



Linnea Eklund ja Lovisa Nordlund

Tekoälyratkaisut patologiassa

Scoping-katsaus

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Sosiaali- ja terveysalan ammattikorkeakoulututkinto

Bioanalytiikan tutkinto-ohjelma

Opinnäytetyö

18.4.2024

Tiivistelmä

Tekijä(t):	Linnea Eklund, Lovisa Nordlund
Otsikko:	Tekoälyratkaisut patologiassa: scoping-katsaus
Sivumäärä:	23 sivua + 2 liitettä
Aika:	18.4.2024
Tutkinto:	Sosiaali- ja terveystieteiden ammattikorkeakoulututkinto
Tutkinto-ohjelma:	Bioanalytiikan tutkinto-ohjelma
Ohjaaja(t):	Yliopettaja Eija Metsälä Yliopettaja Riitta Lumme

Tämän opinnäytetyön tavoitteena on kartoittaa tekoälyn käyttöä patologiassa, millä tavoin tekoäly voisi sujuvoittaa työskentelyä patologian laboratorioissa, ja minkälaisia ratkaisuja on kehitteillä tekoälyn saralla. Opinnäytetyö toteutetaan tutkimuksellisenä opinnäytetyönä, jonka tuotoksena syntyy scoping-katsaus artikkeli. Tässä opinnäytetyössä kuvataan tieteellisen artikkelin tuottamisprosessia.

Scoping-katsaus on kirjallisuuskatsaus, jossa kartoitetaan tietystä aihealueesta löytyvää tutkimustietoa. Scoping-katsauksen teko alkaa tutkimuskysymyksen määrittämisellä. Tämän jälkeen seuraa aineiston kokoaminen, jonka suoritimme neljästä eri tietokannasta hyödyntäen hakusanojen yhdistelmiä. Tiedonhaku rajattiin viiden viimeisen vuoden aikana julkaistuihin vertaisarvioituihin artikkeleihin. Käytössä oli myös tarkat poissulkukriteerit. Aineistonhaku tuotti yhteensä 19 185 artikkelia, joista lopulta rajattiin seulontaprosessin sekä laadunarvioinnin avulla lopulliseen 76 artikkelin otokseen. Nämä artikkelit koottiin taulukoihin, ja tuloksia tarkastellaan tieteellisessä artikkelissa.

Scoping-katsauksen teossa edettiin ennalta määritetyn prosessin mukaan, ja se on kirjoitettu yhteistyössä Multicultural, -sectoral and -professional co-creative learning projects in the field of healthcare and health technology (3DL Health Tech) -projektiryhmän kanssa. Opinnäytetyön tuotoksena syntynyt tieteellinen scoping-katsaus artikkeli julkaistaan *Computer Methods in Biomechanics and Biomedical Engineering: Imaging & Visualization* lehdessä.

Scoping-katsauksen tuloksista voidaan päätellä, että tekoäly tulee tulevaisuudessa olemaan vielä suurempi hyöty terveydenhuoltoalalla, ja sen avulla alan ammattilaiset voivat jakaa työtaakkaa paremmin, minimoida inhimillisiä virheitä sekä parantaa diagnostiikan laatua.

Avainsanat:	Tekoäly, digipatologia, kuva-analyysi, WSI, kirjallisuuskatsaus, Scoping-katsaus
-------------	--

Tämän opinnäytetyön alkuperä on tarkastettu Turnitin Originality Check -ohjelmalla.

Abstract

Author(s): Linnea Eklund, Lovisa Nordlund
Title: AI solutions in pathology: a scoping review
Number of Pages: 23 pages+ 2 appendices
Date: 18.4.2024

Degree: Bachelor of Health Care
Degree programme: Degree Programme in Biomedical Laboratory Science
Instructor(s): Eija Metsälä, Principal Lecturer
Riitta Lumme, Principal Lecturer

The aim of this thesis is to explore the use of artificial intelligence (AI) in pathology, how AI could streamline work in pathology laboratories, and what kind of solutions are being developed in the field of AI. The thesis is conducted as a research-based thesis, resulting in a scoping review article. This thesis describes the process of producing a scientific article.

A scoping review is a literature review that maps the existing research on a specific topic. The process of conducting a scoping review begins with defining the research question. This is followed by data collection, which we conducted from four different databases using a combination of keywords. The search was limited to peer-reviewed articles published in the last five years. Detailed exclusion criteria were also established. The literature search produced 19 185 articles, which were narrowed down to 76 articles through a screening process and quality assessment. These articles were compiled into tables, and the results are examined in a scientific article.

The scoping review was conducted according to a predefined process and was written in collaboration with the Multicultural, -sectoral and –professional co-creative learning projects in the field of healthcare and health technology (3DL Health Tech) project group. The resulting scientific scoping review article will be published in the *Computer Methods in Biomechanics and Biomedical Engineering: Imaging & Visualization* journal. The results of the scoping review suggests that AI will be an even greater asset in healthcare in the future, allowing healthcare professionals to better share workloads, minimize human errors, and improve the quality of diagnosis.

Keywords: Artificial intelligence, digital pathology, image analysis, WSI, literature review, Scoping-review

The originality of this thesis has been checked using Turnitin Originality Check service

Sisällys

1	Johdanto	1
2	Patologia ja tekoäly	3
2.1	Histologia	3
2.2	Digipatologia	4
2.3	Tekoäly	5
2.4	Tekoälyn eettisyys	7
3	Työn tavoite, tarkoitus ja tutkimuskysymykset	8
4	Menetelmät	9
4.1	Scoping-katsauksen ominaispiirteet	9
4.2	Tutkimuskysymyksen ja katsauksen tarkoituksen määrittäminen	10
4.3	Kirjallisuushaku ja aineiston valinta	11
4.4	Tutkimusaineiston käsittely, analysointi ja raportointi	15
4.5	Patologiien haastattelut	16
5	Scoping-katsaus	18
5.1	Tuotos	18
5.2	Tuotetun artikkelin elinkaari	20
6	Pohdinta	20
6.1	Eettisyys ja luotettavuus	21
6.2	Johtopäätökset	22
6.3	Ammatillinen kasvu	23
	Lähteet	24

Liitteet

Liite 1. Mikael Lepistön (patologian erikoislääkäri, Turun yliopistollinen keskussairaala) haastattelu

Liite 2. Talat Zehran (patologian apulaisprofessori, Jinnah Sindh Medical University) haastattelu

1 Johdanto

Laboratorioiden modernisoituminen ja jatkuva digitalisointi on edistänyt digipatologian kehitystä viimeisten vuosikymmenten aikana. Patologisten näytteiden tutkiminen on yli sata vuotta perustunut valomikroskopiaan, jonka avulla saadaan tietoa kudoksen rakenteesta, soluista ja mahdollisista poikkeavista rakenteista. Virtuaalimikroskopiakuvaus (whole slide image, WSI) on vuosituhatien alussa valmistunut tekniikka, jossa tietokoneen ohjaama mikroskooppi kuvaa näytelasin osissa, jotka sitten liitetään yhteen ja lopputuloksena saadaan jopa 100 000 x 100 000 pikselin kokoisia näytekuvia. Näitä kuvia patologi voi sitten tarkastella tietokoneen näytöltä, tarvittaessa säätää kuvien kontrasteja ja verrata arkistonäytteisiin. (Tolonen & Näpäkangas & Isola 2015: 1981-1987.)

Tekoäly (AI, Artificial Intelligence) on tietojenkäsittelytieteen osa-alue, joka voidaan määrittää yhdistelmänä keinotekoisista tietotekniikkaa ja fysiologista älykkyyttä. Tekoälyn juuret ylettyvät aina ensimmäisen tietokoneen kehittäjän, Alan Turingin, innovaatioihin saakka. Kehityksiä tekoälyn saralla ovat mm. neuroverkot, koneoppiminen ja syväoppiminen, joita voidaan hyödyntää myös terveydenhuollossa. (Vähäkainu & Neittaanmäki 2018.) CAD (computer assisted diagnosis)-sovellukset ovat esimerkki siitä, miten tekoälyä voidaan hyödyntää terveydenhuollossa. Muita käytössä olevia tekoälysovelluksia ovat esimerkiksi erilaiset hoitojen suunnitteluun ja toteutukseen käytetyt sovellukset, sekä röntgenkuvien automaattinen annotaatio ja annosten ja työnkulun optimointi, patologian laboratorioissa virtuaalimikroskooppikuvien analyysiin käytettävät tekoälysovellukset ja automatisoidut vastaukset. Jotta tekoälyä saataisiin laajemmin terveydenhuoltoalalle käyttöön, tulee eettiset näkökulmat huomioida ja käyttää hyväksi tekoälyratkaisuja niin, että potilasturvallisuus ja hyvä hoito voidaan taata. (Metsälä & Blomqvist & Patanen 2020: 4-13.)

Tekoälyn hyödyntäminen patologiassa voi tuoda monia hyötyjä niin patologeille, potilaille kuin terveydenhuoltojärjestelmillekin. Hyötyjä, joita teknologian kehitys voisi tuoda mukanaan, ovat esimerkiksi inhimillisten virheiden minimointi, työtaakan tasaisempi jakaantuminen, nopeammat diagnoosit sekä laaduntarkkailun automatisointi. Korkean laadun takaaminen näytelaseissa on peruste oikeiden diagnoosien tekemiselle. Tekoälyllä on mahdollisuus tarkastaa näytelasien laatua ja määrittellä, ovatko näytelasien käsittely ja värjäys onnistuneet. Tekoälyn avulla voitaisiin myös esitarkastaa näytelasit

niin, että ne jakautuisivat tärkeysjärjestykseen perustuen siihen, onko näytelasilla näkyvissä maligniteetteja vai onko näyte normaali. Tekoälyn tuominen patologian laboratorioihin tulee olemaan aikaa vievä prosessi, sillä terveydenhuoltoon liittyvät teknologiset uudistukset ovat tarkoin säädeltyjä. Tekoälyn ei ole tarkoitus korvata ihmisten työpanosta, vaan sujuvoittaa sitä ja tehdä työskentelystä tehokkaampaa. (Rakha ym. 2021: 409-414.) Tekoälyn käytöstä on kehitteillä Euroopan Unionin tekoälydirektiivi, jonka tarkoitus on luoda seuranta- ja arviointimekanismi, jotta tekoälyn käyttöä voidaan säännellä paremmin ja luotettavammin. Ehdotuksessa on myös kirjattu tekoälypalvelujen tarjoajien raportoinnista ja tiedonkeruusta, tekoälyjärjestelmien sääntelystä sekä tekoälyn käytön eettisistä puolista. Direktiivi perustuu EU:n arvoihin ja perusoikeuksiin, ja sen tavoite on tuottaa luottamusta tekoälyratkaisujen käyttöön sekä kannustaa yrityksiä kehittämään niitä. (European Commission 2021.)

Tämä opinnäytetyön tuotoksena kirjoitamme tieteellisen scoping-katsausartikkelin yhteistyössä Aiforia-nimisen yrityksen kanssa. Artikkelissa käsitellään, miten tekoälyratkaisuja voidaan hyödyntää esimerkiksi kuva-analyyseissä patologian alalla. Aiforia on suomalainen teknologiayritys, joka tarjoaa tekoälyratkaisuja tutkijoille ja patologeille (Aiforia). Teemme opinnäytetyömme yhteistyössä Multicultural, -sectoral and -professional co-creative learning projects in the field of healthcare and health technology (3DL Health Tech) -projektiryhmän kanssa. 3DL Health Tech on Singapore Institute of Technology (SIT) -koulun sekä Metropolia Ammattikorkeakoulun kanssa yhteistyössä toteutettava projekti, joka on Suomen opetusministeriön rahoittama. Hankkeessa Metropolian ja SIT:n opiskelijat ja opettajat työskentelevät yhdessä singaporelaisten ja suomalaisten terveysteknologiayritysten kanssa, ja pyrkivät kehittämään yritysten erilaisia tarpeita ja luoda uusia näkökulmia. (Metropolia.)

