



Mika Åberg

# Tekoälyn hyödyntäminen murtumien tunnistamisessa röntgentutkimuksessa

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Tieto- ja viestintäteknikka

Insinöörityö

9.6.2025

# Tiivistelmä

Tekijä:	Mika Åberg
Otsikko:	Tekoälyn hyödyntäminen murtumien tunnistamisessa röntgentutkimuksessa
Sivumäärä:	24 sivua
Aika:	9.6.2025
Tutkinto:	Insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma:	Tieto- ja viestintätekniikka
Ammatillinen pääaine:	Hyvinvointi- ja terveysteknologia
Ohjaajat:	Lehtori Juha Havukumpu

---

Tässä insinööriyössä tarkastellaan tekoälyn hyödyntämismahdollisuuksia murtumien tunnistamisessa röntgentutkimuksissa. Tavoitteena on selvittää, millaisia tekoälymenetelmiä on kehitetty ja otettu käyttöön erityisesti koneoppimista, syväoppimista ja neuroverkkoja hyödyntäen, sekä millaisia mahdollisuuksia ne tarjoavat radiologien tukena murtumien diagnosoinnissa. Työ toteutetaan narratiivisena kirjallisuuskatsauksena, jossa tarkastellaan ajankohtaista tutkimustietoa ja aiheeseen liittyviä alan julkaisuja.

Röntgenkuvantaminen on yleinen ja keskeinen menetelmä murtumien toteamisessa. Perinteisesti kuvien tulkinta on ollut radiologien vastuulla, mutta tekoäly tarjoaa mahdollisuuden nopeuttaa ja tehostaa prosessia. Erityisesti hermoverkkoihin perustuvat tekoälyjärjestelmät ovat osoittaneet lupaavia tuloksia murtumien tunnistamisessa eri kehon alueilla.

Työssä käsitellään myös tekoälyn käytön haasteita, kuten algoritmien läpinäkyvyyttä, eettisiä kysymyksiä, datan laatua ja koulutuksen tarpeita terveydenhuollon ammattilaisille. Tekoäly ei korvaa ihmistä, mutta voi toimia merkittävänä apuvälineenä erityisesti rutiininomaisessa kuvantamisessa ja diagnostiikan tukena.

Tekoälyllä on potentiaalia parantaa murtumadiagnostiikan tarkkuutta ja nopeutta, mutta sen käyttöönotto vaatii huolellista suunnittelua, validointia sekä eettisten näkökulmien huomioimista.

Avainsanat: röntgentutkimus, tekoäly, koneoppiminen, syväoppiminen, neuroverkko

---

Tämän opinnäytetyön alkuperä on tarkastettu Turnitin Originality Check -ohjelmalla.

## Abstract

Author: Mika Åberg  
Title: The use of artificial intelligence in detecting fractures in radiographic imaging  
Number of Pages: 24 pages  
Date: 9 June 2025

Degree: Bachelor of Engineering  
Degree Programme: Information and Communication Technology  
Professional Major: Health Technology  
Supervisors: Juha Havukumpu, Senior Lecturer

---

This thesis explores the potential of artificial intelligence (AI) in detecting fractures in radiographic imaging. The aim is to examine what types of AI methods—particularly those based on machine learning, deep learning, and neural networks—have been developed and implemented. How they can help radiologists with fracture diagnostics. The research was conducted using descriptive literature review that analyzes current research literature and industry publications.

Radiographic imaging is a common and essential method for diagnosing fractures. Traditionally, image interpretation has been the responsibility of radiologists, but AI offers opportunities to accelerate and enhance this process. Systems based on neural networks, in particular, have shown promising results in fracture detection across various body regions.

The thesis also discusses challenges related to the use of AI, such as algorithm transparency, ethical concerns, data quality, and the need for training healthcare professionals. AI is not intended to replace human but can serve as a significant support tool, especially in routine imaging and diagnostic tasks.

In conclusion, AI has the potential to improve the accuracy and speed of fracture diagnostics. However, successful implementation requires careful planning, validation, and consideration of ethical aspects.

Keywords: artificial intelligence, machine learning, deep learning, a neural network

# Sisällys

1	Johdanto	1
2	Tekoälyn perusteet	3
2.1	Koneoppiminen, syväoppiminen ja generatiivinen tekoäly	5
2.2	Tekoäly lääketieteellisessä kuvantamisessa	7
3	Röntgenkuvantaminen lääketieteessä	8
3.1	Röntgenkuvantamisen käyttökohteet	8
3.2	Röntgenkuvantamisen haasteet	10
4	Tekoälyn käyttö murtumien tunnistamisessa röntgentutkimuksessa	10
4.1	Murtumien tunnistamisen haasteet	11
4.2	Tekoälyn käyttö murtumien diagnostiikassa	11
5	Tutkimuksen tavoite	14
6	Tutkimuksen menetelmä	14
6.1	Aineisto	15
6.2	Aineiston analyysi	17
7	Tulokset	17
8	Pohdinta	18
8.1	Eettisyys ja luotettavuus	19
8.2	Jatkokehitysmahdollisuudet	20
	Lähteet	21

## 1 Johdanto

Kuvantamisen tekniikka kehittyy jatkuvasti ja se on keskeinen osa nykyistä terveydenhuoltoa. Röntgentutkimus on yksi yleisemmistä kuvantamismenetelmistä, jolla voidaan havaita luunmurtumia ja kasvaimia. Röntgenkuvaus on nopeimmista menetelmistä potilaan tilan arviointiin, mutta kuvien tulkinta vaatii aikaa ja asiantuntemusta. Tekoälyjärjestelmät ovat kehittyneet huomasti viime vuosina, ja lääketieteessä niiden käyttö on jatkuvasti lisääntynyt. Tekoälyn hyödyntämisestä kuvantamistutkimuksissa on havaittu potentiaalia tunnistaa poikkeamia yhtä tarkasti tai tarkemmin kuin ihminen. Tämä kehityssuunta viittaa siihen, että olemme siirtymässä uudenlaiseen aikakauteen lääketieteellisessä diagnostiikassa.

Opinnäytetyössä selvitettiin, miten tekoälyä voidaan hyödyntää murtumien tunnistamisessa röntgenkuvantamisessa. Tekoälyllä tarkoitetaan tietokoneohjelmistoa, joka kykenee suorittamaan tehtäviä, jotka tavallisesti vaativat ihmisistä älykkyyttä. Tekoäly jäljittelee ihmisen kykyä ratkaista erilaisia ongelmia, jolloin se voi ratkaista niitä itsenäisesti [1]. Tekoälyyn kuuluu koneoppiminen, joka tekee päätöksiä sille syötetyn datan perusteella. Syväoppiminen on koneoppimisen alalaji, jossa käytetään monivaiheisia neuroverkkoja datarakenteiden tunnistamisessa. Neuroverkot ovat algoritmeja, jotka jäljittelevät aivojen toimintaa ja tunnistavat monimutkaisia kuvioita suuresta tietomäärästä [1].

Röntgenkuvantaminen tarkoittaa kuvantamismenetelmää, jossa hyödynnetään röntgensäteilyä kehon sisäisten rakenteiden kuvien luomiseksi. Se on ensisijainen kuvantaminen, kun halutaan havaita murtumia, kasvaimia ja muita vaurioita. Saatetaan puhua myös natiivikuvauksesta, jolla tarkoitetaan yllä mainittua tavanomaista röntgenkuvaa. Sillä tarkoitetaan myös sitä, ettei leikekuvauksessa ole käytetty kontrastin parantamiseen sisäisesti tehosteainetta. Esimerkiksi murtumaa epäiltäessä natiivikuvaus on ensisijainen kuvantamistutkimus. Tätä tukevat myös edullinen hinta, pieni säteilyannos ja hyvä saatavuus.

Natiivikuvaksessa röntgensäteet kulkeutuvat ihmisen kehon läpi, jolloin muodostuu kaksiulotteinen kuva digitaaliselle kuvalevyille. Säteilyn jättämästä varjo-kuvasta näkyvät parhaiten kudoksien rajapinnat, kuten luut - varsinkin tiiviit sel-laiset, ja ilmapitoiset keuhkot. [2.]

