Classification of asymmetry in mammography via the DenseNet convolutional neural network	Tutkia syväoppimismallin tehokkuutta benignien ja malignien muutosten havaitsemisessa mammografiassa.	Retrospektiivinen tutkimus, jossa 460 naisen muutoksia sisältävät kuvat luettiin 2 radiologin ja kahden erikoistuvan radiologin, sekä syväoppimismallin toimesta.	Syväoppimismallilla on korkea diagnostinen tehokkuus, joka voi auttaa erikoistuvia radiologeja tunnistamaan benignit ja malignit muutokset tarkemmin. Se voi myös parantaa diagnostista tarkkuutta ja vähentää huomaamatta jääneitä diagnooseja.	Kyllä	PubMed  Hyöty
<b>2023</b>						
<b>Kiina</b>						
<b>Chen, Lin, Ye, Tong, Lin &amp; Cai</b>	Diagnostic value of mammography density of breast masses by using deep learning	Tutkia syväoppimismallin kykyä diagnosoida rintakudosta sen tiheyden perusteella.	Retrospektiivinen tutkimus, jossa yhteensä 401 leesiota luetutettiin syväoppimismallilla	Syväoppimismalli erottaa rinnan tiheyden avulla erottaa benignit ja malignit massat mammografiakuvista. Tulevaisuudessa se voi olla hyödyllinen työkalu radiologien avuksi.	Kyllä	PubMed  Hyöty
<b>2023</b>						
<b>Kiina/Australia</b>						
<b>Lång, Josefsson, Larsson, Larsson, Högberg,</b>	Artificial intelligence-supported	Tavoitteena on arvioida AI:lla tuetun seu-	Satunnaistettu kontrolloitu tutkimus, jossa seulontaikäis-	AI:lla tuettu mammografia-seulonta tutkimusten tulok-	Kyllä	PubMed

<b>Sartor, Hofvind, Andersson &amp; Rosso</b>	screen reading versus standard double reading in the Mammography Screening with Artificial Intelligence trial (MASAI): a clinical safety analysis of a randomised, controlled, non-inferiority, single-blinded, screening accuracy study	lontaprotokollan kliinistä turvallisuutta verrattuna standardiin radiologien suorittamaan mammografiaseulonnan luennaan.	ten naisten kuvia luettiin radiologien tekemällä kaksoisluennalla, sekä AI:lla tuetuna.	set olivat yhteneväiset radiologien suorittamaan kaksoisluentaan verrattuna. AI:n käyttö vähensi työkuormaa merkittävästi. Näistä tuloksista voidaan olettaa, että AI:n käyttö seulontamammografiakuvien luennassa on turvallista.		Hyöty
<b>2023</b>						
<b>Ruotsi</b>						
<b>Marinovich, Wylie, Lotter, Lund, Waddel, Madeley, Pereira &amp; Housami</b>	Artificial intelligence (AI) for breast cancer screening: BreastScreen population-based cohort study of cancer detection	Verrata AI:n ja radiologin tarkkuutta tosielämän seulontamammografiassa.  Arvioida potentiaalisia syövänhavaitsemislukuja, varmistustutkimus kutsuja, sekä työmäärää, kun radiologi ja AI lukevat kuvat yhdessä.	Retrospektiivien kohorttitutkimus, joka sisälsi 108 970 seulontamammografiatutkimusta. AI:n ja radiologin suoritusta verrattiin.	Yhden radiologin korvaaminen AI sovelluksella vähensi varmistustutkimuskutsuja ja vähensi radiologin tutkimusvolyyymia. AI havaitsi myös sellaiset intervaalisyöpätapaukset, joita radiologi ei ollut huomannut.	Kyllä	PubMed  Hyöty
<b>2023</b>						
<b>Yhdysvallat/Australia</b>						
<b>Yoon, Han, Suh, Youk, Lee &amp; Kim</b>	Artificial intelligence-based computer-assisted detection/diagnosis (AI-CAD) for screening mammography: Outcomes	Arvioida AI-CAD systeeminen diagnostista suorituskykyä, sekä sen havaitsemia poikkeavuuksia, kun AI-	Retrospektiivinen tutkimus, jossa 5228 naisen mammografiakuvat luettiin ensin kolmen radiologin toimesta ja sitten kuvat analysoitiin AI-CAD avulla.	AI-CAD havaitsi 17,9 % niistä mammografiaseulonnan syöivistä, joita radiologit eivät olleet havainneet. Siitä huolimatta AI-CAD takaisin kutsujen määrä oli	Kyllä	PubMed  Hyöty ja haitta
<b>2023</b>						

<b>Etelä-Korea</b>	of AI-CAD in the mammographic interpretation workflow	CAD lisätään mammografianluennan työnkulkuun.		suuremmat ja tarkkuus pienempi kuin radiologeilla.		
<b>Sharma, Ng, James, Khara, Ambrózay, Austin, Forrai, Fox, Glocker, Heindl, Karpati, Rijken, Venkataraman, Yearsley &amp; Kecskemethy</b>	Multi-vendor evaluation of artificial intelligence as an independent reader for double reading in breast cancer screening on 275,900 mammograms	Arvioida, voiko AI toimia luotettavana itsenäisenä kuvanlukijana mammografiaseulonassa erilaisten mammografialaitteiden kanssa, samalla automatisoiden kaksoisluennan työtaakkaa huomattavasti.	Retrospektiivinen tutkimus, jossa simuloidaan kaksoisluentaa, jossa AI toimii itsenäisenä kuvanlukijana. 177 882 osallistujan kuvia käytettiin.	AI:n käyttö itsenäisenä kuvanlukijana on potentiaalista, sillä se vähentää radiologientyötaakkaa ja hoidon standardit pysyvät samana kuin kahden radiologin kaksoisluennassa.	Kyllä	PubMed  Hyöty
<b>2023</b>						
<b>Iso-Britannia/Unkari</b>						
<b>Aslan, Oktay, Katuk, Erdur, Dikenelli, Yeniay, Zekiogly &amp; Özbek</b>	Prediction of malignancy upgrade rate in high-risk breast lesions using an artificial intelligence model: a retrospective study	Kehittää koneoppimismalli, joka erottaa korkean riskin rintaleesiot, jotka tarvitsevat leikkausta ja jotka ovat vain pienessä riskissä muuttua maligniksi.	Retrospektiivinen tutkimus, jossa 94 tapauksen kuvat otettiin huomioon. Koneoppimismalli opetettiin erottamaan benignit ja malignit muutokset.	Tämä koneoppimismalli pystyy havaitsemaan nämä korkean riskin leesiot, joita voidaan jäädä vain seuraamaan, eikä leikkausta vaadita.	Kyllä	PubMed  Hyöty
<b>2023</b>						
<b>Turkki</b>						