Scoping-katsauksemme tulee olemaan kattava katsaus siihen, minkälaisia tekoälyratkaisuja jo on käytössä sekä siihen, minkälaisia ratkaisuja on suunniteltu patologian alalle. Keskitymme katsauksessa histologiin näytelaseihin. Katsauksen avulla ne, jotka haluavat saada lisää tietoa aiheesta, voivat saada sen yhdestä paikasta tiivistetynä. Scoping-katsaus tuo yhteen tietoa monesta eri lähteestä, ja esittää kerätyn tiedon helposti lähestyttävissä muodossa taulukoiden ja kirjoitetun tekstin avulla. Tässä opinnäytetyössä perehdytään ensin patologiaan ja tekoälyyn, jonka jälkeen esitellään scoping-katsaus menetelmänä ja tutustutaan sen eri vaiheisiin ja katsauksen tekemiseen. Tämän jälkeen tarkastellaan katsauksessa kerättyjä tuloksia ja lopuksi pohditaan niiden merkitystä nykypäivän sekä tulevaisuuden patologiaan.

2 Patologia ja tekoäly

Patologia on tautioppia. Se käsittelee rakenteellisia ja toiminnallisia muutoksia soluissa ja kudoksissa. Patologian laboratorioissa tutkitaan erittäin laajaa näyteskaalaa, yksittäisistä pienistä kudoksista kokonaiseen elimiin. Näytteiden käsittely voi olla pitkäkestoista, sillä prosessi on moniosainen, vaatii usean ihmisen työpanoksen ja erityisosaamisen. Patologi tutkii lopulta valmiiksi käsitellyn näytteen. (Mäkinen & Lehto 2023.) Laboratoriolaitteiden kehittyminen ja jatkuva digitalisointi on jo tuonut mukanaan uusia ja nopeampia työskentelytapoja, ja tekoälyn tuovat mahdollisuudet tulevat todennäköisesti tekemään patologian laboratorioista entistä tehokkaampia tulevaisuudessa (Carpén 2023). Tekoälyn tuominen patologian laboratorioihin voisi vapauttaa aikaa ja laittaisi etusijalle ne näytteet, joissa on huomattavissa pahanlaatuisia rakenteita. Tekoälyä voitaisiin myös hyödyntää patologioiden ja aiheiden parissa työskentelevien kouluttamiseen, tutkimustyön kehittämiseen ja mahdollisesti jopa kustannustehokkuuden parantamiseen pitkällä tähtäimellä. (Rakha ym. 2021: 409-414.)

Tautioppi oli pitkälti makroskooppista ruumiinavauksissa tapahtuvaa tutkimusta 1800-luvulle saakka, jolloin mikroskooppiset tutkimukset saivat alkunsa. Valomikroskoopin käyttö patologisissa tutkimuksissa antoi uuden näkymän tautien aiheuttamiin muutoksiin kudoksissa ja soluissa. Valomikroskopiointi edellyttää kudosten esikäsittelyn histologista tutkimusta varten. Kudospala käsitellään niin, että se voidaan lopulta värjätä, jolloin solujen patologiset muutokset tulevat näkyviin. Patologia on edellytys modernille lääketieteelle, ja suuri osa kliinisistä diagnooseista nojaa patologiisiin tutkimuksiin. Patologia voidaan jakaa eri osa-alueisiin sen perustella, mitä halutaan tutkia. Histopatologia tutkii kudoksia ja soluja, sytologia yksittäisiä soluja, hematologia verisoluja ja niiden eri osia, kemiallinen patologia kudosten ja kehon nesteiden kemiallisia muutoksia ja rikkostekninen patologia rikosten aiheuttamia kuolemia. (Underwood & Cross 2009: 4-7.) Tässä opinnäytetyössä keskitymme histopatologiaan sekä digitaalisen patologian kehittämisiin uudistuksiin.

2.1 Histologia

Histologia on patologian osa-alue, jossa tarkastellaan visuaalisesti soluja ja kudoksia mikroskoopin avulla. Jotta soluja ja kudoksia pystytään tarkastelemaan, tulee näytteen olla edustava. Tämä edellyttää näytteen huolellista esikäsittelyä, sillä jotta näytettä voidaan tarkastella mikroskoopin avulla, tulee sen olla erittäin ohut ja värjätty, jotta kudoksen rakenteet saadaan paremmin esiin. Histologiset näytteet fiksoidaan formaliinilla,

joka estää solujen hajoamisen eli autolyysin. Fiksointi kovettaa myös kudosta, jolloin sitä on helpompi käsitellä. Kun näyte on tarpeeksi fiksoitunut, tulee se sitten dehydroida nousevalla alkoholisarjalla. Näyte asetetaan näytekasettiin, joka kudosprosessorissa käy läpi nousevan alkoholisarjan, jonka lopuksi alkoholi korvataan ksyleenillä. Ksyleeni mahdollistaa parafiinin imeytymisen kudokseen, jonka avulla näytteestä saadaan leikattua mikrotomin avulla leike näytelasille. Näyte on tämän jälkeen valmis värjättäväksi. Värjäys aloitetaan parafiinin poistolla ksyleenin avulla ja rehydroimisella laskevan alkoholisarjan avulla. Tavallisin histologinen värjäys on hematoksyliini-eosiinivärjäys. Värjäyksen jälkeen näytelasi peitetään peitinlasilla, jonka jälkeen se on valmiina valomikroskopoitavaksi tai skannattavaksi virtuaalimikroskoopin avulla. Muita värjäys-tekniikoita ovat esimerkiksi immunohistokemialliset värjäykset, jotka perustuvat anti-geenin ja vasta-aineen sitoutumiseen. Värjäys tuo esiin kudoksen eri osia, värjäten ne eri väreillä. Hematoksyliini-eosiinivärjäyksessä solujen sytoplasma värjäytyy vaaleanpunaiseksi, kun taas tuma värjäytyy tummanlilaksi. (Ross & Pawlina 2011: 1-6; Musement 2014: 1-3.)

2.2 Digipatologia

Digipatologia tarkoittaa erilaisten digitaalisten tekniikoiden käyttöä ja toteutusta patologian alalla. Nykyään monet patologian laboratoriot digitalisoivat valmiit näytelasit skannaamalla ne. Digipatologian hyötyjä ovat muun muassa skannattujen kuvien helppo jakaminen muille patologeille, lääkäreille ja opiskelijoille sekä parannettu analyysikyky. Näytteiden digitointi edesauttaa näytteiden käyttämistä opetusmielessä tai toisen patologin konsultointia, koska enää itse näytelaseja ei tarvitse lähettää tai siirtää. Digipatologialla on siinä mielessä suoria logistisia hyötyjä. Digitaalisia näytekuvia voi helposti lähettää esimerkiksi toiselle patologille, jos haluaa saada hänen näkökulmansa, tai jopa kotoa työskentelevälle patologille. Digipatologian avulla voidaan myös suorittaa opiskelijoiden ja uusien työntekijöiden opetusta ja perehdytystä. Digipatologia mahdollistaa näytteiden laajemman ja tarkemman analysoinnin. Koska näytteet ovat digitaalisessa muodossa, niiden analysoinnissa voi hyödyntää tekoälyä. Digipatologiassa käytetty tekoäly voi muun muassa segmentoida ja luokitella kuvia ja poimia niistä esimerkiksi solujen tumat ja laskea ne. Tekoälyä voidaan käyttää digipatologiassa myös esimerkiksi havaitsemaan pieniä solutason muutoksia, jotka voivat mahdollisesti indikoida esimerkiksi syöpää tai muuta tautia, tai ennustamaan potilaan prognoosia tai taudin kulkua. Tämä tapahtuu suurten tietojoukkojen (dataset) avulla. Kun tekoälyä käytetään analysoimaan suurta määrää potilasdataa, se oppii tunnistamaan erilaisia muutoksia ja piir-

teitä solutasolla ja miten nämä muutokset korreloivat esimerkiksi potilaan elinajanodotteen tai muiden tuloksien kanssa. (Pantanowitz & Sharma et al 2018; Jahn & Plass & Moinfar 2020; Kiran ym. 2023.) Vaikka tekoäly on suuri apu patologeille ja nopeuttaa näytteiden analyysiä, täytyy ihmisen tehdä viimeinen päätös potilaan diagnoosista ja hoidosta. Tekoäly ei ole virheetön ja liiallinen luottamus siihen voi aiheuttaa diagnostisia virheitä (Kiran ym. 2023).

Kuten aikaisemmin mainittiin, digipatologian yleistymisen myötä näytteet muutetaan usein digitaaliseen muotoon. Näytelasiskannerit skannaavat värjätyn näytteen ja objektilasin ja muuttavat ne korkearesoluutioisiksi kuviksi, joita voi katsoa ja tutkia tietokoneella. Tätä prosessia kutsutaan virtuaalimikroskopiaksi, ja digisoitua kuvaa kutsutaan WSI:ksi, eli Whole Slide Image, tai eSlideksi. (Pantanowitz ym. 2018.) Toinen nimi virtuaalimikroskopialle onkin Whole Slide Imaging (WSI). Näytteen digitointi koostuu neljästä pääprosessista: kuvan hankinta eli näytelasin skannaaminen, kuvan tallentaminen, prosessointi ja visualisointi tai tarkastelu. Usein skannatun kuvan katselemiseen tarvitaan oma ohjelma, esim. Leica Biosystems'in kehittämä Aperio ImageScope, sekä suuri ruutu, jossa kuva näkyy kokonaan. (Kumar & Gupta, R. & Gupta, S. 2020: 1034-1040; Pantanowitz ym. 2018.)

Vaikka WSI on prosessina melko helppo ja on ollut hyödyllinen patologian työssä, on sillä myös haasteensa. Suurin haaste on prosessin suorittamiseen tarvittava teknologia. Usein skannatut kuvat ovat suuria tiedostoja. Esimerkiksi 40-kertaisella suurennuksella skannattu 1 mm² alue voi tuottaa jopa 48 megatavun kokoisen tiedoston. Suurien tiedostojen avaamiseen ja katselemiseen tarvitaan tietty kaistanleveys verkossa, ja koska tiedostot ovat niin suuria, ne joudutaan usein tiivistämään eri kuvantiivistysohjelmilla esim. JPEG-muotoon. Tämä voi aiheuttaa kuvaan artefakteja, mikä häiritsee analyysia myöhemmässä vaiheessa. Kuvien varastoiminen ja säästäminen aiheuttavat myös omat ongelmansa, koska kuvien mukaan on liitetty potilaiden henkilötietoja ja muuta herkkäluontoista tietoa. Tämän vuoksi WSI-kuvien arkistointiin liittyy tiukkoja turvallisuusvaatimuksia. Koska kuva vastaa skannattua näytelasia, on WSI-kuvan laatu riippuvainen alkuperäisen lasin laadusta, eli jos lasi on esimerkiksi värjäytynyt huonosti, ei skannattu kuva ole sen parempi. (Kumar & Gupta, R. & Gupta, S. 2020: 1034-1040; Pantanowitz ym. 2018.)

2.3 Tekoäly

Tekoäly (Artificial intelligence, AI) on tietotekniikan ala, joka pystyy toteuttamaan uusia konsepteja ja luomaan ratkaisuja monimutkaisten haasteiden ratkaisemiseksi. Tekoäly

terminä on luotu vuonna 1955 John McCarthyn toimesta, hän määritteli sen “älykkäiden koneiden valmistuksen tieteenksi ja tekniikaksi”. Nykypäivänä tekoäly terminä tarkoittaa tietokoneen käyttöä älykkään käyttäytymisen mallintamiseen. Koneoppiminen (machine learning, ML) ja syväoppiminen (deep learning, DL) ovat molemmat tekoälyn ‘alaoskoita’, joissa algoritmit opetetaan tietyillä sille annetuilla tiedoilla tai itsenäisesti löytämään tiettyjä kaavoja. (Hamet & Tremblay 2017: 36-40.) Keinotekoiset neuroverkot (Artificial Neural Networks, ANN) ovat informaation prosessointiin käytettyjä järjestelmiä, jotka toimivat aivojen hermostojärjestelmän tapaan. Neuroverkot oppivat esimerkeistä, ja ne muodostuvat suuresta määrästä yhteen liitettyjä neuroneita, jotka ovat järjestelmän prosessointielementtejä. (Vähäkainu & Neittaanmäki 2018.)