Tekoälyn käyttö lääketieteessä on kehittynyt huimasti vuosien saatossa, ja ulot-tuu nykyisin monille terveydenhuollon osa-alueille. Perinteisesti röntgenkuvien analysointi on ollut radiologien vastuulla, mutta tekoälyn kehittyessä on tullut mahdolliseksi hyödyntää koneoppimista ja syväoppimista röntgenkuvien tulkin-nassa. Tekoälyn kehitys tuo mukanaan merkittäviä mahdollisuuksia lääketie-teessä, mutta samalla myös haasteita. Varsinkin eettiset haasteet, jotka liittyvät läpinäkyvyyteen, vastuukysymyksiin ja mahdollisiin vinoumiin, ovat keskeisiä huomioitavia tekijöitä. Tekoälyjärjestelmät voivat vahvistaa olemassa olevia ter-veydenhuollon epätasa-arvoa, jos saatavilla oleva koulutusdata ei edusta eri vä-estönryhmiä. Tämä voi johtaa diagnostiikan epätarkkuuteen ja hoidon saata-vuus voi olla epäoikeudenmukaista [3]. Joidenkin tekoälymallien, erityisesti sy-väoppimiseen perustuvien päätöksentekoprosessi on vaikeasti ymmärrettävää, mikä heikentää luottamusta ja vaikeuttaa virheiden jäljittämistä [3]. Tutkimukset osoittavat, että erityisesti haavoittuvia väestönryhmiä, kuten vanhuksia tai vä-hemmistöjä, koskevaa tutkimusta on toistaiseksi vähän. Tämä voi johtaa siihen, että näiden ryhmien erityistarpeet jäävät huomioimatta tekoälyratkaisuja kehitet-täessä [3]. Vaikka erilaisia eettisiä periaatteita on jo ehdotettu, niiden soveltami-nen käytännössä on vielä puutteellista. Radiologiassa tarvitaan selkeitä ja sito-via ohjeistuksia tekoälyn eettiseen käyttöön.

Tutkimuskysymykset:

1. Miten tekoälyä voidaan hyödyntää murtumien tunnistamisessa röntgen-kuvantamisessa verrattuna perinteiseen röntgenkuvantamiseen?
2. Mitkä ovat tekoälyn haasteet murtumien tunnistamisessa röntgenkuvan-tamisessa?

## 2 Tekoälyn perusteet

Tekoäly (engl. artificial intelligence, AI) tarkoittaa tietokonejärjestelmää tai ohjelmaa, joka kykenee suorittamaan älykkäinä pidettyjä tehtäviä, kuten päätöksentekoa, ongelmanratkaisua ja oppimista ihmisen tavoin. Alan Turingin vuonna 1950-luvulla esittämä kysymys ”Voivatko koneet ajatella?” loi perustan tekoälyn tutkimukselle. Turingin koe tai testi, on tarkoitettu arvioimaan tietokoneen ihmismäistä älykkyyttä. Hänen ajatuksenaan oli, että voiko tietokone käyttäytyä niin älykkäästi, ettei sitä voi erottaa ihmisestä. [1.]

Terveystieteiden ammattilaisille kuuluu eettinen vastuu, varsinkin tekoälyn tuodessa lisää mahdollisuuksia ja uhkakuvia. Lääkärit ovat vastuussa siitä, että uutta teknologiaa hyödynnetään potilaiden hyväksi eettisesti hyväksyttävällä tavalla. Lääkärien on toimittava työssään lääkäreiden etiikan periaatteiden mukaisesti, mikä koskee myös tekoälyä [4]. Tekoälyn kehitys on niin nopeata, että se väistämättä vaikuttaa lääkärin työhön. Oikeastaan sen vaikutus näkyy kahdella tavalla: Siinä, mihin tekoäly kykenee tällä hetkellä ja mihin se kykenee jo lähitulevaisuudessa. Nykyiset tekoälyjärjestelmät edustavat kapeaa tekoälyä, joka on suunniteltu tekemään tarkkaan rajattuja tehtäviä. Yleisen tekoälyn mahdollinen tuleminen saattaa muuttaa merkittävästi lääkärin työtä. Nämä kaksi kehitysuuntaa tuovat mukanaan hyvin erilaisia eettisiä haasteita [4].

Kapea tekoäly on suunniteltu niin, että se kykenee suoriutumaan tarkasti rajatusta tehtävästä mukaillen ihmisen toimintaa. Varhaisessa tekoälyn kehityksessä pyrittiin kirjoittamaan monimutkaisia ohjelmia, jotka ovat ohjelman kirjoittajan hallinnassa. Tällöin eettiset ja juridiset kysymykset olivat selkeitä ja helposti ymmärrettäviä. Ohjelmoija oli vastuussa siitä, että ohjelma toimii oikein ja käyttäjä vastuulla oli käyttää ohjelmaa asianmukaisesti. Nykyisin tekoälyohjelmat perustuvat koneoppimiseen, mikä kykenee käsittelemään suurta määrää dataa samanaikaisesti. Saatavilla olevat suuret datamäärät ja tietokoneen kehittyneet laskentatehot ovat tehneet tämän mahdolliseksi, mikä on nykyisin välttämätöntä, jos halutaan hyödyntää dataa potilaiden hyväksi. Lääkärit joutuvat

työssään pohtimaan enemmän eettisiä kysymyksiä ja toimimaan niiden mukaisesti potilaiden parhaaksi. [4.]

Yleinen tekoäly on teoreettinen mahdollisesti tulevan tekoälyn vaihe, mikä kykenisi samaan älykkyyteen kuin ihmisaivot. Tämän kaltainen superäly kykenisi oppimaan uutta ilman erillistä ohjelmointia. Asiantuntijoiden mukaan on vaikea arvioida koska tällainen tekoäly olisi tulossa, jos milloinkaan. Ongelmana tässä on se, että kukaan ei osaa sanoa tarkalleen, miten ihmisaivot toimivat. Kuitenkin tämän mahdollisuus aiheuttaa eettisiä kysymyksiä. [4.]

Tekoälyteknologiat kehittyvät huimaa vauhtia niin terveydenhuollossa kuin muilla elämänalueilla. Euroopan unionin (EU) tekoälysäädös on maailman ensimmäinen tekoälyä koskeva lainsäädäntö, joka astui voimaan 1. elokuuta 2024 [5]. Euroopan parlamentin tavoitteena on varmistaa EU-alueella käytettävät tekoälyjärjestelmät ovat turvallisia, läpinäkyviä, jäljitettäviä ja tasa-arvoisia [6]. Tekoälyn tulee olla ihmisen valvonnassa eikä toimia itsenäisesti, jotta ihmisten turvallisuus voidaan taata. Parlamentti halusi luoda yhtenäisen määritelmän tekoälyjärjestelmille, jota voidaan soveltaa sekä nykyisiin että tuleviin tekoälyratkaisuihin. [6]

Tekoälysäädös perustuu riskiperusteiseen lähestymistapaan, jossa tekoälyjärjestelmät luokitellaan niiden aiheuttaman riskin perusteella. Tämän myötä tekoälyjärjestelmien valmistajille ja kuluttajille tulee velvoitteita riippuen niiden riskiluokituksesta. Säädös perustuu riskitasoon siten, että mitä suurempi riski ihmisille ja yhteiskunnalle on, sitä tiukempi sääntely myös on. Ei-hyväksyttävissä oleva riskitaso on kaikista tiukimmin säännelty. Näihin kiellettyihin tekoälysoveluksiin EU:ssa luetaan heikommassa asemassa olevien henkilöiden käytöksen manipulointi – esimerkkinä lasten äänestä aktivoituvat lelut, jotka kannustavat lapsia vaaralliseen käytökseen. Sosiaalinen pisteytys, joka luokittelisi ihmiset heidän sosioekonomisen asemansa, käyttäytymisen tai henkilökohtaisten ominaisuuksiensa perusteella. Myös reaaliaikainen tapahtuva biometrinen etävalvonta kasvojentunnistuksessa on lähtökohtaisesti kielletty julkisissa tiloissa. Poikkeuksena biometrinen valvonta voidaan sallia vakavan rikoksen

tutkinnassa, mikä vaatii oikeuden päätöksen [6]. Suuren riskin luokkaan kuuluvat tekoälyjärjestelmät, jotka vaikuttavat merkittävästi turvallisuuteen, terveyteen tai perusoikeuksiin. EU:n tuoteturvallisuudirektiivin alaisuuteen kuuluvat tuotteet ovat esimerkiksi lääkinnällisiä laitteita [7]. Kaikki tekoälyjärjestelmät, jotka kuuluvat tähän riskiluokitukseen, on arvioitava koko elinkaarensa ajalta. Tekoälyjärjestelmillä on myös oltava CE-merkintä, joka osoittaa tuotteen täyttävän EU:n direktiivien ja asetusten olennaiset vaatimukset [6].