<b>Salim, Dembrower, Eklund, Smith &amp; Strand</b>  <b>2023</b>  <b>Ruotsi</b>	Differences and similarities in false interpretations by AI CAD and radiologists in screening mammography	Tarkoituksen arvioida vääriä tulkintoja AI:n ja radiologien välillä saadakseen paremman ymmärryksen siitä, kuinka diagnostisten virheiden jakautuminen muuttuu, jos siirrytään AI:n avustamaan kuvanluentaan seulontamammografiassa.	Retrospektiivinen tapaus-verrokkitutkimus, johon sisältyi 714 rintasyöpään sairastuneen naisen kuvat, sekä 8029 terveiden naisten kuvat. Kuvat luettiin radiologien ja AI:n puolesta.	AI voi tuoda paremmat tulokset ja apua radiologille, kun naisen ikä on yli 55 vuotta ja rintakudos on tiheää.	Kyllä	PubMed  Hyöty
<b>Yoen &amp; Chang</b>  <b>2023</b>  <b>Etelä-Korea</b>	Artificial Intelligence Improves Detection of Supplemental Screening Ultrasound-detected Breast Cancers in Mammography	Tutkia voiko AI pohjainen työkalu auttaa havaitsemaan niitä rintasyöpiä, jotka huomataan vasta ultraäänitutkimuksessa.	Retrospektiivinen tutkimus, jossa 253 syöpätapausta luettiin kahden radiologin ja AI:n puolesta.	Suurin osa ultraäänellä havaituista syöivistä ei havaittu AI:n avulla mammografiakuvista. AI sovellus antoi silti tärkeää tietoa rintasyövän luokittelusta huomaamattomissa poikkeavuuksissa ja niissä syöivissä, joita radiologi ei mammografiakuvista havainnut.	Kyllä	PubMed  Hyöty ja haitta

## LIITE 2: AINEISTON LUOKITTELU

Pelkistetyt ilmaisut	Alaluokat	Yläluokat
<ul style="list-style-type: none"> <li>- AI + R lukee kuvat yhtä hyvin kuin R + R</li> <li>- AI + R havaitsee paremmin syövät kuin R + R</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Tekoälyn ja radiologin tekemä kaksoisluenta verrattuna kahden radiologin tekemään kaksoisluentaan.</li> </ul>	Tekoälyn käyttö kuvanluennassa radiologin kanssa
<ul style="list-style-type: none"> <li>- AI on sensitiivisempi kuin R</li> <li>- AI ei ole niin spesifi kuin R</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Tekoälyn suorituskyky verrattuna radiologin suorituskykyyn kuvanlukijana</li> </ul>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>- AI luokittelee syövän ennustetekijät yhtä hyvin kuin R</li> <li>- AI havaitsee intervalli syövät paremmin kuin R</li> <li>- AI vähentää vääriä positiivisia tuloksia</li> <li>- AI luokittelee kalkkeumat hyvin</li> <li>- AI lukee hyvin tiheitä rintoja</li> <li>- AI havaitsee syövät aiemmin</li> <li>- AI osaa luokitella rinnan tiheyttä kuten R</li> <li>- AI vähentää biopsioiden tarvetta</li> <li>- AI erottaa malignit ja benignit massat tiheyden avulla</li> <li>- AI huomaa syövät paremmin kuin R</li> <li>- AI huomaa korkean riskin leesiot joita ei tarvitse leikata</li> <li>- Antaa vääriä positiivisia tuloksia</li> <li>- AI löytää hyvin lobulaariset syövät</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Tekoälyn itsenäinen kyky havainnoida ja luokitella asioita mammografiakuvista</li> </ul>	Tekoälyn käyttö radiologin apuvälineenä



<ul style="list-style-type: none"> <li>- AI auttaa erikoistuvia R erottamaan malignit ja benignit muutokset</li> <li>- AI parantaa radiologien johdonmukaisuutta</li> <li>- AI parantaa radiologin sensitiivisyyttä</li> <li>- AI vähentää radiologin spesifisyyttä</li> <li>- AI parantaa radiologin diagnostista suoritusta</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Tekoälyn vaikutus radiologien suorituskyykyyn</li> </ul>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>- AI vähentää kuvanlu- kuun kuluva aiaa</li> <li>- AI vähentää työkuormaa</li> <li>- AI vähentää varmistus- tutkimuskutsuja</li> <li>- AI lisää varmistustutki- muskutsuja</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Tutkimusten määrä</li> <li>- Mammografiakuvan lukemi- seen kuluva aika</li> </ul>	Tekoälyn vaikutus radio- logien työn sujuvuuteen ja työkuormaan
<p>AI = Tekoäly</p> <p>R= radiologi</p>		