Koneoppimisella tarkoitetaan prosesseja, joissa opetetaan algoritmeja tekemään päätöksiä niille syötetyn datan avulla. Kone oppii näin tunnistamaan tiettyjä kaavoja, ja pystyy sitten tekemään yhä enemmän päätöksiä, mitä enemmän sitä opetetaan. Syväoppiminen on myös tietynlaista koneoppimista, mutta se tarvitsee vähemmän ihmisen valvontaa. Syväoppimisessa algoritmit tekevät siis enemmän itsenäisiä havaintoja, ja oppivat niiden kautta tulkitsemaan dataa. Jotta koneoppimista ja syväoppimista voidaan hyödyntää terveydenhuollon alalla, tulee tiedostaa tietyt riskit ja tekoälyn käytön eettinen puoli. Koneoppimisen ja syväoppimisen käytössä tulee ottaa huomioon algoritmien päätöksenteon puolueellisuus, opetusdatan laadukkuus, tulkittavuus ja läpinäkyvyys. Helposti tulkittava koneoppiminen on sellaista, jossa käyttäjä ymmärtää miten algoritmi on päätenyt tiettyihin ratkaisuihin ja lopputuloksiin. Näin käyttäjä voi tarkistaa, pitääkö koneen tuottama data paikkansa, ja tarvittaessa muokata ja parantaa käyttökokemusta, jotta tulevaisuudessa algoritmi toimisi entistä tehokkaammin. (Rubinger & Gazendam & Ekhtiari & Bhandari 2023: 69-73; Sharma, A. & Sharma, R. 2024: 149-152.)

Tekoälyä pyritään hyödyntämään terveydenhuollossa jo monilla eri aloilla kliinisessä päätöksenteossa ja diagnoosien vahvistamisessa. Yksi oleellisin tutkimusalue, jossa tekoälyä hyödynnetään, on syöpätutkimus. Tekoälyteknologiaa voidaan hyödyntää syövän tutkimisessa ja hoidossa esimerkiksi ennustaen lääkeaineiden yhdistelmien tehokkuutta, geenihoidon toteutumista ja riskien arvioimiseen. (Vähäkainu & Neittaanmäki 2018.) Tekoälyn hyödyntäminen on erityisesti sovellettavissa niihin terveydenhuollon aloihin, joissa hyödynnetään kuvantamista suurena osana diagnosoimista, esimerkiksi radiologia, patologia ja onkologia. Radiologiassa kuvien katsominen ja patologiassa näytteiden mikroskopointi on aikaa vievää, ja voisi helpottua huomattavasti tekoälyn avulla. Jotta tekoälyä voidaan alkaa laajemmin hyödyntämään terveydenhuollossa, tu-

lee tehdä validointeja, kouluttaa niin tekoälyä kuin myös terveydenhuollon parissa työskenteleviä ja sijoittaa laitteistoon ja sen huoltoihin ja ylläpitoihin. Tekoälyn käyttö voi tulevaisuudessa tehdä terveydenhuollon kustannustehokkaammaksi, mutta siihen on vielä matkaa. (Farina & Nabhen & Dacoregio & Batalini & Moraes 2022.)

2.4 Tekoälyn eettisyys

Jotta tekoälyn käytön eettisyydestä voidaan mennä takuuseen, tulee huomioida, että sen käyttäjät ovat tietoisia vastuusta ja riskeistä. Terveystieteen asiakkailta ja potilailta tulee olla tietoinen suostumus tietojen käyttöön ja näin myös taata tietosuojaa, turvallisuutta ja läpinäkyvyyttä tulee olla turvattuina ja algoritmien oikeudenmukaisuus ja puolueellisuus pitää myös huomioida. Yksi tekoälyn tuottamista eettisistä haasteista on kyberturvallisuus. Lääkäreillä on lainmukainen velvollisuus olla vastuussa teoistaan ja valinnoistaan. Algoritmeja tekevillä ja kouluttavilla ei ole samanlaista vastuuta, mutta eettiset toimintaperiaatteet tulisivat olla samalla tasolla. (Naik ym. 2022.) Tulee myös pohdittua, kenellä on vastuu tekoälyn lopullisesta käytöstä. Tekoälyn koulutus tulee olla läpinäkyvää, jotta voidaan minimoida algoritmien ennakkoluulot, jotka saattavat herätä siihen syötetystä koulutusdatasta. Näitä ennakkoluuloja ovat esimerkiksi sukupuoleen tai etnisyyteen perustuvat ennakkoluulot. Vaikka voisi kuvitella, ettei tekoälyllä voi olla samanlaisia ennakkoluuloja kuin ihmisillä, tulee muistaa, että tekoälyn koulutusdata on kuitenkin suurimmaksi osaksi ihmisten keräämää ja sille syöttämää dataa. Syväoppimisessa algoritmit alkavat hiljalleen itse oppimaan sille syötetyn datan avulla, mutta sekin ei ole täysin vapaa ihmisten ennakkoluuloista. (Schwartz ym. 2022; Kerasidou 2021: 612-614.)

Tekoälyn kouluttamiseen tarvitaan suuri määrä dataa. Terveystieteen kannalta tämä data on ihmisten terveystietoja, joita tulee käyttää harkitusti ja kunnioittaen asiakkaiden ja potilaiden yksityisyyttä. Tietoturvan tärkeys on tiedostettava, jos halutaan tuoda lisää tekoälysovelluksia terveydenhuoltoon. Tietovuotojen varalta pitää noudattaa selkeää protokollaa ja henkilöiden, joiden tietoja käytetään tekoälyssä, tulee olla tietoisia siitä. (Huang & Yao 2023; Safdar & Banja & Meltzer 2020.) Suomen laissa on säädetty, miten terveydenhuollon asiakastietoja saa käyttää sähköisesti. Potilastiedot ovat salassa pidettäviä, ja niiden käsittely on perusteltava asiakas- tai hoitosuhteella. Asiakkaan tai potilaan tulee olla tietoinen hänen oikeuksistaan ja hänen tulee myös pystyä kieltäytymään asiakastietojen käyttämisestä. Laissa on myös säädelty tietojärjestelmien tuottajien ja valmistajien velvollisuuksista ja vaatimuksista, tietoturvallisuuden valvonnasta sekä rangaistussäännöksistä. (Laki sosiaali- ja terveydenhuollon asiakastietojen sähköisestä käsittelystä 784/2021.)

3 Työn tavoite, tarkoitus ja tutkimuskysymykset

Opinnäytetyömme tavoitteena on laatia yhteenveto tekoälyn käytöstä patologiassa: sen mahdollisista käyttöaiheista sekä miten tekoälyä voitaisiin hyödyntää näytelasien analysoinnissa. Tekoälyn käytöstä terveydenhuollossa on viime vuosina kirjoitettu paljon. Haluamme tässä opinnäytetyössä nostaa esiin tekoälyn tuomia hyötyjä terveydenhuollossa, etenkin patologian alalla. Keskitymme histologisen tutkimuksen tuottamiin virtuaalimikroskooppikuviin (WSI, whole slide image) ja niiden analysointiin tekoälyn avulla. Yhteenvedon tekee tarpeelliseksi se, että tekoälyn käyttö tulee suurella todennäköisyydellä tulevien vuosien aikana näyttäytymään vielä merkityksellisemmältä niin patologeille kuin muillekin terveydenhuoltoalan ammattilaisille.

Tekoälyn hyödyntäminen patologiassa voisi mahdollistaa diagnoosien nopeuttamisen, resurssien tehostamisen sekä patologioiden työn teon optimoimisen. Lisäksi tekoälyn hyödyntäminen voisi tuoda mukanaan yksilöille suunnattuja hoitomenetelmiä ja tehostaa geenidiagnostiikkaan perustuvia hoitoja. (Farina & Nabhen & Dacoregio & Batalini & Moraes 2022.) Histologinen tutkimus on suhteellisen aikaa vievä prosessi – tavallisesti voi mennä useita päiviä koko prosessin läpikäymiseen ja lopullisen vastauksen saamiseen. Patologiset prosessit tehdään vielä suurilta osin käsityönä: histologinen tutkimus kulkee näytteen käyntiinpanosta kudosprosessoriin, siitä valamiseen ja leikkaukseen ja tämän jälkeen vielä värjäykseen. Joissain toimipisteissä on nopeutettu prosessia niin, että tulokset saadaan jo muutaman päivän sisällä, mutta suurin volyymimäärä näytteissä on pidemmässä prosessissa. Jos tekoälyä pystyttäisiin hyödyntämään prosessin loppupäässä, eli virtuaalimikroskooppikuvien lajittelussa ja mahdollisessa diagnoosissa, nopeutuisi varmasti koko prosessikin, kun diagnoosin saaminen ei olisi ainoastaan vastaavan patologin harteilla. Tähän on tuki vielä aikaa, sillä jotta tekoälyä pystytään hyödyntämään patologiassa, tulee varmistua sen käytön eettisyydestä sekä toimivuudesta.

Scoping-katsauksen tutkimuskysymyksemme ovat:

- Miten tekoälyratkaisuja voidaan hyödyntää patologian alalla?
- Mitä olemassa olevia tekoälytyökaluja tällä hetkellä on käytössä kliinisessä kuvianalyysissä patologian alalla?
- Minkälaisia uusia työkaluja kuvien analysointiin patologian alalla on ilmaantunut viime vuosina?

Opinnäytetyö toteutetaan tutkimuksellisenä opinnäytetyönä, jonka tuotoksena syntyy scoping-katsaus. Käsittelemme scoping-katsauksen tuloksia artikkelimuodossa. Sen tarkoitus on kartoittaa olemassa olevaa tietoa tekoälyn käytöstä patologiassa. Artikkeleissa vastataan myös yllä oleviin tutkimuskysymyksiin. Tämä opinnäytetyö kuvaa scoping-katsauksen protokollaa ja tieteellisen artikkelin kirjoittamista protokollan mukaisesti, sekä avaa teoreettista taustaa aiheellemme. Suoritimme myös kahden patologian asiantuntijan haastattelut aiheesta tekoäly patologiassa, ne ovat opinnäytetyön liitteenä. Avaamme hieman heidän ajatuksiaan aiheesta luvussa 4.5 ja pohdinnassa.

4 Menetelmät

Teimme tekoälyn käytöstä patologian alalla scoping-katsauksen. Scoping-katsaus on eräänlainen kirjallisuuskatsaus, jonka tarkoituksena on systemaattisesti kartoittaa, kuinka paljon ja minkälaista tutkimustietoa tietystä aiheesta on saatavilla, tunnistaa mahdollisia puutteita tutkimuksissa sekä tunnistaa keskeisiä ominaisuuksia tietyissä aiheissa. Scoping-katsausta menetelmänä käytetään yleensä, kun halutaan kerätä tietoa uusista ja kehittyvistä aiheista. Scoping-katsauksen tekemisessä tulee noudattaa tiettyä protokollaa. Ensimmäinen askel scoping-katsauksen suorittamisessa on tutkimuskysymyksen asettelu. Kun tutkimuskysymys on valittu, määritellään työlle sopivat hakusanat ja näillä hakusanoilla aloitetaan tiedonhaku. Saatavilla olevasta kirjallisuudesta valitaan tietty määrä, joka otetaan mukaan katsaukseen. Tästä kirjallisuudesta kerätään dataa, joka kirjataan ja lopuksi raportoidaan. (Mak & Thomas 2022: 565-567; Peters ym. 2015: 141-146.)

Scoping-katsauksen lisäksi haastattelimme kahta patologian asiantuntijaa ja selvitimme heidän ajatuksiansa tekoälyn käytöstä ja sen tuomista uusista mahdollisuuksista patologian alalla. Haastattelimme ensin erikoislääkäri Mikael Lepistöä Turun yliopistollisesta sairaalasta ja myöhemmin apulaisprofessori Talat Zehraa, joka työskentelee patologian professorina pakistanilaisessa yliopistossa (Jinnah Sindh Medical University). Molemmat haastattelut suoritettiin kirjallisesti ja haastattelut löytyvät opinnäytetyön lopusta liitteinä.