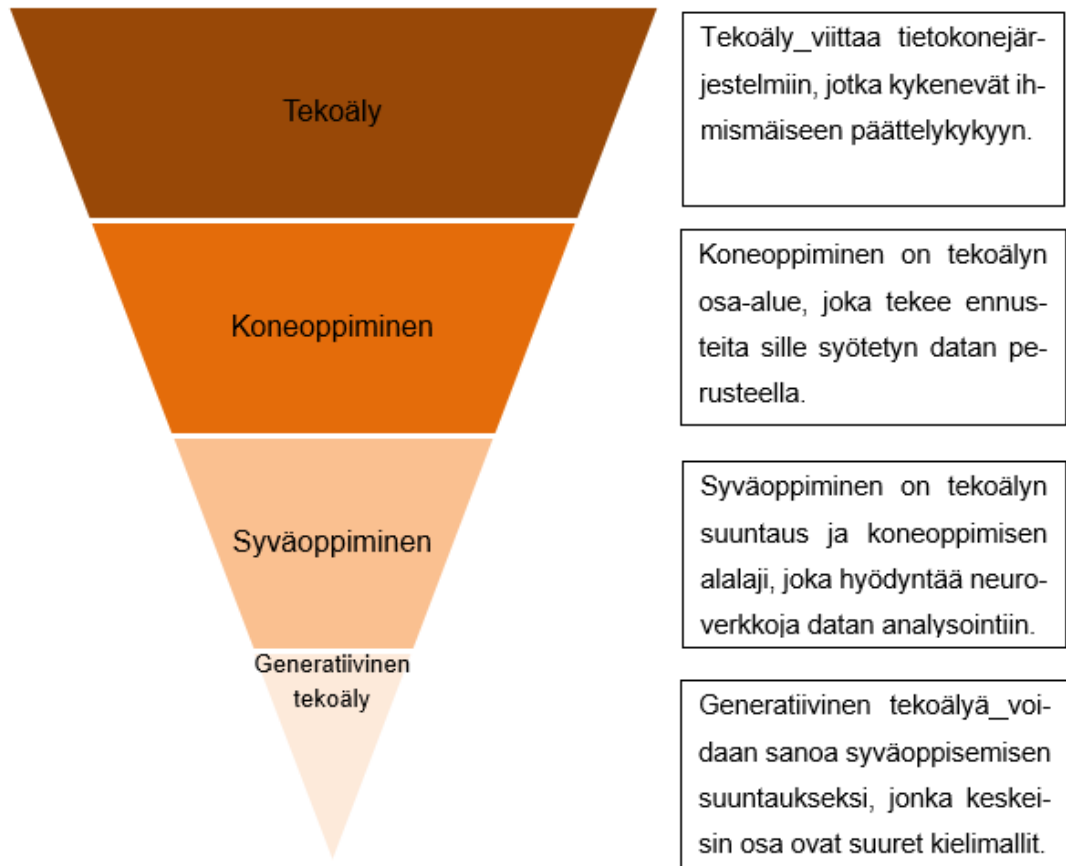
Avoimuuteen liittyvät riskit koskevat esimerkiksi ChatGPT:n kaltaisia tekoälyyn pohjautuvia keskustelubotteja, joiden tulee noudattaa tiettyä läpinäkyvyyttä sekä EU:n tekijänoikeuslakia [8]. Käytännössä tämä tarkoittaa, että järjestelmän on ilmoitettava, kun sisällön on tuottanut tekoäly. Käyttäjän on tiedettävä, milloin hän kuluttaa tekoälyn luomaa tai muokattua sisältöä. Tekoälyjärjestelmät, jotka aiheuttavat vähäisen riskin eivät kuulu tekoälyasetuksen tiukemman sääntelyn alle, vaan niiden katsotaan kuuluvan kunkin EU:n jäsenvaltion voimassa olevan lainsäädännön piiriin. [6.]

## 2.1 Koneoppiminen, syväoppiminen ja generatiivinen tekoäly

Koneoppiminen on tekoälyn osa-alue, mikä kykenee oppimaan ja tekemään ennusteita sille syötetyn datan perusteella. Koneoppimismenetelmät oppivat datan avulla jatkuvasti parantamaan tarkkuuttaan. Koneoppiminen voidaan jakaa kahteen ryhmään. Nämä ovat ohjattu oppiminen (supervised learning) ja ohjaamaton oppiminen (unsupervised learning). Ohjattu oppiminen tarkoittaa opetusaineistoa, jossa algoritmi oppii syötetyn datan ja vastauksen välisen yhteyden. Näin algoritmi oppii tekemään ennusteita. Ohjaamattomassa oppimisessä algoritmi oppii itse löytämään datasta kuvioita ilman valmiita vastauksia ja luokittelee kuviot tiettyihin ryhmiin. Toisin kuin ohjatussa oppimisessä, jossa algoritmi oppii valmiiden vastausten avulla, ohjaamattomassa oppimisessä ei ole valmiita vastauksia. Sen sijaan algoritmi pyrkii itse löytämään ja ymmärtämään, miten tietyt kuviot ja piirteet liittyvät toisiinsa. [9.]

Syväoppiminen (*deep learning*) on tekoälyn suuntaus ja koneoppimismenetelmän alalaji, joka pyrkii ratkaisemaan sille annetun ongelman hyödyntäen neuroverkkoa tai useamman neuroverkon muodostamaa kerrosta. Neuroverkot jäljittelevät ihmisen aivojen toimintaa. Neuroverkot koostuvat useista kerroksista solmuja, jotka käsittelevät tietoa. Syväoppiminen eroaa perinteisestä koneoppimisesta siinä, että syväoppimismenetelmät kykenevät käsittelemään suuria määriä tietoja ilman erillistä ohjelmointia tai ihmisen ohjausta. Neuroverkot ovat tehokkaita kuvan- ja äänentunnistuksessa. Neuroverkkojen peruseräteenä on, että syväoppimismallit pystyvät oppimaan monimutkaisista datarakenteista. Tämä mahdollistaa esimerkiksi röntgenkuvien kaltaisten monimutkaisten kuvantamismateriaalien analysoinnin, missä piilevät rakenteet voivat olla ihmiselle vaikeasti havaittavissa. Syväoppiminen on kehittänyt lääketieteellistä kuvantamista, erityisesti röntgenkuvien analysointia murtumien, kasvainten ja muiden poikkeavuuksien tunnistamisessa. [9.]

Generatiivista tekoälyä voidaan sanoa syväoppimisen alalajiksi, joka hyödyntää syviä neuroverkkoja tuottaakseen täysin uutta kuvaa, ääntä, tekstiä tai dataa sille syötetyn datan perusteella. Suuret kielimallit (LLM) ovat syväoppimiseen pohjautuvia malleja, jotka ovat generatiivisen tekoälyn ydintä. Kielimallit ovat erikoistuneet ihmismäisen tekstin ymmärtämiseen ja tuottamiseen. Suuret kielimallit perustuvat niin sanottuun transformer-tekniikkaan, joka kehitettiin vuonna 2017. Sen avulla voidaan hyödyntää valtavaa aineistoa, joka vastaa noin 26 miljardia sivua tekstiä. [10.]



Kuva 1. Havainnollistava kuva tekoälystä ja sen suuntauksista (alalajeista)[10].

## 2.2 Tekoäly lääketieteellisessä kuvantamisessa

Lääketieteellinen kuvantaminen on olennainen osa nykyaikaista diagnostiikkaa, ja sen avulla saadaan tärkeää tietoa potilaan terveydentilasta. Tekoälyn käyttö lääketieteellisessä kuvantamisessa on kasvanut merkittävästi viime vuosina, ja se tuo uusia mahdollisuuksia parantaa diagnostista tarkkuutta ja hoidon laatua. [9.]