4.1 Scoping-katsauksen ominaispiirteet

Scoping-katsauksella kartoitetaan tietyn aiheen tai alan kirjallisuuden määrää ja kirjallisuuden pääaiheita tai –konsepteja. Scoping-katsauksen avulla voidaan myös selvittää,

mitä puutteita alan tai aiheen kirjallisuudessa on, ja onko esimerkiksi yhdestä aiheesta paljon kirjallisuutta, mutta toisesta aiheesta ei juuri ollenkaan. Scoping-katsauksen askeleet ovat seuraavat: tutkimuskysymyksiä määrittäminen, aiheenomaisten kirjallisuuden tunnistaminen ja löytäminen, katsaukseen sisällettävän kirjallisuuden valinta tutkimuskysymyksiä perusteella, datan kartoittaminen ja katsauksen tuloksien kerääminen ja raportoiminen. (Maggio & Larsen & Thomas & Costello & Artino, Jr 2021: 689-700.) Scoping-katsausta tehdessä on tärkeää pitää mielessä realistinen päämäärä etenkin tutkimuskysymyksiä määritellessä. Tutkimuskysymykset eivät saa olla liian laajoja, koska silloin löydetyn tiedon määrä on aivan liian suuri. On myös tärkeää selvittää katsauksen tarkoituksen ja tutkimuskysymyksiä yhteys. Katsauksen tulee olla kattava, mutta kuitenkin toteutettavissa oleva. Scoping-katsauksen suorittamisen aikana ja sen jälkeen voi konsultoida sidosryhmää, jos katsausta tehdään esimerkiksi yhtiölle tilaustyönä. Sidosryhmän kanssa voi keskustella tutkimuskysymyksistä ja niiden asettelusta, ja heiltä voi myös saada asiantuntevaa tietoa katsauksen aiheesta. Sidosryhmän jäsenet voivat näin auttaa katsauksen aiheen ja alueen rajaamisessa. Sidosryhmän konsultointi ei kuitenkaan ole pakollinen osa scoping-katsauksen suorittamista. (Mak & Thomas 2022: 565-567; Levac & Colquhoun & O'Brien 2010: 1-9.)

4.2 Tutkimuskysymyksen ja katsauksen tarkoituksen määrittäminen

Tutkimuskysymyksen määrittäminen on scoping-katsauksen tekemisen ensimmäinen vaihe. Tutkimuskysymys ohjaa tutkimuksen tekoa ja määrittää sen sisältöä. Tutkimuskysymystä määrittäessä tulee pohtia, miten laajaksi se halutaan asettaa, onko samasta aiheesta tehty aikaisempia tutkimuksia, sekä onko aiheesta olemassa tarpeeksi tietoa scoping-katsauksen tekemiseen. (Mak & Thomas 2022: 565-567.)

Tutkimuskysymys määrittelee, minkälaisia artikkeleita scoping-katsaukseen sisällytetään, ja kaikkien sisällytettyjen tekstien tulisi olla yhteneviä tutkimuskysymyksen kanssa. PCC- malli (population, concept, context), on suositeltu tapa luoda selkeät tavoitteet ja kriteerit scoping-katsausta varten. (Pollock ym. 2023: 520-532.) Tutkimuskysymyksen määrittämisen avuksi on olemassa monia erilaisia malleja, jotka määrittyvät sen mukaan, minkälaista tutkimusta ollaan suorittamassa. Tavallisia malleja tutkimuskysymyksen määrittämisen tueksi ovat esimerkiksi PICO- malli (patient/population, intervention, comparator, outcome), jota käytetään interventiotutkimuksissa, PFO- malli (population, prognostic factor, outcome), jota käytetään prognostisissa tutkimuksissa ja PICO- malli (population, phenomenon of interest, context) jota usein käytetään kvalitatiivisen tutkimuksen tutkimuskysymyksen määrittämiseen. (Hosseini & Jahanshahloo & Akbarzadeh & Zarei & Vaez-Gharamaleki 2024.)

Scoping-katsauksen tarkoituksen määrittäminen on myös osa ensimmäistä vaihetta yhdessä tutkimuskysymyksen määrittämisen kanssa. Tarkoituksen määrittämisellä voidaan selkeyttää tutkimuksen tekemistä sekä auttaa päätöksenteossa tutkimuksen myöhemmissä vaiheissa, esimerkiksi kirjallisuushaussa sekä päätöksenteossa sisällytäänkö tiettyjä artikkeleita katsaukseen vai ei. (Levac & Colquhoun & O'Brien 2010: 1-9.)

Scoping-katsauksemme sai alkunsa syksyllä 2023. Aiheen valitsemisen jälkeen seurasi hakusanojen rajaaminen sekä tutkimuskysymyksen asettelu. Tutkimuskysymykset: "Miten tekoälyratkaisuja voidaan hyödyntää patologian alalla?", "Mitä olemassa olevia tekoälytyökaluja tällä hetkellä on käytössä kuva-analyysissä patologian alalla?" ja "Minkälaisia uusia työkaluja kuvien analysointiin patologian alalla on ilmaantunut viime vuosina?" sekä scoping katsauksen tarkoitus on tarkemmin esitelly luvussa 2. Tässä yhteydessä ne on jäsennetty PCC- mallin mukaisesti (taulukko 1).

Taulukko 1. Tutkimuskysymykset PCC-mallin mukaisesti.

PCC 1	PCC 2	PCC 3
Population: Patologit	Population: Patologit	Population: Patologit
Concept: Tekoäly	Concept: Olemassa olevat tekoälytyökalut	Concept: Uudet tekoälytyökalut
Context: Analysointi	Context: Kuva-analyysi patologian alalla	Context: Kuva-analyysi patologian alalla

4.3 Kirjallisuushaku ja aineiston valinta

Scoping-katsauksessa kirjallisuushaku on suurin askel. Ennen kirjallisuushaun aloittamista tulee määritellä tutkimuskysymykset ja siihen sekä aiheeseen sopivat hakusanat ja hakusanayhdistelmät. Lisäksi tulee valita tietokannat, joissa kirjallisuushaku tehdään. Kun nämä asiat on määritetty, voi kirjallisuushaun aloittaa. Usein kirjallisuushaun ai-

kana huomataan, että hakusanoja täytyy muuttaa tai tarkentaa tai muulla tavalla tiukentaa hakustrategiaa, koska tietoa löytyy liikaa ja osa tiedosta ei ole aiheenmukaista. (Mak & Thomas 2022: 565-567.)

Ryhmässämme on mukana meidän lisäksi yksi Metropolian opiskelija sekä yksi Singapore Institute of Technologyn opiskelija. Metropolian puolelta artikkelia on meidän lisäksi kirjoittamassa Iira Salo (Tieto- ja viestintäteknikan insinööri AMK) ja SIT:stä artikkeliprosessissa on mukana Joseph Ho Jun Jie (Information and Communications Technology). Me määritimme sisällytys- ja poissulkukriteerit ennen kirjallisuushaun aloittamista. Kriteerit perustuvat PCC-malliin (Taulukko 1.) Sisällytyskriteerimme olivat seuraavat:

- Artikkelien täytyy selvästi käsitellä tekoälyn käyttöä patologian kuva-analyysissä
- Artikkelien pitää olla julkaistu enintään viisi vuotta sitten
- Artikkelien pitää olla kirjoitettu englanniksi
- Tutkimuksissa on käytetty vain ihmiskudosta
- Artikkelien täytyy löytyä kokonaisuudessaan joko ilmaisina tai Metropolia Ammattikorkeakoulun tai Singapore Institute of Technologyn lisenssien avulla nimetyistä tietokannoista
- Artikkelien täytyy olla vertaisarvioituja
- Tutkimustulosten täytyy olla raportoitu kvantitatiivisesti

Artikkelien valinnassa suosittiin niitä artikkeleita, joissa tekoälyä käytettiin Whole Slide Image-kuvien analysointiin. Käyttämämme hakusanoja ovat mm. Digital pathology, artificial intelligence, pathology imaging, computational pathology, histopathology, AI cell segmentation ja eri hakusanayhdistelmiä, joista eniten käytetty yhdistelmä oli image analysis + pathology + artificial intelligence tai image analysis AND pathology AND artificial intelligence riippuen tietokannasta. Toinen käytetty hakusanayhdistelmä on digital pathology + deep learning. Käytimme kirjallisuushaussa PubMed-, ScienceDirect-, CINAHL- ja ProQuest-tietokantoja, ja nämä jaettiin artikkelien kirjoittajien kesken niin, että jokaisella oli yksi tietokanta vastuullaan. Menimme tietokantoihin ammattikorkeakoulun kirjaston sivujen kautta, jotta saimme käyttöön lisenssit.

Sovimme, että jokainen ryhmän jäsen etsii vähintään 50 artikkelia ja lisää ne tietokantataulukkoon. Tähän taulukkoon lisäsimme löytämämme artikkelit, niiden julkaisuvuoden, käytetyt hakusanat, missä artikkeli on julkaistu, linkki artikkeliin sekä artikkelin tarkoituksen ja sisällön tärkeimmät kohdat. Tietokannoista haettiin ensin tietoa hakusanayhdistelmällä image analysis + pathology + artificial intelligence ja katsottiin, montako tulosta niistä löytyy. Nämä merkittiin muistiin ja sitten artikkelit käytiin läpi otsikotasolla ja katsottiin, oliko otsikossa mainittu patologia, tekoäly tai kuvantaminen. Tätä helpotti tietokantojen haussa oleva filtri (advanced search), jolla pystyttiin hakemaan juuri näitä sanoja ja niiden yhdistelmää (pathology + image analysis + artificial intelligence) artikkelien otsikoista. Myös tämä artikkelimäärä kirjattiin. Nämä artikkelit käytiin läpi tiivistelmätasolla ja katsottiin, sopiiko artikkeli tiivistelmän perusteella aiheeseemme. Tällä menetelmällä sopiviksi todetut artikkelit luettiin. Ensin jokainen luki vain itse valitsemansa artikkelit ja sitten vaihdettiin tietokantaa niin, että jokainen artikkeli on kahden eri henkilön lukema. Näin varmistettiin, että kaikki ovat samaa mieltä siitä, onko artikkeli sopiva lopulliseen raportointiin vai ei.

Taulukko 2. Artikkelien valintaprosessi

	Tulokset hakusanoilla (n)	Otsikon perusteella valitut (n)	Tiivistelmätasolla valitut (n)	Luettu koko teksti (n)	Laadunarvioinnin jälkeiset valinnat (n)	Poistettu ei-systemaattiset katsaukset (n)
PubMed	6,240	542	25	14	13	5
Science-Direct	5,957	402	177	76	63	56
ProQuest	9,165	56	34	12	10	9
CINAHL	706	53	31	9	8	6
Yhteensä	19,185	1,053	267	111	94	76

Kun kaikki valitut artikkelit oli luettu ja käyty läpi, niille tehtiin laadunarviointi. Laadunarviointi tehtiin lyhennettyä STROBE-listaa (Taulukko 3) käyttäen, koska sisälsimme eri tavoin suoritettuja tutkimuksia. Laadunarvioinnista jätettiin pois kriteeri 5 koskien satunaistettuja kontrollitutkimuksia, koska tämä ei koske katsauksia tai kliinisiä tutkimuksia, joita suurin osa valituista artikkeleista oli. Tämä STROBE-listan muutos tehtiin yhdessä listan aikaisemman käyttäjän kanssa. (Metsälä & Vaherkoski 2014: 12-28; Metsälä & Richli & Pires & Henner & Kukkes & Sá Dos Reis 2017: 329-343.)

Taulukko 3. STROBE-laadunarviontilista, kriteerit ja kriteerien merkitsemistapa (Metsälä & Vaherkoski 2014; Metsälä ym. 2017)

1. Study background and theoretical framework are clearly defined
2. Purpose, aim and research questions are clearly defined
3. Methodological approach/research design is clearly stated
4. Research setting is clearly defined
5. Independent and dependent variables, confounders are clearly identified and consistently implemented
6. Data sources and analysis methods are clearly described
7. Efforts to address potential sources of bias are described
8. Research and review questions are answered logically
9. Study limitations and generalizability are discussed
10. Relevance to topic
** assessment criteria are satisfied
* assessment criteria are partly satisfied
_ assessment criteria are hardly or not at all satisfied
x assessment criteria do not apply

Ensin laadunarviointi tehtiin lukemalla artikkelit itsekseen ja merkkamalla yllä mainitulla tavalla, miten kriteerit täyttyivät. Kun kaikki olivat tehneet laadunarvioinnin, se tehtiin uudestaan hyödyntämällä tekoälyä. Käytimme maksullista pdf.ai-ohjelmaa ja käyttämämme kehote oli:

Answer these questions:

1. Are the study background and theoretical framework clearly defined?
2. Are the purpose, aim and research questions clearly defined?
3. Is the methodological approach/research design clearly stated?
4. Is the research setting clearly described?
5. Are the data sources and analysis methods clearly described?
6. Are the efforts to address potential sources of bias described?
7. Are the research or review questions answered logically?
8. Are the study limitations and generalizability discussed?
9. Relevance to the topic.

Kehotteesta poistettiin valmiiksi kriteeri 5, joka ei koskenut arvioimiamme artikkeleita, koska niiden tutkimusasetelmat olivat sellaisia, että tämä kriteeri ei niihin sopinut.

4.4 Tutkimusaineiston käsittely, analysointi ja raportointi

Aineiston kartoituksella tarkoitetaan valittujen artikkeleiden lähempää tarkastelua ja niiden organisoimista taulukkomuotoon. Taulukon kategoriat ovat tavallisesti kirjoittaja/t, julkaisuvuosi, maa, jossa artikkeli on julkaistu, tärkeimmät tulokset, tutkimusrajoitukset sekä tulevaisuudennäkymät. Näitä kategorioita voidaan muokata tutkimuskysymysten mukaan, jotta saadaan kartoituksessa mahdollisimman spesifiä dataa juuri omien tutkimuskysymysten puitteissa. (Mak & Thomas 2022: 565-567; Pollock ym. 2023: 520-532.)

Lopulliset 76 artikkelia sisällytettiin viiteen eri taulukkoon, joiden avulla oli helpompi visualisoida dataa ja kerätä yhteen artikkelit, jotka olimme keränneet: kaikki artikkelit, yleistä tekoälystä patologiassa, yleissilmäys tekoälyratkaisuihin kuva-analyysissä, uudet tekoälyratkaisut ja tekoälyn tulevaisuus. Päätimme kerätä taulukot teemojen mukaan niin, että kirjoitusprosessissa olisi helpompaa hyödyntää tiettyyn aiheeseen kuuluvia artikkeleita. Taulukoiden avulla artikkelin lukija näkee yhdellä silmäyksellä mistä artikkelissa käsitelty tieto tulee, ja antaa tälle käsityksen keskeisestä sisällöstä lopullisesta aineistosta. Kaikki taulukot eivät tule artikkeliin sellaisinaan, vain osa niistä kiinnitetään mukaan liitteinä. Taulukkoon, johon keräsimme kaikki artikkelit yhteen, halusimme kartoittaa seuraavat tiedot:

- Kirjoittaja/t ja alkuperämaa
- Tutkimuksen tavoite
- Artikkelin tyyppi
- Tutkimusmenetelmät/ käytetyt tekniikat
- Keskeiset tulokset

Viimeinen vaihe scoping-katsauksen tekemisessä on tutkimusaineiston järjestely ja yhteenvedo sekä näistä saatujen tietojen raportointi. Scoping-katsauksien raportointimenetelmiä on monenlaisia, mutta useimmiten käytetään taulukoita kerätyn datan esittämiseksi. Muitakin visuaalisia raportointitekniikoita voidaan hyödyntää tutkimustulosten esittämiseksi. Taulukoiden tukena tulee aina olla myös kirjoitettua tekstiä, ja sen tulee olla linjassa scoping-katsauksen tarkoituksen ja tutkimuskysymysten kanssa. (Pollock ym. 2023: 520-532.)

4.5 Patologioiden haastattelut

Haastattelimme opinnäytetyötämme varten Mikael Lepistöä, joka on erikoislääkäri Turun yliopistollisen keskussairaalan (TYKS) patologian laboratoriossa. Haastattelu suoritettiin sähköpostitse 8.3.2024 ja haastattelukysymykset ja vastaukset löytyvät liitteestä opinnäytetyön lopusta (liite 1). Kysymykset ja vastaukset on kirjattu sanasta sanaan. Luvan haastatteluun saimme Mikael Lepistöltä itseltään sekä TYKSin patologian osastohoitajalta Sirpa Stählelta. Erikoislääkäri Lepistö on työskennellyt patologian parissa

vuodesta 2011 lähtien. Tänä päivänä hän on mukana vetämässä projektia, jonka tarkoituksena on kartoittaa patologian rutiinidiagnostikkaan sopivia tekoälymalleja. Hän kertoo, että TYKSillä digitoidaan nykyään kaikki näytteet, paitsi sytologiset näytteet ja tutkimusnäytteet. Patologian laboratoriossa on käytössä kolme näytelasiskanneria, kaksi skanneria pienille näytelaseille ja yksi makrolaseille. Kysyimme Lepistöltä, mihin tekoälyä voisi käyttää patologiassa ja mitä tekoälyn tuomat mahdollisuudet, parannukset ja riskit tai haitat ovat. Hän nosti esiin tekoälyn käytön tutkimuspuolella. Esimerkkinä hän mainitsi tekoälyn käyttämisen analysoimaan keuhkosyöpätapauksia, joissa potilaan hoitovaste on tiedossa, kun on käytetty jotain tiettyä hoitoa. Tekoälyä käytettäisiin tässä etsimään yhtäläisyyksiä potilaiden näytteistä ja jos nämä yhtäläisyydet toistuvat, ne voisivat mahdollisesti korreloida tiedossa olevan hoitovaikutuksen kanssa. Lepistö kertoi myös, että tekoälyä käytettäisiin luultavasti esitarkastajan tapaisesti, eli tekoäly voisi suoraan analysoida muun muassa eturauhasbiopsiat ja löytää ja tyyppittää/merkitä syöpäalueet tai muuten epäilyttävät alueet. Tekoälyä voisi myös hyödyntää solujen laskemisessa, esimerkiksi jos tehdään lääkevastetta ennustava immunohistokemiallinen värjäys, jotta lasketaan värjäytyvien solujen osuus. Soluja voi olla jopa kymmeniä tuhansia, joten ihmiselle tämä olisi erittäin työläs ja vaativa työvaihe. Tekoälyn käytön huonoina puolina Lepistö mainitsee uuden teknologian korkeat kustannukset, teknologian integroimisen nykyisiin järjestelmiin ja tietoturvan. Tekoälyanalyysit suoritetaan pääsääntöisesti sairaalan oman verkon ulkopuolella, joten potilaiden tiedot täytyy suojata tarkasti. Lepistö painottaa myös sitä, että tekoälyn ei saa luottaa liikaa. Ihmisen, eli tässä tapauksessa patologin, täytyy aina tarkistaa ja hyväksyä tekoälyn antama tulos. Hän mainitsee myös, että tekoälyn valmiiksi analysoimat ja annotoimat näytteet eivät välttämättä ole paras tapa opettaa mm. erikoistuvia lääkäreitä. Tulevaisuuden mahdollisuuksista hän mainitsee tekoälyn käytön näytteiden värjäyksen laadun tarkistamisessa ja lasin skannauksen laadussa. (Lepistö 2024.)

Haastattelimme myös sähköisesti Talat Zehraa, joka työskentelee patologian apulaisprofessorina Pakistanissa, Jinnah Sindh Medical University:ssä. Haastattelukysymykset lähetettiin hänelle WhatsApp-pikaviestintäpalvelua käyttäen. Saimme hänen yhteystietonsa Darshan Kumarilta, joka toimii scoping-katsausartikkelin työelämäohjaajana Aiforialta. Haastattelukysymykset ja vastaukset löytyvät liitteestä (liite 2.) Apulaisprofessori Zehra työskentelee yliopistossa ja hän käyttää mikroskooppiin kytkettyä kameraa ottamaan digitaalisia kuvia näytelaseista. Hän käyttää näitä kuvia tiedon jakamiseen ja telepatologiaan, eli näytekuviin siirtämiseen muun muassa toisille patologeille. Telepatologian avulla hän voi siis tarvittaessa konsultoida muita patologeja tai käyttää kuvia etäopettamiseen. Hän käyttää näitä kuvia myös ohjelmoimaan syväoppimismal-

leja. Apulaisprofessori Zehra tutustui telepatologiaan ja digitalisten kuvien käyttöön koronapandemian jälkeen, kun hän ei pystynyt työskentelemään paikan päällä yliopistolla. Ennen sitä hän oli työskennellyt vain perinteisen valomikroskoopin kanssa ja tutkinut näytelaseja tämän avulla. Tekoälyn käyttämisen hyötynä apulaisprofessori Zehra nostaa esille patologioiden lukumäärän vähenemisen. Tekoälyä voi siis hyödyntää telepatologiassa antamaan nopeamman ja jopa tarkemman diagnoosin verrattuna patologin itsenäisesti tekemiin diagnooseihin. Apulaisprofessori Zehran mukaan laaja validointi ja tutkimusten suorittaminen on erittäin tärkeää tekoälyn käytössä, jotta sen käyttö ja tulokset on luotettavia. Hänen mukaansa tekoäly voi auttaa esimerkiksi näytteiden ja tulosien kvantifioinnissa, ja tämä on luotettavampaa kuin manuaalisesti tehty kvantifiointi. Tekoäly huomaa näytteissä pienetkin muutokset, jotka ihmiskäsi voisi ohittaa. (Zehra 2024.) Haastatteluilla halusimme kartoittaa tietoa tämänhetkisestä tilanteesta tekoälyn saralla patologian laboratorioissa ja kerätä tietoa siitä, minkälaisia asenteita tekoälyä kohtaan patologeilla ja aiheen parissa työskentelevillä on.

5 Scoping-katsaus

Projektiryhmässämme on lisäksi kaksi muuta opiskelijaa, joiden kanssa kirjoitimme scoping-katsaus artikkelin. Meille valikoitui toteutustavaksi scoping-katsaus, jonka avulla on tarkoitus kartoittaa miten paljon ja minkälaista kirjallisuutta ja tutkimuksia löytyy aiheestamme, tekoälyratkaisut patologiassa. Scoping-katsaus on moniosainen menetelmä, jossa aloitetaan tutkimuskysymyksen valikoimisella, pyritään löytämään tutkimusartikkeleita ennalta määriteltujen hakusanojen avulla, valitaan ja järjestetään tutkimukset, jotka sisällytetään katsaukseen, kirjataan kerätty data, ja lopulta raportoidaan tulokset artikkelin muodossa (Mak & Thomas 2022: 565-567).

Opinnäytetyömme tuotoksena syntynyt englanninkielinen scoping-katsaus-artikkeli 'An extensive review on AI tools in the field of image analysis focused on pathology'- julkaistaan lehdessä *Computer Methods in Biomechanics and Biomedical Engineering: Imaging & Visualization*, jota kustantaa Taylor & Francis Group. Artikkelin kirjoituksessa noudatimme julkaisun kriteereitä pituuden, sisällön ja ulkoasun kanssa.

5.1 Tuotos

Tuotoksena meillä on tieteellinen vertaisarvioitu artikkeli, joka on tarkoitettu henkilöille, jotka haluavat saada lisätietoa tekoälyn hyödyntämisestä patologian alalla. Lukijakun-

taan kuuluu mm. patologit, bioanalytikot ja muut tietoa hakevat henkilöt. Artikkelin sisältää kaksi taulukkoa ja Prisma-kaavion, joka kuvastaa kirjallisuushaun ja artikkelien valinnan prosessia. Artikkelin sisältö kirjoitetaan *Computer Methods*-lehden ohjeiden mukaan järjestyksessä tiivistelmä, johdanto, materiaalit ja menetelmät (tutkimuksen puitteet, kirjallisuushaku, sisällytys- ja poissulkukriteerit, laadunarviointi, tuloksien luokittelu ja analysointi), tulokset, pohdinta, tutkimuksen rajoitukset, johtopäätökset. (Taylor & Francis Online 2024). Artikkelin loppuun lisätään myös muun muassa lausunnot tekijöiden osallistumisesta, tekijöiden kiitokset sekä lähdeluettelo ja liitteet.

Artikkelin tuloksista pystyttiin havainnoimaan, että tekoäly tulee tuomaan terveydenhuollon alalle suuria uudistuksia tulevaisuudessa ja todennäköisesti helpottamaan terveydenhuollon työtaakkaa. Jotta tekoälyä voidaan alkaa implementoimaan terveydenhuollossa, tulee terveydenhuollon ammattilaisten olla avoimia uudistuksille, ja saada tarvitsemansa valmiudet jo opiskeluaikana tai työpaikalla hyvien koulutusten muodossa.