Tekoäly, erityisesti koneoppiminen ja syväoppiminen, on osoittautunut tehokkaaksi työkaluksi kuvantamisen tietojen analysoinnissa. Lääketieteellisessä kuvantamisessa käytettävät teknologiat, kuten röntgen, magneettikuvaus (MRI),

tietokonetomografia (CT) ja ultraääni, tuottavat valtavia määriä kuvia, joita on vaikea analysoida perinteisillä menetelmillä nopeasti ja tarkasti. Tekoäly automatisoi kuvien analyysin ja havaitsee poikkeamat, kuten murtumia, ilman ihmisen jatkuvaa ohjausta. Yksi tekoälyn käytön suurista eduista lääketieteellisessä kuvantamisessa on kyky oppia suurista datamääristä ja tunnistaa kuvista piirteitä, joita ihmissilmä ei välttämättä havaitse. [9.]

Tekoälyn avulla voidaan myös nopeuttaa ja tehostaa prosesseja, jotka perinteisesti vaativat paljon aikaa ja asiantuntija-arvioita. Esimerkiksi röntgenkuvissa tekoäly voi auttaa radiologeja tunnistamaan murtumia nopeasti, mikä voi mahdollistaa nopean diagnoosin ja hoidon aloituksen. [11.]

### **3 Röntgenkuvantaminen lääketieteessä**

Röntgenkuvantaminen on yksi lääketieteellisen kuvantamisen perusmenetelmiä ja se on tärkeä työkalu monenlaisten sairauksien diagnosoinnissa. Se perustuu ionisoivaan säteilyyn, joka kulkee kehon läpi ja heikkenee kudosten eri tiheyksien mukaan. Tiheät kudokset, kuten luut, imevät enemmän säteilyä ja näkyvät kuvassa vaaleina, kun taas pehmeät kudokset, kuten lihakset ja rasva, imevät vähemmän säteilyä ja näkyvät tummempina. Tämä mahdollistaa kehon sisäisten rakenteiden visualisoinnin, kuten murtumien ja kasvainten havaitsemisen. [2.]

#### **3.1 Röntgenkuvantamisen käyttökohteet**

Röntgenkuvantaminen on ensisijainen menetelmä luuston murtumien ja muiden luustovaurioiden diagnosoinnissa. Se on edullinen, helppo toteuttaa ja säteilyannos on yleensä pieni. Röntgenkuvissa näkyvät hyvin luut, ja se mahdollistaa murtumien tarkan paikantamisen [2].

Ranskalaistutkimuksen mukaan tavallisten eli natiivikuvien tulkitseminen onnistuu paremmin, jos radiologi saa apua tekoälyltä. Tutkimuksessa tarkasteltiin 500 potilaan keuhkoröntgenkuvia. Röntgenkuvat tutki 12 radiologia, ja puolet kuvista tutkittiin tekoälyn avustamana ja puolet ilman. Tekoälyä käyttäessään lääkärit tunnistivat 6–26 prosenttia todennäköisemmin erilaiset keuhkomuutokset oikein. Terveet keuhkot tunnistettiin myös terveiksi todennäköisemmin tekoälyn avustamana. Ainoastaan ilmarinnan havaitsemisessa tekoäly ei tuonut mainittavaa hyötyä. [12.]

Mammografia on myös yksi röntgenkuvantamisen menetelmä ja sitä käytetään rintasyöpien seulontaan. Sen on havaittu olevan ainoa tutkimusmenetelmä, jonka on havaittu vaikuttavan rintasyöpäkuolleisuuteen. Rintasyöpäseulonnan tarkoitus on vähentää rintasyöpäkuolleisuutta löytämällä syöpä mahdollisimman varhaisessa vaiheessa. Seulonnassa käytetään kaksoisluentaa eli kahden röntgenlääkärin on tulkittava kuvat itsenäisesti, missä vähintään toisella radiologilla on oltava virallinen pätevyys rintasyövän seulontaan. Tekoälystä, erityisesti koneoppimismenetelmästä on toivottu apua mammografiaseulonnassa tarkkuuden ja diagnostisen varmuuden parantamiseksi. [13.]

Saksalaistutkimuksen mukaan tekoälyä hyödyntämällä mammografiatulokset ovat yhtä tarkkoja tai jopa tarkempia. Näin ollen tuloksia ei tarvitse antaa kahdelle radiologille tulkittavaksi. Tutkimus osoitti, että tekoälyn avustamana työskennelleet radiologit havaitsivat yhden rintasyövän enemmän tuhatta potilasta kohden. Väärien positiivisten tulosten määrä oli sama tekoälyn käytöstä riippumatta. Saksalaistutkimuksen mukaan tekoälyjärjestelmä on riittävän tarkka ja luotettava, että sen käyttöönottoa voisi laajentaa. Tekoäly auttaa tunnistamaan syöpiä, jotka jäisivät huomaamatta tavallisessa seulonnassa. Tekoäly voisi myös helpottaa työkuormaa, mikä vähentäisi kustannuksia sekä parantaisi tehokkuutta. [14.]

### 3.2 Röntgenkuvantamisen haasteet

Röntgenkuvantaminen on tehokas ja laajalti käytetty diagnostinen menetelmä, mutta siihen liittyy myös useita haasteita ja rajoituksia. Nämä haasteet voivat vaikuttaa diagnostisten kuvien laatuun, tarkkuuteen ja potilasturvallisuuteen. Yksi merkittävimmistä röntgenkuvantamisen haasteista on säteily, joka voi aiheuttaa haitallisia vaikutuksia pitkällä aikavälillä, erityisesti toistuvissa kuvantamistutkimuksissa. Röntgensäteet voivat vaurioittaa kudoksia ja lisätä syöpärisiä erityisesti herkille alueille, kuten rintarauhasille. Tästä syystä on tärkeää minimoida säteilyn määrä ja käyttää vaihtoehtoisia tutkimusmenetelmiä, kuten magneettikuvausta tai ultraäänitutkimusta aina kun se on mahdollista. [2.]

Röntgenkuvien laatu voi vaihdella riippuen laitteiston ja teknisten asetusten kunnosta. Artefaktit, kuten varjostumat, vääristymät ja häiriöt, voivat vaikeuttaa kuvien tulkintaa ja johtaa virheellisiin diagnooseihin. Esimerkiksi potilaan huono asento ja potilaan liikkuminen tutkimuksen aikana voivat aiheuttaa epäselviä kuvia. Vaikka röntgenkuvantaminen on tehokas menetelmä murtumien tunnistamisessa, se ei ole aina riittävän herkkä havaitsemaan pieniä tai varhaisessa vaiheessa olevia vaurioita. Esimerkiksi pienet murtumat, luukasvaimet ja monet pehmytkudosmuutokset voivat jäädä röntgenkuvissa huomaamatta. Tästä syystä röntgenkuvantaminen ei aina ole ainoa tarvittava tutkimus, ja sen rinnalla käytetään usein muita kuvantamismenetelmiä, kuten magneettikuvausta (MRI) tai tietokonetomografiaa (CT). [2.]

## 4 Tekoälyn käyttö murtumien tunnistamisessa röntgentutkimuksessa

Tekoäly on noussut yhdeksi lupaavimmista työkaluista lääketieteellisessä kuvantamisessa, erityisesti röntgenkuvissa tapahtuvassa murtumien tunnistamisessa. Tekoälyn soveltaminen voi parantaa murtumien havaitsemista, nopeuttaa diagnosointia ja vähentää inhimillisten virheiden mahdollisuutta. [11.]