Merkittäviä tuloksia scoping-katsauksessamme olivat koneoppimista tai syväoppimista käyttävät tekoälyratkaisut, joissa algoritmit analysoivat virtuaalimikroskooppikuvia (Whole Slide Image, WSI). Suuressa osassa artikkeleita huomattiin, että tekoälyratkaisut kuva-analyseissa olivat vähintään yhtä hyviä, joissain tapauksissa jopa tarkempia, kuin patologien analysoimat näytteet. Jotta tekoäly voi analysoida virtuaalimikroskopoituja kuvia, tulee ihmisen kuitenkin tehdä näytteen käsittely ja värjäys, joka onkin kovin aikaa vievä prosessi. Näiden tulosten perusteella voidaankin todeta, että tekoäly voi tuoda suuren avun patologien suureen työmäärään, mutta ei tule odottaa, että tekoälyn avulla voidaan korvata ihmisen tekemä työ. Siihen, että tekoälyratkaisuja saataisiin sisällytettyä enemmässä määrin terveydenhuoltoalalle, on vielä paljon matkaa sekä teollisella että eettisellä saralla.

Patologian asiantuntijoiden haastatteluista käy ilmi, että niin erikoislääkäri Lepistö kuin apulaisprofessori Zehraakin näkevät tekoälyn patologiassa hyvänä ja tarvittuna uudistuksena. Haastatteluista voidaan havaita, että niin Lepistö kuin Zehraakin nostavat esiintöiden nopeutumisen, diagnoosien parantumisen ja patologien virheiden vähenemisen tekoälyn avustuksella. Haasteita ja riskejä ei myöskään tule unohtaa, ja haastatteluissa nouseekin esiin mm. teknologian integroiminen ja tietoturva. Molemmissa haastatteluissa nousee myös tulevaisuuden tekoälyratkaisuisissa esiin näytelasien värjäysten sekä värjäystulosten laadun tarkistukseen, ja skannausten laadunarviointiin mahdollisesti käytettävät tekoälysovellukset. (Lepistö 2024; Zehra 2024.)

5.2 Tuotetun artikkelin elinkaari

Artikkeliprosessi alkoi vuoden 2023 lokakuussa, kun saimme aiheemme Aiforia-yhtiöltä. Saman vuoden marraskuussa teimme työnjaon ja tutkimussuunnitelman valmiiksi. Määrittelimme tällöin myös tutkimuskysymykset ja hakusanat. Hakusanoja pohtiesamme varmistimme, että kaikki hakusanat vastaisivat tutkimuskysymyksiensä sisältöä. Joulukuussa 2023 ja tammikuussa 2024 teimme tiedonhakuja ja aloitimme kirjallisuuden läpikäymisen ja artikkelien karsimisen valintaprosessin mukaisesti (taulukko 2). Valitsimme kirjallisuuskatsausta varten yhteensä 76 artikkelia, joista 64 olivat tutkimusartikkeleita. Artikkelit julkaistiin 2019–2023 välillä ja suurin osa oli julkaistu Euroopassa tai Aasiassa, mutta muutama oli myös USA:sta. Muutama artikkeli oli myös tehty usean eri maan yhteistyönä. Kaikki artikkelit ovat vertaisarvioituja. Vuoden 2024 helmikuusta maaliskuussa teimme artikkelien valinnan loppuun ja aloitimme tuloksien keräämisen. Samalla aloitimme myös artikkelin kirjoittamisen. Artikkelin julkaistaan lehdessä *Computer Methods in Biomechanics and Biomedical Engineering: Imaging & Visualization*. Artikkelia ei liitetä tähän opinnäytetyöhön, koska se olisi uudelleenjulkaisua. Tässä työssä kirjallisuuskatsauksen tuloksia käsitellään pelkästään yleistasolla luvussa 5.1, niitä käsitellään tarkemmin artikkelissa.

6 Pohdinta

Tässä opinnäytetyössä tutkittiin tekoälyratkaisuja patologiassa, niiden hyötyjä sekä niihin liittyviä eettisiä kysymyksiä. Opinnäytetyömme tuotoksena syntynyt scoping-katsaus antaa lukijalle yhteenvedon siitä, minkälaisia tekoälysovelluksia patologian alalla on käytössä, minkälaisia on kehitteillä sekä miten nämä työkalut voivat tuoda kehitystä terveydenhuoltoon. Scoping-katsauksen tavoite oli kartoittaa patologiassa käytössä olevia tekoälyratkaisuja ja selvittää, minkälaisia tekoälyratkaisuja ollaan kehittämässä ja miten tekoälyä voitaisiin käyttää hyväksi patologian alalla tulevaisuudessa. Katsauksen avulla tietoa tästä aiheesta löytyy tiivistettynä yhdestä paikasta. Tekoäly on aiheena erittäin ajankohtainen ja sen käyttötarkoitukset ja -tavat kehittyvät jatkuvasti, joten tämä scoping-katsaus oli tarpeellinen. Ennen kuin tekoälyä tuodaan laajemmin terveydenhuoltoalalle käyttöön, on pystyttävä menemään takuuseen siitä, että potilasturvallisuus ja hyvä hoito pysyvät ensisijaisina (Metsälä & Blomqvist & Patanen 2020: 4–13). Tekoälyn hyödyntäminen patologiassa oli aiheena erittäin mielenkiintoinen ja tiedonhaku opetti myös meille paljon uutta. Vaikka katsauksen tekeminen oli ajoittain aika raskasta, kiinnostava aihe helpotti jaksamista.

Opinnäytetyöprosessi ja scoping-katsauksen kirjoittaminen eteni protokollan ja suunnitelman mukaan suhteellisen hyvin. Alussa scoping-katsaus kirjoitusryhmämme muokkautui hieman aikataulullisista syistä, ja meitä oli projektiryhmässä lopulta neljä opiskelijaa: kaksi bioanalyttikko-opiskelijaa ja yksi Tieto- ja viestintäteknikan insinööriopiskelija Metropolista sekä yksi Information and Communications Technology-opiskelija Singapore Institute of Technology:sta. Ryhmätyön tekeminen tällä kokoonpanolla sujui hyvin aikaerosta ja muista opinnoista sekä työharjoitteluista huolimatta. Saimme myös paljon tukea 3DL Health Tech-hanketta vetäviltä opettajilta. Tieteellinen scoping-katsaus artikkeli julkaistaan *Computer Methods in Biomechanics and Biomedical Engineering: Imaging & Visualization* lehdessä.

Aihe ei ollut kummallekaan opinnäytetyön kirjoittajalle kovinkaan tuttu aikaisemmasta, eikä kumpikaan ollut aikaisemmin kirjoittanut scoping-katsausta tai tieteellistä artikkelia. Prosessit olivat hyvin järjestelmällisiä, mikä helpotti kirjoitustyötä ja antoi kehykset ryhmätyön tekemiselle. Alkuun tietoa ja artikkeleita tuntui olevan loputon määrä, ja scoping-katsauksen työläin osuus näyttäytyikin kirjallisuushaussa. Työn edetessä saimme kuitenkin viillattua tutkimuskysymysten avulla tietoa hallittavampaan muotoon, ja tietoaikin alkoi kertymään niin, että prosessi helpottui sen edetessä.

6.1 Eettisyys ja luotettavuus

Opinnäytetyötä ja scoping-katsausta tehdessämme sitouduimme noudattamaan hyvää tieteellistä käytäntöä ja toimimaan eettisesti (Tutkimuseettinen neuvottelukunta 2023). Käytimme luotettavia tietokantoja ja tiedonlähteitä ja arvioimme käytettyjen artikkelien laatua, luotettavuutta ja mahdollista puolueellisuutta artikkelien kirjoittajien puolelta. Katsauksille on myös omat luotettavuuskriteerinsä ja raportointitapansa, ja noudatimme näitä sääntöjä katsauksen teon aikana (Thompson & Tiwari & Fu & Moe & Buckley 2012; Metsälä ym. 2017). Pidimme myös koko prosessin ajan mielessämme tutkimuskysymyksemme ja arvioimme, kuinka hyvin jokainen artikkeli auttaa vastaamaan näihin. Arvioimme myös artikkeleissa mainittujen menetelmien ja tulosten luotettavuutta, toistettavuutta ja sovellettavuutta laboratoriotyöskentelyssä. Käytimme scoping-katsauksen aikana tekoälyä artikkelien laadunarvioinnissa. Muutimme STROBE-laadunarviointilistan kriteerit kysymysmuotoon tekoälyn kehotetta varten. Tekoälyn käyttöön olimme saaneet luvan opinnäytetyöohjaajaltamme Eija Metsälältä. Teimme laadunarvioinnin ensin itsenäisesti ja käytimme tekoälyä ensisijaisesti tarkistusmielessä. Vertasimme tekoälyn antamia tuloksia omiin tuloksiimme, mutta luotimme itse tekemäämme arviointiin enemmän kuin tekoälyn tekemään. Käytimme maksullista pdf.ai-ohjelmaa,

johon artikkelit ladataan yksi kerrallaan pdf-muodossa ja sitten tekstikenttään kirjoitetaan haluttu kehote.

6.2 Johtopäätökset

Löytämämme kirjallisuuden perusteella voidaan todeta, että tekoäly voi mahdollistaa suuria uudistuksia terveydenhuollon alalle, kunhan ammattilaiset ovat avoimia näille uudistuksille. Kone- ja syväoppimista käyttäviä tekoälyratkaisuja kehitellään jatkuvasti ja kirjallisuuden perusteella tekoälyn suorittamat analyysit ovat yhtä hyviä tai jopa parempia kuin patologioiden suorittamat analyysit. Vaikka tekoälyn käyttö voisi analyysimielessä nopeuttaa patologioiden työtä, täytyy näytteet kuitenkin käsitellä ja värjätä samalla tavalla kuin nykyään, eli tekoäly ei ainakaan näillä näkymin pysty mitenkään automatisoimaan patologian laboratorion toimintaa. Tekoäly ei myöskään korvaa patologeja, koska heidän pitää aina tehdä näyteanalyysin tuloksen lopullinen tarkistus ja hyväksyntä. Virtuaalimikroskopia (WSI) on nyt jo mullistanut patologian alaa ja helpottanut patologioiden työtä tietyissä määrin, ja tekoälyn käyttö olisi seuraava askel patologian digitalisaatiossa. Tekoälyn käyttö rutiinidiagnostiikassa on kuitenkin vielä ainakin muutama vuoden päässä oleva haave. Tekoälyn implementointi tuo omat haasteensa terveydenhuoltoalalle, ja suurimmat haasteet liittyvät tämän uuden teknologian tuomiin kustannuksiin. Tekoälyn käytöllä ja myös virtuaalimikroskopiolla on omat tekniset vaatimuksensa, ja uusien tietokoneiden ja muiden laitteiden hankkiminen on lopulta aika kallista. Tekoälymallien kehittäminen juuri patologian käyttöä varten edistyy kuitenkin nopeasti ja nykypäivän digitalisaation myötä tekoälyn implementoiminen on looginen seuraava askel muuttuvalla terveydenhuoltoalalla. Tuottamamme artikkeli on suunnattu niille, jotka haluavat saada yhdestä lähteestä tietoa tekoälyn tämänhetkisestä tilasta patologian alalla, ja saada lisää tietoa aiheesta. Pyrimme artikkelissa keräämään tietoa laajasta aiheesta helpommin lähestyttävään muotoon. Artikkelia ei ole suunnattu tietyille lukijakunnalle, vaan siitä saattavat hyötyä patologit, bioanalyytikot sekä muut aiheesta kiinnostuneet.

Patologian asiantuntijoiden haastatteluista käy selväksi, että tekoäly voi tulla muuttamaan patologioiden laboratorioissa työskentelevien työkuvaakin paljonkin, esimerkiksi työtaakan helpottumisen ja tasaisemman jakautumisen, diagnoosien nopeutumisten sekä uusien tekoälysovellusten avulla. Myös haasteita tekoälyn käytössä on nostettu haastatteluissa esille, eikä tekoäly tuominen laajemmin patologian laboratorioihin tule olemaan ongelmatonta. Haastatteluissa esiin nostetut hyödyt vaikuttavat kuitenkin olevan suurempia kuin haitat.