#### 4.1 Murtumien tunnistamisen haasteet

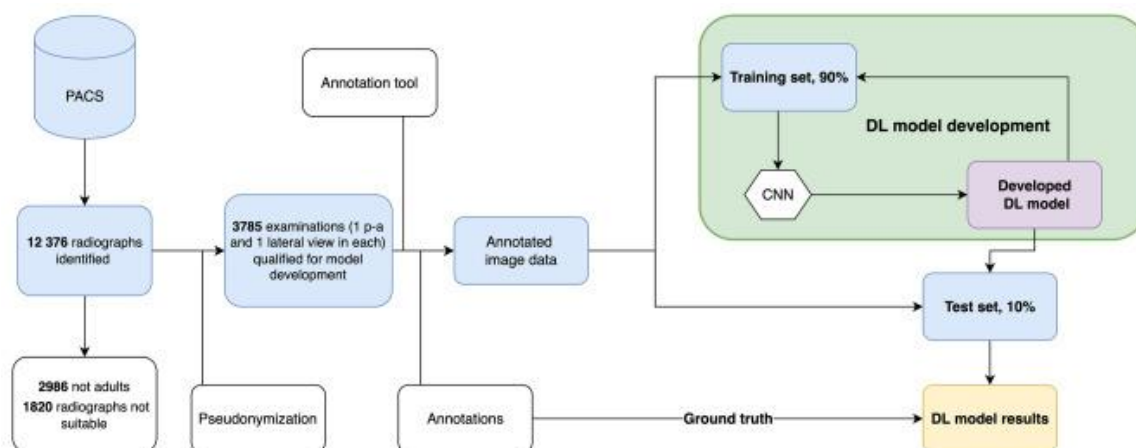
Murtumien tunnistaminen röntgenkuvista voi olla haasteellista useista syistä. Vaikka röntgenkuvantaminen on yksi tehokkaimmista tavoista tunnistaa murtumia, erityisesti luun murtumien varhaisessa vaiheessa tai epätavallisissa paikoissa, se ei ole virheetöntä. Röntgenkuvat voivat olla epäselviä tai vääristyneitä johtuen esimerkiksi potilaan liikkumisesta, huonosta asennosta tai huonosta laitteistosta, mikä voi tehdä murtumien havaitsemisesta vaikeampaa. Joidenkin murtumien, kuten hiusmurtumien, tunnistaminen voi olla vaikeaa, koska ne eivät aina näy selkeästi röntgenkuvassa. [2.]

Tekoäly voi ratkaista useita haasteita ja parantaa röntgenkuvissa tapahtuvaa murtumien tunnistamista. Tekoälyalgoritmit, kuten syväoppiminen (deep learning), voivat oppia tunnistamaan murtumia tarkasti suurista röntgenkuvadatajoukoista ilman inhimillistä virhettä. Tekoälypohjaiset järjestelmät voivat suorittaa automaattista murtumien tunnistamista ja esittää analyysin röntgenkuvasta. Tämä voi nopeuttaa diagnosointiprosessia ja auttaa lääkäreitä keskittymään muiden kliinisten päätösten tekemiseen. Tekoälyn hyödyntäminen röntgenkuvissa voi vähentää tulkinta-aikaa ja nopeuttaa hoitopäätösten tekemistä. [2.]

#### 4.2 Tekoälyn käyttö murtumien diagnostiikassa

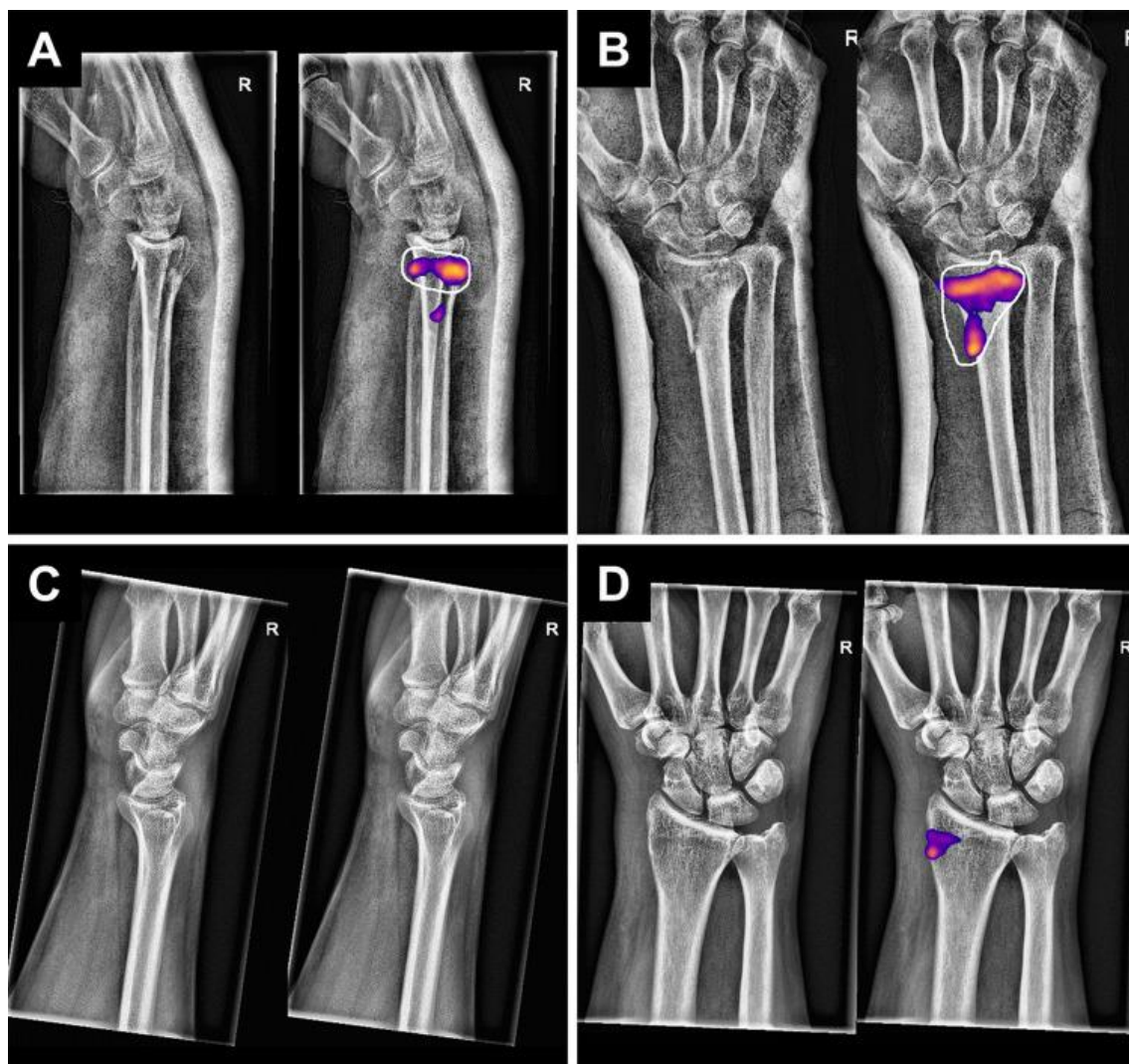
Yhtenä esimerkkinä tekoälyn käytöstä murtumadiagnostiikassa toimii suomalainen tutkimus, jossa kehitettiin syväoppimiseen perustuva segmentointimalli varttinäluun alaosan murtumien tunnistamiseen rannekuvista. Varttinäluun alaosan murtumat (rannemurtuma) muodostavat jopa 20 % kaikista murtumista tapaturmapäivystyksessä [15]. Niiden hoito ja diagnoosi perustuvat kliiniseen tutkimukseen ja röntgenkuvien oikeaan tulkintaan. HUSin käsikirurgian ylilääkäri Jorma Ryhänen ja käsikirurgi Turukka Anttila rakensivat tutkimusryhmänsä kanssa tekoälymallin, joka tunnistaa näitä murtumia. Murtumien tunnistaminen tekoälyn avulla oli erinomaista. Se pystyi tunnistamaan oikein 97 % murtumista. [16.]

Tutkimusaineisto koostui aikuisten ( $\geq 18$  vuotta) ranteen alueen traumapotilaiden röntgenkuvista, jotka oli otettu kuuden sairaalan päivystyspoliklinikalla vuonna 2016. Kuvat saatiin Helsingin yliopistollisen sairaalan (HUS) kuvantamisen- ja viestintäjärjestelmästä (PACS), mitkä tallennettiin sen jälkeen sairaalan sähköiseen tietokantaan (HUS Datalake). Tekoälyalgoritmin kehittämistä varten röntgenkuvat jaettiin siten, että potilaat valittiin satunnaisesti harjoitus- ja testiaineistoon. Testiaineisto muodosti 10 % koko aineistosta. Aineiston valinnan vaihe sekä tutkimuksen työnkulku ovat esitetty seuraavassa kuvassa 2. [15.]



Kuva 2. Röntgenkuva-aineiston käsittelyvaiheet [15]. Koneoppimismalli oppii harjoitusaineiston avulla tunnistamaan kuvista murtumia. Testiaineisto (10 %) on se osa aineistoa, jota malli ei ole koskaan aikaisemmin nähnyt. Sitä käytetään lopulliseen arviointiin.

Kuvassa 3 havainnollistetaan algoritmin kaksi oikein positiivista murtumatunnista (A,B) ja kaksi kuvaa, jossa algoritmi ei havaitse murtumaa (C) sekä virheellinen murtumatulkinta (D). Tutkimuksessa painotetaan ulkoisen validoinnin ja algoritmien vertailun tärkeyttä mallin suorituskyvyn ja luotettavuuden arvioimiseksi eri kliinisissä ympäristöissä. [15.]



Kuva 3. Röntgenkuvien ylimmät kaksi kuvaa (A,B) havainnollistavat algoritmin positiivista murtumatunnistusta. Alimmissa kuvissa (C) esiintyy todellinen murtuma, jota algoritmi ei havaitse. Kuvassa (D) murtumaa ei ole, mutta algoritmi tulkitsee sen virheellisesti murtumaksi. [15.]

Eteläkorealainen tutkimusryhmä tarkasteli syväoppimisen soveltuvuutta nikamien ja osteoporoosin tunnistamiseen selkärangan röntgenkuvista. Tutkimuksen tavoitteena oli tutkia iäkästä väestöä automaattisella menetelmällä. Röntgenkuvausta tehdään laajasti selkärangan kuvantamiseen, joten se tarjosi kattavaa aineistoa selkärangan rakenteesta, luun tiheydestä, sekä pehmytkudoksista, mitä voitiin käyttää koneoppimismallin kehittämiseen. Syväoppimismallit analysoivat lateraalisen selkärangan röntgenkuvia ja tuottivat hyviä tuloksia. Syväoppimiseen perustuva malli onnistui tunnistamaan nikamamurtumia 93 prosentin tarkkuudella. [17.]

## 5 Tutkimuksen tavoite

Tämän kuvailevan kirjallisuuskatsauksen tavoitteena on selvittää, kuinka tekoälyä voidaan hyödyntää murtumien tunnistamisessa röntgentutkimuksessa. Tarkoituksena on kuvata tekoälyn, koneoppimisen, syväoppimisen ja neuroverkkojen keskeiset prosessit sekä selvittää, millä tavoin näitä menetelmiä voidaan käyttää röntgenkuvien analysoinnissa. Opinnäytetyön tarkoituksena on myös miettiä tekoälyyn liittyviä hyötyjä sekä haasteita eettisestä ja kliinisestä näkökulmasta. Opinnäytetyö kokoaa yhteen ajankohtaista ja tutkimukseen perustuvaa tietoa tekoälyn vaikutuksesta radiologisessa diagnostiikassa. Tässä opinnäytetyössä tarkastellaan tekoälyn hyödyntämistä murtumien tunnistamisessa röntgenkuvantamisessa. Tutkimuskysymykset ovat seuraavat:

1. Miten tekoälyä voidaan hyödyntää murtumien tunnistamisessa röntgenkuvantamisessa verrattuna perinteiseen röntgenkuvantamiseen?
2. Mitkä ovat tekoälyn haasteet murtumien tunnistamisessa röntgenkuvantamisessa?

## 6 Tutkimuksen menetelmä

Opinnäytetyössä toteutettiin kuvailevaa kirjallisuuskatsausta tutkimusmenetelmänä. Kuvailevaa kirjallisuuskatsausta kutsutaan toisinaan myös traditionaalinen kirjallisuuskatsaukseksi, jota voidaan kuvailla yleiskatsaukseksi ilman tiukasti rajattuja kriteereitä [18]. Kuvailevassa kirjallisuuskatsauksessa tutkimuskysymys toimii opinnäytetyön keskeisenä ohjaavana tekijänä [19]. Ennen tutkimuskysymystä yleensä on alustava kirjallisuuskatsaus, jonka avulla määritellään tutkimuskysymys osana laajempaa aihepiiriä [19]. Tutkimuskysymyksen tulisi olla riittävän rajattu, jotta aihetta voidaan tutkia syvällisesti. Tutkimuskysymys voi olla avoin kysymys, jolloin aihetta voidaan tarkastella monesta näkökulmasta [19].

Kuvaileva kirjallisuuskatsaus voidaan jakaa kolmeen erilaiseen luokkaan, joita ovat narratiivinen, kartoittava ja integroiva katsaus [18]. Tässä opinnäytetyössä käytetään narratiivista kirjallisuuskatsausta. Opinnäytetyön tavoitteena on muodostaa ajankohtainen ja kattava kokonaiskuva tekoälyn hyödyntämisestä röntgenkuvantamisessa, painottuen pääosin vuodesta 2020 jälkeen julkaistuihin tutkimuksiin. Kuvaileva kirjallisuuskatsaus on saanut kritiikkiä siitä, että kirjoittajan omat näkökulmat ja tulkinnat vaikuttavat aineiston valintaan [19]. Vahvuutena pidetään mahdollisuutta esittää perusteltuja näkökulmia tarkasteltavaan aiheeseen ja syventyä tiettyihin erityiskysymyksiin [19].

## 6.1 Aineisto

Aineistoa kerättiin pääsääntöisesti eri tietokannoista, kuten PubMedistä, ScienceDirectistä, Google Scholarista sekä tekoälyä tiedonhaussa hyödyntävästä Keeniousista. Työssä hyödynnettiin myös Duodecim-lehden sekä muiden aiheeseen liittyvien julkaisujen artikkeleita.

Työssä käytettiin niin suomeksi, kuin englanniksi olevia hakusanoja. Hakusanoina käytettiin englanninkielisiä yhdistelmiä, kuten ”artificial intelligence”, ”deep learning”, ”fracture detection”, ”radiographic”, sekä suomenkielisiä yhdistelmiä, kuten ”tekoäly”, ”murtumat”, ”röntgenkuvantaminen” ja ”radiologia”.

Hakuprosessin aikana julkaisuja rajattiin vuosille 2020–2025. Lopulliseen aineistoon valittiin ne julkaisut, jotka olivat sisällöltään olennaisia ja laadullisesti riittäviä tukemaan työn tutkimuskysymystä. Taulukko 1 kuvaa tarkemmin tiedonhaun rajaukset, tietokannat sekä hakusanat.

Taulukko 1. Tiedonhakutaulukko.

Tietokanta	Hakusanat	Rajaukset	Tulokset	Valitut
ScinceDirect	"AI" AND "radiograph" AND "fracture"	Rajaus tehty vuosiin 2020–2025	180	1
Pubmed	"artificial intelligence",OR "machine learning" OR "AI" or "deep learning" OR/AND  Detecting fractures in	Rajaus tehty vuosiin 2020–2025	241	7
Google Scholar	"AI in fracture detection"	Rajaus 2020–2025	40	1
Google	Tekoäly radiologiassa, radiologia, röntgensäteily	Rajaus tehty vuosiin 2020–2025	255	4

Julkaisut valittiin tutkimuskysymyksen kannalta keskeisyyden ja laadullisen arvioinnin perusteella. Ensisijaisesti huomioitiin tutkimukset, jotka käsittelivät tekoälyn käyttöä murtumien tunnistamisessa röntgenkuvantamisessa. Hakuprosessin jälkeen mukaan valikoitui tutkimukset, jotka muodostavat tämän opinnäytetyön keskeisen kirjallisuusaineiston.