6.3 Ammatillinen kasvu

Opinnäytetyön tekeminen korosti avoimen kommunikaation sekä hyvän ja selkeän suunnitelman rakentamisen ja noudattamisen tärkeyttä koko prosessin aikana. Selkeä työnjako ja opinnäytetyön tekijöiden vahvuuksien nostaminen auttoi puolestaan sujuvoittamaan kirjoittamista. Olemme oppineet paljon opinnäytetyömme aiheesta, kirjoittamisesta sekä erilaisten tiedonhakulaitteistojen käytöstä, unohtamatta ryhmätyöskentelyä monialaisessa ryhmässä. Erilaisista haasteista, joita opinnäytetyön tekemisen aikana ilmaantui, opimme välillä nopeidenkin ratkaisujen ja kompromissien tekemisestä. Opinnäytetyöprosessi antoi hyviä eväitä tulevaan ammattiin ja erilaisissa työyhteisöissä toimimiseen.

Opinnäytetyöprosessin aikana opimme paljon uutta tekoälystä ja sen tulevaisuudennäkymistä. Tulevassa ammatissamme tulemme varmasti kohtaamaan tekoälysovelluksia ja niiden käyttöä, ja tuleekin olemaan mielenkiintoista nähdä, miten terveydenhuolto kehittyy teknologian kehityksen mukana. Eettisyyttä ja tietoturvan tärkeyttä on myös nostettu esiin tässä opinnäytetyössä, ja niiden noudattaminen tuleekin olemaan ensiarvoisen tärkeää tulevissa töissämme. Tässä opinnäytetyössä on myös avattu terveydenhuollon henkilökunnan asenteiden tärkeyttä tekoälysovelluksien mahdollisessa käytössä. Tulevien vuosikymmenten aikana ala tulee kehittymään, ja työntekijöiden tulee olla valmiina kehittymään sen mukana. Bioanalyytikon työssä on nyt jo paljon teknologiaa käytössä erilaisten analysaattoreiden ja tietojärjestelmien muodossa, ja nämä tulevat varmasti lisääntymään entisestään. Ammatista ei kuitenkaan saa hävitä inhimillinen ote asiakkaiden ja potilaiden, mutta myös työyhteisön muiden jäsenten kohtaamisessa.

Lähteet

Aiforia. <<https://www.aiforia.com/about-us>>. Viitattu 6.2.2024.

Carpén, Olli 2023. Patologian tulevaisuudennäkymiä. Teoksessa Mäkinen, Markus & Arola, Johanna & Kholová, Ivana & Kronqvist, Pauliina & Leivo, Ilmo & Mäyränpää, Mikko & Paavonen, Timo & Pohjanen, Vesa-Matti & Rauramaa, Tuomas & Ristimäki, Ari & Rautavaara, Tuomas & Sironen, Reijo (toim.). Patologia. 2. uudistettu painos. E-kirja. Helsinki: Kustannus OY Duodecim. Päivitetty 19.9.2023.

European Commission. Proposal for a Regulation of the European Parliament and of the Council laying down harmonized rules on artificial intelligence (Artificial Intelligence Act) and amending certain union legislative acts. EUR-Lex COM/2021/206 final 2021. <<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:52021PC0206>>. Viitattu 1.4.2024.

Farina, Eduardo & Nabhen, Jaqueline J & Dacoregio, Maria Inez & Batalini, Felipe & Moreas, Fabio Y 2022. An overview of artificial intelligence in oncology. *Future Science OA* 8(4). <<https://www.future-science.com/doi/full/10.2144/fsoa-2021-0074>>. Viitattu 24.3.2024.

Hamet, Pavel & Tremblay, Johanne 2017. Artificial intelligence in medicine. *Metabolism* 69. 36-40. <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S002604951730015X>>. Viitattu 8.2.2024.

Hosseini, Mohammad-Salar & Jahanshalou, Farid & Akbarzadeh, Mohammad Amin & Zarei, Mahdi & Vaez-Gharamaleki, Yosra 2024. Formulating research questions for evidence-based studies. *Journal of Medicine, Surgery, and Public Health*. 2. <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2949916X23000464>>. Viitattu 27.2.2024.

Jahn, Stephan & Plass, Markus & Moifar, Farid 2020. Digital Pathology: Advantages, Limitations and Emerging Perspectives. *Journal of Clinical Medicine*. 9(11). <<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7698715/>>. Viitattu 24.3.2024.

Kerasidou, Angeliki. Ethics of artificial intelligence in global health: Explainability, algorithmic bias and trust. *Journal of Oral Biology and Craniofacial Research*. 11(4). 612-614. <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212426821000920>>. Viitattu 13.4.2024.

Kiran, Nfn & FNU, Sapna & FNU, Kiran & Kumar, Deepak & FNU, Raja & Shiwani, Sheena & Paladini, Antonella & FNU, Sonam & Bendari, Ahmed & Perakash, Raja Sandeep & Anjali, FNU & Varrassi, Giustino 2023. Digital Pathology: Transforming Diagnosis in the Digital Age. *Cureus*. 15(9). <<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC10547926/>> Viitattu 24.3.2024.

Kumar, Neeta & Gupta, Ruchika & Gupta, Sanjay 2020. Whole Slide Imaging (WSI) in Pathology: Current Perspectives and Future Directions. *Journal of Digital Imaging*.

33(4). 1034-1040. <<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7522141/>>. Viitattu 24.3.2024.

Laki sosiaali- ja terveydenhuollon asiakastietojen sähköisestä käsittelystä 784/2021. Annettu Helsingissä 27.8.2021. <<https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2021/20210784>>. Viitattu 13.4.2024.

Lepistö, Mikael 2024. Erikoislääkäri. Turun yliopistollinen keskussairaala, patologian laboratorio. Haastattelu suoritettu sähköpostitse 12.3.2024.

Levac, Danielle & Colquhoun, Heather & O'Brien, Kelly 2010. Scoping studies: advancing the methodology. *Implementation Science*. 5. 1-9. <<https://implementation-science.biomedcentral.com/articles/10.1186/1748-5908-5-69>>. Viitattu 27.2.2024.

Maggio, Lauren A. & Larsen, Kelsey & Thomas, Alik & Costello, Joseph A. & Artino Jr, Anthony R. 2021. Scoping reviews in medical education: A scoping review. *Medical Education*. 55(6). 689-700. <<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC8247025/>>. Viitattu 24.3.2024.

Mak, Susanne & Thomas, Alik 2022. Steps for Conducting a Scoping Review. *Journal of Graduate Medical Education*. 14(5). 565-567. <<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC9580325/>>. Viitattu 6.2.2024.

Metropolia. Multicultural, -sectoral and -professional co-creative learning projects in the field of healthcare and health technology (3DL Health Tech). <<https://www.metropolia.fi/en/rdi/rdi-projects/3dl-health-tech>>. Viitattu 6.2.2024.

Metsälä, Eija & Blomqvist, Päivi & Patanen, Heli 2020. Röntgenhoitajien ja bioanalytiikojen sekä alojen opiskelijoiden käsitykset tekoälystä terveydenhuollossa. *Kliininen Radiografiatiede*. 18. 4-13. <https://sorf.fi/wp-content/uploads/2022/08/Kliininen_1_2020_VALMIS2.pdf>. Viitattu 3.4.2024.

Metsälä, Eija & Richli Meyste, Nicole & Pires Jorge, José & Henner, Anja & Kukkes, Tina & Sá Dos Reis, Cláudia 2017. European radiographers' challenges from mammography education and clinical practice – an integrative review. *Insights into Imaging*. 8(3). 329–343. <<https://link.springer.com/article/10.1007/s13244-016-0542-1>>. Viitattu 2.4.2024.

Metsälä, Eija & Vaherkoski, Ulla 2014. Medication errors in elderly acute care – a systematic review. *Scandinavian Journal of Caring Sciences*. 28(1). 12–28. <<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/scs.12034>>. Viitattu 2.4.2024.

Musumeci, Giuseppe 2014. Past present and future: overview on histology and histopathology. *Journal of Histology & histopathology*. 1(5). 1-3. <<https://www.hoajonline.com/histology/2055-091X/1/5>>. Viitattu 13.2.2024.

Mäkinen, Markus & Lehto, Veli-Pekka 2023. Patologia – klinisen lääketieteen perusta. Teoksessa Mäkinen, Markus & Arola, Johanna & Kholová, Ivana & Kronqvist, Pauliina

& Leivo, Ilmo & Mäyränpää, Mikko & Paavonen, Timo & Pohjanen, Vesa-Matti & Rauramaa, Tuomas & Ristimäki, Ari & Rautavaara, Tuomas & Sironen, Reijo (toim.). *Patologia*. 2. uudistettu painos. E-kirja. Helsinki: Kustannus OY Duodecim. Päivitetty 19.9.2023.

Naik, Nitesh & Hameed, Zeeshan & Shetty, Dasharathraj & Swain, Dishant & Shah, Milap & Paul, Rahul & Aggarwal, Kaivalya & Ibrahim, Sufyan & Patil, Vathsala & Smriti, Komral & Shetty, Suyog & Rai, Bhavan Prasad & Chlosta, Piotr & Somani, Bhaskar 2022. Legal and Ethical Consideration in Artificial Intelligence in Healthcare: Who Takes Responsibility? *Frontiers*. 9. <<https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fsurg.2022.862322>>. Viitattu 13.4.2024.

Pantanowitz, Liron & Sharma, Ashish & Carter, Alexis B. & Kurc, Tahsin & Sussman, Alan & Saltz, Joel 2018. Twenty Years of Digital Pathology: An Overview of the Road Travelled, What is on the Horizon, and the Emergence of Vendor-Neutral Archives. *Journal of Pathology Informatics*. 9(1). <<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6289005/>>. Viitattu 24.3.2024.

Peters, Micah & Godfrey, Christina & Khalil, Hanan & McInerney, Patricia & Parker, Deborah & Soares, Cassia 2015. Guidance for conducting systematic scoping reviews. *International Journal of Evidence-Based Healthcare*. 13(3). 141-146. <https://journals.lww.com/ijebh/fulltext/2015/09000/guidance_for_conducting_systematic_scoping_reviews.5.aspx>. Viitattu 23.2.2024.

Pollock, Danielle & Peters, Micah & Khalil, Hanan & McInerney, Patricia & Alexander, Lyndsay & Tricco, Andrea & Evans, Catrin & de Moraes, Erica Brandao & Godfre, Christina & Pieper, David & Saran, Ashrita & Stern, Cindy & Munn, Zachary 2023. Recommendations for the extraction, analysis, and presentation of results in scoping reviews. *JB I evidence synthesis*. 21(3). 520-532. <https://journals.lww.com/jbisr/fulltext/2023/03000/recommendations_for_the_extraction,_analysis,_and.7.aspx>. Viitattu 23.2.2024.

Rakha, Emad A. & Toss, Michael & Shiino, Sho & Gamble, Paul & Jaroensri, Ronnachai & Merme, Craig H. & Chen, Po-Hsuan Cameron 2021. Current and future applications of artificial intelligence in pathology: a clinical perspective. *Journal of Clinical Pathology*. 74(7). 409-414. <<https://jcp.bmj.com/content/74/7/409>>. Viitattu 16.3.2024.

Ross, Michael H. & Pawlina, Wojciech 2011. *Histology: A Text and Atlas: With correlated cell and molecular biology*. 6. painos. Philadelphia: Wolters Kluwer/ Lippincott Williams & Wilkins. 1-6.

Rubinger, Luc & Gazendam, Aaron & Ekhtiari, Seper & Bhandari, Mohit 2023. Machine learning and artificial intelligence in research and healthcare. *Injury*. 54. 69-73. <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0020138322000766>>. Viitattu 23.3.2024.

Sharma, Animesh Kumar & Sharma, Rahul 2024. Navigating the Ethical Landscape: Implementing Machine Learning in Smart Healthcare Informatics. *Indian Journal of Community Health*. 36(1). 149-152. <<https://www.iapsmupuk.org/journal/index.php/IJCH/article/view/2799/1487>>. Viitattu 23.3.2024.