## 6.2 Aineiston analyysi

Aineisto analysoitiin sisällönanalyysin menetelmällä, joka soveltuu hyvin kuvailtavaan kirjallisuuskatsaukseen. Opinnäytetyön aiheena oli tekoälyn hyödyntäminen röntgentutkimuksessa murtumien tunnistamisessa ja aineisto rajattiin sellaisiin tutkimuksiin, jotka käsittelivät näitä teemoja. Analyysissä keskityttiin erityisesti käytettyihin tekoälyn menetelmiin (koneoppiminen ja syväoppiminen), murtumien tunnistamiseen, saavutettuihin tuloksiin sekä tekoälyyn liittyviin eettisiin näkökulmiin. Tulokset esiteltiin kuvailun kautta, jotta saatiin kokonaiskuva tekoälyn nykytilasta ja mahdollisuuksista radiologisessa murtumadiagnostiikassa.

## 7 Tulokset

Tutkimukset osoittavat, että tekoälymenetelmillä on saavutettu lupaavia tuloksia murtumien tunnistamisessa. Opinnäytetyössä tarkasteltiin tekoälyn mahdollisuuksia ja haasteita murtumien tunnistamisessa röntgenkuvantamisen yhteydessä sekä niitä näkökohtia, jotka on otettava huomioon tekoälyn luotettavuuden ja eettisyyden arvioinnissa. Valittujen tieteellisten julkaisujen ja tutkimusten perusteella voidaan todeta, että tekoäly, erityisesti syväoppimiseen perustuvat menetelmät, kykenevät tarjoamaan suurta hyötyä radiologeille tehostamalla toimintaa ja keventämällä työtaakkaa [11]. Radiologien tutkimusmenetelmien tekoälytutkimukset ovat lisääntyneet huomattavasti viime vuosina teknologian kehityksen myötä, mikä on osaltaan vähentänyt kustannuksia [11].

Syväoppimisalgoritmeja pystytään hyödyntämään suomalaistutkimuksen mukaan rannemurtumien tunnistamisessa. Tutkimuksessa kehitettiin ja luotiin syväoppismalli, joka tunnistaa värttinäluun murtumia. Malli saavutti erinomaisen tarkkuuden ROC-käyrän avulla tunnistamalla murtumia 97 %:n tarkkuudella. Tutkimuksen vahvuuksia olivat runsas potilasotos, asiantuntijuus, kuuden eri sairaalan koulutusaineisto sekä useilla eri laitevalmistajien laitteilla otetut röntgenkuvat. Tutkijat korostavat, että tarvitaan vielä ulkoista validointia ja lisätutkimuksia eri algoritmien vertailusta. [15.]

Vuonna 2023 julkaistu eteläkorealainen tutkimus hyödynsi syväoppimismallia nikamamurtumien tunnistamiseen. Tutkimuksessa hyödynnettiin yli 26 000:tta röntgenkuvaa lähes 10 000 potilaalta syväoppimismallin kouluttamiseen. Nikamamurtumien tunnistamisessa syväoppimismalli saavutti erinomaisen tarkkuuden tunnistuen 93 % kuvista oikein. Syväoppimismalli kykeni erottamaan murtuneet nikamat terveistä hyvin luotettavasti. Syväoppimismalli analysoi kuvat nopeasti ja automaattisesti vähentäen radiologien työkuormaa. Tutkimuksessa havaittiin, että tekoälymallin suorituskyky voi heikentyä, jos harjoitusaineisto ei ole samantyyppistä kuin käytettävä data. Tarve on laajemmalle validoinnille käyttämällä monipuolisempaa aineistoa, jotta mallien suorituskyky ja luotettavuus voidaan varmistaa eri potilasryhmille. [17.]

## 8 Pohdinta

Tässä opinnäytetyössä on tarkasteltu tekoälyn käyttöä murtumien tunnistamisessa röntgentutkimuksissa. Opinnäytetyön perusteella voidaan todeta, että tekoäly – erityisesti koneoppiminen ja syväoppiminen – tarjoaa huomattavia mahdollisuuksia parantaa diagnostista tarkkuutta ja tehostaa radiologisia prosesseja. Useat tutkimukset osoittavat, että tekoälymallit voivat saavuttaa yhtä hyvän tai jopa paremman suorituskyvyn kuin radiologit tiettyjen murtumatyyppien tunnistamisessa.

Tekoälyn käytössä havaittiin myös useita haasteita ja rajoitteita. Esimerkiksi opetusaineistojen laatu ja määrä vaikuttavat merkittävästi mallien tarkkuuteen ja

yleistettävyyteen. Lisäksi tekoälyn läpinäkyvyyden puute herättää kysymyksiä luotettavuudesta. Radiologin kyky ymmärtää tekoälyn antamia tuloksia on keskeinen tekijä luotettavuuden ja potilasturvallisuuden kannalta. On myös tärkeää huomioida, että tekoäly ei vielä täysin korvaa ihmisen tekemää päätöksentekoa, vaan toimii asiantuntijan apuvälineenä.

Eettisestä näkökulmasta tekoälyn hyödyntäminen röntgenkuvantamisessa herättää pohdintaa muun muassa potilasturvallisuudesta, tietosuojasta ja vastuukysymyksistä. Myös tekoälyn käyttöön liittyvä sääntely ja standardointi ovat vielä kehitysvaiheessa, mikä voi rajoittaa käyttöönottoa kliinisessä työssä. Tulevaisuudessa tekoälyn laajempi käyttöönotto edellyttää monitahoista yhteistyötä terveydenhuollon ammattilaisten kanssa ja lainsäädännön asiantuntijoiden välillä. Lisäksi tarvitaan jatkotutkimuksia, missä tekoälymalleja testataan laajemmalla aineistolla eri terveydenhuoltojärjestelmissä. Koulutuksen merkitys korostuu, jotta terveydenhuollon ammattilaiset ymmärtävät tekoälyn toimintaa paremmin.

Kaiken kaikkiaan tekoälyllä on potentiaalia parantaa diagnostiikkaa ja tukea terveydenhuollon ammattilaisia, mutta sen käyttöönotto edellyttää huolellista suunnittelua, jatkuvaa arviointia, koulutusta ja selkeitä ohjeistuksia.

## 8.1 Eettisyys ja luotettavuus

Opinnäytetyössä eettisyyden ja luotettavuuden arviointiin käytettiin hyvän tieteellisen käytännön ohjetta. Se perustuu eurooppalaisen tutkimuseettiseen käytäntöön, jonka mukaan peruseriaatteita hyvään tieteelliseen käytäntöön ovat luotettavuus, rehellisyys, arvostus ja omanarvontunto. [20.]

Lisäksi työssä huomiottiin Arenen opinnäytetyön laatimista koskevat suositukset, jotka korostavat opiskelijan vastuuta opinnäytetyön läpinäkyvyydestä, rehellisyydestä, lähteiden asianmukaisesta käytöstä sekä työn itsenäisyydestä [21]. Arenen suositusten mukaan tulee kiinnittää erityistä huomiota tutkimusaineiston oikeanlaiseen käsittelyyn, tietosuojaan sekä tekijänoikeuksien kunnioittamiseen

[21]. Opinnäytetyössä nämä periaatteet ovat olleet läsnä koko pressin ajan varmistuen työn luotettavuuden ja eettisyyden.

## 8.2 Jatkokehitysmahdollisuudet

Tekoälyn soveltuminen murtumien tunnistamiseen röntgenkuvantamisessa on erittäin lupaava ja nopeasti kehittyvä tutkimusalue, jossa on useita jatkokehitysmahdollisuuksia. Tekoälymallit tarvitsevat laajempaa kliinistä aineistoa, jotta niiden tarkkuutta ja luotettavuutta voidaan parantaa. Eettisten kysymysten, tietosuojan, läpinäkyvyyden ja sääntelyn kehittäminen nopeasti kehittyvässä tekoälyssä on erittäin tärkeää, jotta varmistetaan potilaiden turvallisuus myös tulevaisuudessa. Erityisesti tekoälyä arvioitaessa on tärkeää huomioida päätöksen läpinäkyvyys sekä tekoälyn toiminnan selitettävyys, jotta terveydenhuollon ammattilaiset pystyvät arvioimaan ja ymmärtämään tekoälymallien tuottamia tuloksia.

## Lähteet

- 1 Hirani, Rahim; Noruzi, Kaleb; Khuram, Hassan; Hussaini, Anum S; Aifuwa, Esewi Iyobosa; Ely, Kencie E; Lewis, Joshua M; Gabr, Ahmed E; Smiley, Abbas; Tiwari, Raj K & Etienne Mill. 2024. Artificial Intelligence and Healthcare: A Journey through History, Present Innovations, and Future Possibilities. Verkkoaineisto. <<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/38792579/>>. Luettu 1.11.2024.
- 2 Syväranta, Suvi; Vuorinen, Aino-Maija & Tokola, Anna. 2021. Radiologisen kuvantamisen perusteet. Lääketieteellinen Aikakauskirja Duodecim 2021;137(9) : 969–76. Verkkojulkaisu. <<https://www.duodecim-lehti.fi/duo16215>>. Luettu 1.5.2024.
- 3 Goisaufl, Melania & Abadía, Mónica Cano. 2022. Ethics of AI in Radiology: A Review of Ethical and Societal Implications. Verkkojulkaisu. <<https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC9329694/>>. Luettu 3.11.2024.
- 4 Kattelus, Mervi & Sariola, Suvi. 2021. Lääkärin etiikka. Suomen Lääkäriliitto & Suomen Hammaslääkäriliitto. Verkkojulkaisu. <<https://julkaisut.laakariliitto.fi/site/assets/files/29259/laakaran-etiikka-2021.pdf>>. Luettu 25.10.2024.
- 5 Euroopan komissio. Tekoälysäädös tulee voimaan. 2024. Verkkoaineisto. <[https://commission.europa.eu/news/ai-act-enters-force-2024-08-01\\_fi](https://commission.europa.eu/news/ai-act-enters-force-2024-08-01_fi)>. Julkaisupäivä 1.8.2024. Luettu 10.11.2024.
- 6 Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi tekoälysäädöksestä. 2024. Direktiivi (EU) 2024/1689. Verkkoaineisto. <<https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2024/1689/oj>>. Luettu 10.12.2024.
- 7 Euroopan Parlamentin ja neuvoston direktiivi 2001/95/EY. 2001. Verkkoaineisto. <<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/HTML/?uri=CELEX:02001L0095-20100101>>. Luettu 10.12.2024.

- 8 Euroopan parlamentti. 2023. EU:n tekoälysäädös on ensimmäinen laatuaan. Verkkoaineisto. <<https://www.europarl.europa.eu/topics/fi/article/20230601STO93804/eu-n-tekoalysaadon-on-ensimmainen-laatuuan>>. Päivitetty 20.2.2025. Luettu 10.11.2024.
- 9 Kufel, Jakub; Bargieł-Łączek, Katarzyna; Kocot, Szymon; Koźlik, Maciej; Bartnikowska, Wiktoria; Janik, Michał; Czogalik, Łukasz; Dudek, Piotr; Magiera, Mikołaj; Lis, Anna; Paszkiewicz, Iga; Nawrat, Zbigniew; Cebula, Maciej & Gruszczyńska, Katarzyna. 2023. What Is Machine Learning, Artificial Neural Networks and Deep Learning? Examples of Practical Applications in Medicine. Verkkoaineisto. <<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/37568945/>>. Luettu 5.12.2024.
- 10 Sanmark, Johan & Sanmark, Enni. 2024. Mitä tiedämme generatiivisen tekoälyn hyödyistä terveydenhuollossa? Lääketieteellinen Aikakauskirja Duodecim 2024;140(12):1023–30. Verkkojulkaisu. <<https://www.duodecimlehti.fi/duo18143>>. Luettu 10.4.2025.
- 11 Huhtanen, Heidi; Nyman, Mikko; Karlsson, Antti & Hirvonen, Jussi. 2020. Lääketieteellinen Aikakauskirja Duodecim 2020;136(17):1957–64. Tekoäly radiologiassa. Duodecim. Verkkojulkaisu. <<https://www.duodecimlehti.fi/duo15753>>. Luettu 1.5.2024.
- 12 Bennani, Souhail; Regnard, Nor-Eddine; Ventre, Jeanne; Lassalle, Louis; Nguyen, Toan; Ducarouge, Alexis; Dargent, Lucas; Guillo, Enora; Gouhier, Elodie; Zaimi, Sophie-Hélène; Canniff, Emma; Malandrin, Cécile; Khafagy, Philippe; Koulakian, Hasmik; Revel, Marie-Pierre & Chassagnon, Guillaume. 2023. Using AI to Improve Radiologist Performance in Detection of Abnormalities on Chest Radiographs. Verkkoaineisto. <<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/38085079/>>. Luettu 1.2.2025.

- 13 Alanko, Johanna. 2019. Rintasyöpäseulonnan nykytilanne ja kuvantamisen uudet mahdollisuudet. *Lääketieteellinen Aikakauskirja Duodecim* 2019;135(19):1904–11. Verkkojulkaisu. <<https://www.duodecim-lehti.fi/duo15149>>. Luettu 7.1.2025.
- 14 Eisemann, Nora; Bunk, Stefan; Mukama, Trasias; Baltus, Hanna, Elsner, Susanne A; Gomille, Timo; Hecht, Gerold; Heywang-Köbrunner, Sylvia; Rathmann, Regine; Siegmann-Luz, Katja; Töllner, Thilo; Vomweg, Toni Werner; Leibig, Christian & Katalinic, Alexander. 2025. Nationwide real-world implementation of AI for cancer detection in population-based mammography screening. Verkkojulkaisu. <<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/39775040/>>. Luettu 2.4.2025.
- 15 Anttila, Turcka T; Karjalainen, Teemu v; Mäkelä, Teemu O; Waris, Eero M; Lindfors, Nina C; Leminen, Miika M & Ryhänen, Jorma O. 2023. Detecting Distal Radius Fractures Using a Segmentation-Based Deep Learning Model. Verkkojulkaisu. <<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/36542269/>>. Luettu 24.8.2024.
- 16 HUS. 2024. Tekoäly auttaa tunnistamaan murtumia, luukasvaimia ja kuolioita röntgenkuvista. Verkkojulkaisu. <<https://www.sttinfo.fi/tiedote/70128485/tekoaly-auttaa-tunnistamaan-murtumia-luukasvaimia-ja-kuolioita-rontgenkuvista?publisherId=23980819&lang=fi>>. Luettu 15.4.2024.
- 17 Hong, Namki; Cho, Sang Wouk; Shin, Sungjae; Lee, Seunghyun; Jang, Seol A; Roh, Seunghyun; Lee, Young Han; Rhee, Yumie; Cummings, Steven R; Kim, Hwiyoung & Kim, Kyoung Min. 2023. Deep-Learning-Based Detection of Vertebral Fracture and Osteoporosis Using Lateral Spine X-Ray Radiography. Verkkojulkaisu. <<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/37038364/>>. Luettu 3.4.2025.

- 18 Salminen, Ari 2023. Mikä kirjallisuuskatsaus? Johdatus kirjallisuuskatsauksen tyyppeihin ja joihinkin hallintotieteellisiin sovelluksiin. Vaasan yliopisto. Verkkojulkaisu. <<https://osuva.uwasa.fi/bitstream/handle/10024/15470/978-952-395-081-8%20%28PDF%29.pdf?sequence=2&isAllowed=y>>. Luettu 15.8.2024.
- 19 Kangasniemi, Mari; Utriainen, Kati ; Ahonen, Sanna-Mari; Pietilä, Anna-Maija; Jääskeläinen, Petri & Liikanen, Eeva. 2013. Kuvaileva kirjallisuuskatsaus: eteneminen tutkimuskysymyksestä jäsenettyyn tietoon. Verkkojulkaisu. <<https://journal.fi/hoitotiede/article/view/128286/77409>>. Luettu 12.1.2025.
- 20 Tutkimuseettinen neuvottelukunta (TENK). 2024. Verkkojulkaisu. <<https://tenk.fi/fi/hyva-tieteellinen-kaytanta-htk>>. Päivitetty 22.4.2024. Luettu 24.4.2025.
- 21 Arene ry. 2018. Ammattikorkeakoulujen opinnäytetöiden eettiset suositukset. Verkkojulkaisu. < <https://arene.fi/julkaisut/raportit/opinnaytetoiden-eettiset-suositukset/>>. Päivitetty 18.2.2025. Luettu 26.3.20