Schwartz, Reva & Vassilev, Apostol & Greene, Kristen & Perine, Lori & Burt, Andrew & Hall, Patrick 2022. Towards a Standard for Identifying and Managing Bias in Artificial Intelligence. Vol. 3. US Department of Commerce, National Institute of Standards and

Technology. < <https://www.dwt.com/-/media/files/blogs/artificial-intelligence-law-advisor/2022/03/nist-sp-1270--identifying-and-managing-bias-in-ai.pdf>>. Viitattu 13.4.2024.

Taylor & Francis Online. Submit to Computer Methods in Biomechanics and Biomedical Engineering: Imaging & Visualization. Instructions for authors. <<https://www.tandfonline.com/action/authorSubmission?show=instructions&journalCode=tciv20>> Viitattu 16.4.2024.

Thompson, Matthew & Tiwari, Arpita & Fu, Rongwei & Moe, Esther & Buckley, David 2012. A Framework To Facilitate the Use of Systematic Reviews and Meta-Analyses in the Design of Primary Research Studies [Internet]. Appendix A, Assessing Validity of Systematic Reviews. <<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK83629/>>. Viitattu 16.4.2024.

Tolonen, Teemu & Näpänkangas, Juha & Isola Jorma 2015. Kliininen patologia virtuaalimikroskopian kynnyksellä. Lääketieteellinen aikakauskirja Duodecim. 131(21). 1981–1987. <<https://www.duodecimlehti.fi/duo12517> >. Viitattu 6.2.2024.

Tutkimuseettinen neuvottelukunta 2023. Hyvä tieteellinen käytäntö (HTK). Päivitetty 9.10.2023. < <https://tenk.fi/fi/hyva-tieteellinen-kaytanto-htk>. Viitattu 11.4.2024.

Underwood, James C. E. & Cross, Simon S 2009. General and Systematic Pathology. 5. painos. Amsterdam: Elsevier Limited. 4-7.

Vähäkainu, Petri & Neittaanmäki, Pekka 2018. Tekoäly terveydenhuollossa. Informaatioteknologian tiedekunnan julkaisuja/Jyväskylän yliopisto. (45). < <https://jyx.jyu.fi/bitstream/handle/123456789/57682/1/978-951-39-7360-5.pdf> >. Viitattu 6.2.2024.

Zehra, Talat 2024. Patologian apulaisprofessori. Jinnah Sindh Medical University. Haastattelu suoritettu WhatsAppin kautta 16.4.2024.

Mikael Lepistön (patologian erikoislääkäri, Turun yliopistollinen keskussairaala) haastattelu

Minkälaisia digipatologisia laitteistoja teillä on nyt käytössä?

Teimme siirtymisen digipatologiaan 2021 ja 2022 aikana, jota ennen kaikki näytteet tutkittiin valomikroskooppia apuna käyttäen. Näytelasit valmistetaan edelleen kuten ennen, mutta nyt kaikki histologisten näytteiden lasit skannataan digimuotoon ja katsotaan tietokoneen näytöltä. Meillä on täällä TYKS patologialla näytelasien skannaukseen tarkoitettuja skannereita kolme kappaletta, jotka ovat allokoitu skannaamaan kaikki histologiset näytteet (poislukien tutkimusnäytteet). Sytologisia laseja ei myöskään digitoida. Kaksi skanneria pienille laseille ja yksi makrolaseille. Näytteiden katselua varten on siihen sopivat tietokoneen näytöt.

Mitkä ovat olleet suurimmat uudistukset uranne aikana?

Oma urani patologialla on alkanut 2011 paikkeilla amanuenssuurien ja kesäsijaisuuden myötä. Täysipäiväisesti olen työskennellyt patologialla 2018 alusta lähtien. Suurin uudistus on ehdottomasti ollut digipatologiaan siirtyminen ja nyt seuraava suuri uudistus tulee olemaan tekoälyn integroiminen rutiinidiagnostiikkaan.

Millä tavoin luulette, että tekoälyratkaisut voivat kehittää patologian tieteenhaaraa tulevaisuudessa?

Tutkimuspuolella tekoälyä voidaan esimerkiksi hyödyntää tavalla mikä ei aikaisemmin ollut mahdollista. Tästä esimerkkinä voisi olla asetelma, jossa tekoälylle annetaan analysoitavaksi potilasaineisto koostuen esimerkiksi keuhkosyöpätapauksista. Voisimme valikoida potilaat, jotka ovat saaneet tiettyä hoitoa ja joiden vaste hoidolle on nyt tiedossa. Tekoälyn tehtävä tässä olisi analysoida syöpänäytteiden histologia ja etsiä niistä yhtäläisyyksiä, jotka toistuessaan voisivat korreloida tiedossa olevaan hoitovaikutukseen. Käytännössä tämän kaltaiseen asetelmaan ihmisen kyky tai kapasiteetti ei yksinkertaisesti riitä.

Toinen asia mitä varmasti joudutaan pohtimaan, on aiempaan tutkimusdataan ja ihmisten suorittamaan analyysiin pohjautuvat erilaiset hoitovaikutusta ennustavat raja-arvot. Jos katsomme esimerkiksi immuno-onkologisten hoitojen vaikutusta ennustavaa PD-L1-värjäystä ja saatamme saada tekoälyä apuna käyttäen toistettavampia ja vähemmän subjektiivisia tuloksia, jotka eivät välttämättä ole vertailukelpoisia aiempaan tutkimusdataan nähden. Tästä herää kysymys, ovatko nyt käytössä olevat raja-arvot enää valideja,

jos värjäyksen analyysi tehdään tekoälyä käyttäen. On tietenkin mahdollista, että näytteet ja värjäykset on aiemmin jo analysoitu niin tarkasti, että merkittävää eroa ei synny. Käytännössä tekoäly on erittäin tehokas työkalu tilanteessa, jossa tietystä (suuresta) aineistosta erilaisia muuttujia yritetään löytää tulokseen sidoksissa olevia yhtäläisyyksiä. Käyttötapoja ja tekoälylle hyvin sopivia tutkimusasetelmia on varmasti lukuisia, mutta nämä tulivat ensimmäisenä mieleen.

Mitä ovat mielestänne tekoälyn tuomat hyvät uudistukset patologiassa? Onko huonoja puolia?

Näytteiden digitalisaation myötä tekoälyn käyttö on nyt mahdollista, joskin aidosti hyvin toimiva ja tehokas tekoälyyn pohjautuvat kuva-analytiikka on vielä varsin uusi asia. Eri näisiä työmäärää helpottavia ja nopeuttavia tekoälylle soveltuvia esimerkkejä alla.

Tekoälyltä voidaan odottaa esitarkastajan tyyppistä roolia, jossa esimerkiksi eturauhasbiopsiat ohjautuvat suoraan skannauksesta tekoälyn analysoitavaksi. Tekoäly etsii syöpäfokukset, tyypittää ne ja tekee tarvittavat mittaukset kuten kudoksen pituus ja esiintyvän syövän osuus (tähän jo toimivia kaupallisia CE-IVD sertifioituja malleja).

Osasta syöpänäytteitä tehdään esimerkiksi lääkevasteita ennustavia immunohistokemiallisia lisävärjäyksiä, joista määritetään värjäytyvien solujen osuuksia. Solujen laskeminen on ihmiselle työlästä ja hidasta eikä silmämääräinen arviointi ole helppoa tai toistettavaa. Tekoäly pystyy laskemaan jokaisen näytteessä näkyvän solun (joita voi olla kymmeniä tuhansia) kategorisoi ne eri solutyyppeihin ja määrittää värjäytymisen. Lopputuloksena saadaan tarkka, totuutta paremmin vastaava ja toistettava tulos. Osassa syöpänäytteitä poistetaan imusolmukkeita, joita voi olla suuriakin määriä läpikäytävänä mahdollisten metastaattisten solujen vuoksi. Tähän on olemassa tekoälysovelluksia, jotka analysoivat imusolmukkeet esitarkastajan tavoin ja merkitsevät epäilyttävät alueet valmiiksi. Hidas ja keskittymistä vaativa työmäärä vähenee ja myös mahdollisesti joidenkin lisävärjäysten tarve saattaa myös vähentyä.

Yllä mainitut ovat tällä hetkellä tyypillisimpiä käyttötapoja patologian näkökulmasta, mutta uusia malleja kehitetään jatkuvasti. Kuitenkaan itsenäisesti tekoälyn ei voi olettaa toimivan vaan tulokset on aina patologin tarkistettava.

Huonoina puolina voisi tässä kohtaa nähdä uuden teknologian kohtalaisen korkeat kustannukset, joskin säästöjäkin voidaan tekoälyn avulla tietyissä tilanteissa saavuttaa.

Onko tekoälyn käytössä mahdollisia haasteita/riskejä/ongelmia, mitä ne ovat?

Haasteina on teknologian integroiminen olemassa oleviin järjestelmiin. Käyttöliittymästä täytyy saada sujuva ja helppo jotta sitä myös ihmiset haluavat käyttää. Tietoturva ja näyttöiden metatietojen suojaaminen tuovat omat haasteensa, sillä tekoälyanalyysit pääsääntöisesti tapahtuvat sairaalan oman verkon ulkopuolella.

Käytön suhteen riskinä voidaan nähdä liiallinen luottamus tekoälyn analyysiin. Ihmisen täytyy aina tarkastaa tulokset.

Erikoistuvien lääkäreiden koulutuksen näkökulmasta valmiiksi tekoälyn analysoimat ja annotoimat näytteet eivät ehkä ole paras tapa oppia.

Helpottaisiko tekoälyn käyttö työtäsi, missä määrin?

Tekoälyn käyttö helpottaisi ja nopeuttaisi työtäni ainakin edellä mainittujen näytetyyppien ja värjäysanalyysien suhteen merkittävästi. Todennäköistä on myös, että diagnostiikka paranee ja virheet vähenevät, kunhan tekoälyyn suhtautuu oikein.

Voisiko tekoälyä käyttää muuhun kuin kuvien analysointiin, esim. edeltävissä työvaiheissa?

Kyllä. Joillakin tekoälyä kehittäville yrityksillä on jo kaupallisia tekoälymalleja näyttelasien värjäystuloksen laadun tarkistukseen. Tekoälyä voidaan käyttää myös skannauksen laadun tarkkailuun ja esimerkiksi automatisoida lasin uudelleenskannaus, mikäli siinä tekoäly havaitsee epätarkkuutta.

Talat Zehran (patologian apulaisprofessori, Jinnah Sindh Medical University) haastattelu**What hospital/clinic/laboratory do you work at?**

I am working as an Assistant Professor of pathology at a government university.

What kind of digital pathology methods are you currently using at your workplace (if any)?

I use a camera connected microscope, make the slides digital. I use these digital images for telepathology, knowledge sharing and apply AI based deep learning models.

What have been the biggest reforms or changes during your career?

Before COVID-19, I used to do conventional microscopy and had no idea about digital microscopy. After COVID-19, when I was unable to work physically, I learnt and explored these new modalities which were really amazing. Using AI on the digital images was the most fascinating experience for me. Since then, I switch myself from clinical lab practice and transform into research of digital and computational pathology

How do you think the use of artificial intelligence in pathology will evolve in the future? How can AI advance pathology? What are, in your opinion, the improvements brought by AI to pathology? Any downsides?

Well, the promises of digital and computational pathology are beyond the scope of traditional microscopy. With the help of digital and computational pathology tools, we can solve our preexisting issues like declining no of pathologists. Digital pathology can help in telepathology as the number of pathologists are on declining trend around the globe, this tool can provide fast and rapid diagnosis. Similarly, with the help of AI tools pathologists can make their diagnoses more precise and reproducible particularly in terms of quantification.

Are there any challenges, risks or problems with using AI? What are they?

Well as in every new modality, there are risks and challenges, I believe large validation and proof of concept studies can help to figure out these issues as well.

Would using AI make your work easier? If so, to what degree would it make it easier?

AI tools can help pathologists in many ways:

1. Quantification tools are more accurate, fast and reproducible as compared to manual tools.
2. AI tools can pick up small pathologies which can be missed by a pathologist if he is overworked.
3. Pathology can become more objective.

Could AI be used for other things outside of pathology image analysis, e.g. Previous processes like staining?

Yes, many studies are underway regarding use of AI stains but there are ambiguities from pathologists which need to be addressed first.