

Laura Mattila

# TEKOÄLYN POTENTIAALI IHOSYÖ- VÄN DIAGNOSOINNIN TEHOSTAMI- SESSA

Tekniikan ja luonnontieteiden tiedekunta  
Kandidaatintyö  
Tarkastaja: Maija Ylinen  
Huhtikuu 2021

# TIIVISTELMÄ

Laura Mattila: Tekoälyn potentiaali ihosyövän diagnosoinnin tehostamisessa  
The potential of artificial intelligence in improving the efficiency of diagnosing skin cancer  
Kandidaatintyö  
Tampereen yliopisto  
Tietojohtamisen tutkinto-ohjelma  
Huhtikuu 2021

---

Tekoälyä hyödynnetään laajasti eri aloilla ja kasvaneen datan määrän seurauksena sitä tullaan hyödyntämään enenemissä määrin myös terveydenhuollossa. Lääkäreistä on pulaa maailmanlaajuisesti, minkä seurauksena tekoäly voisi olla yksi keino työvoimapulan lieventämiseksi. Tekoälyn avulla voitaisiin mahdollistaa lääkäreiden keskittyminen rutiininomaisten töiden sijaan enemmän luoviin ja vaativampiin tehtäviin. Tässä tutkimuksessa tavoitteena oli selvittää, miten tekoälyn avulla voitaisiin tehostaa ihosyövän diagnosointia ja mitä mahdollisia vaikutuksia sillä saattaisi olla. Ihosyöpien määrä kasvaa maailmalla sekä Suomessa jatkuvasti, minkä vuoksi diagnosointia tehostavia apuvälineitä tullaan tarvitsemaan tulevaisuudessa hoidon laadun ja saavutettavuuden takaamiseksi.

Tutkimus tehtiin kirjallisuuskatsauksena, jossa koottiin tietoa eri lähteistä yhteen tieteellistä prosessimallia mukaillen. Kirjallisuuskatsauksessa keskityttiin erityisesti ihosyöpien sekä tekoälyn yhdistävään kirjallisuuteen, mutta lisäksi tarkasteltiin myös lähteitä, joissa tekoälyä käsiteltiin yleisesti terveydenhuollossa. Tutkimuksessa käsiteltiin ensin teoriaa liittyen ihosyöpiin ja sen diagnosoinnin tehokkuuteen, jonka jälkeen käsiteltiin tekoälyä ja sen soveltamista ihosyöpien diagnosoinnissa. Tämän jälkeen aihepiirit yhdistettiin ja tehtiin johtopäätökset.

Tutkimuksen tuloksena saatiin, että tekoälyn avulla voidaan mahdollisesti tehostaa ihosyövän diagnosointia. Tekoälyn ja lääkäreiden yhteistyöllä voidaan saavuttaa tarkempi diagnosointi, mikä voi vähentää muun muassa turhien koepalojen ottamista sekä mahdollistaa lääkäreiden keskittymisen muihin tehtäviin. Lisäksi tekoälyllä on myös mahdollista alentaa ihosyövän diagnosoinnista koituvia kustannuksia, nopeuttaa diagnosointia sekä parantaa hoidon laatua. Vaikka tekoälyn avulla voidaan saavuttaa useita hyötyjä, voi sen käyttö aiheuttaa myös joitakin haasteita. Tekoälyn hyödyntämisen seurauksena voi olla lääkäreiden yliriippuvaisuus sekä liiallinen luottamus tekoälyyn, mikä voi johtaa muun muassa lääkäreiden alisuorittamiseen, lääkäreiden taitojen alenemiseen sekä olennaisten yksityiskohtien huomaamatta jäämiseen. Jotta tämä voitaisiin välttää, olisi olennaista, että terveydenhuoltohenkilökunta koulutettaisiin arvioimaan tekoälyn tuottamia tuloksia kriittisesti.

Avainsanat: tekoäly, koneoppiminen, ihosyöpä, diagnosointi, tehokkuus

Tämän julkaisun alkuperäisyys on tarkastettu Turnitin OriginalityCheck –ohjelmalla.

# SISÄLLYSLUETTELO

|   |    |
|---|----|
| 1. JOHDANTO .....   | 1  |
| 1.1 Tutkimuksen tausta .....  | 1  |
| 1.2 Tutkimusongelma ja tutkimuksen tavoitteet .....   | 2  |
| 1.3 Tutkimuksen rakenne .....   | 4  |
| 2. TUTKIMUKSEN TOTEUTUS .....   | 5  |
| 2.1 Tutkimusmenetelmät .....  | 5  |
| 2.2 Tutkimusaineiston kuvaus .....  | 7  |
| 3. IHOSYÖPÄ JA SEN DIAGNOSOINNIN TEHOKKUUS .....  | 8  |
| 3.1 Ihosyöpä .....  | 8  |
| 3.2 Ihosyövän diagnosointi .....  | 9  |
| 3.3 Ihosyövän diagnosoinnin tehokkuus .....   | 10 |
| 4. TEKOÄLY JA SEN HYÖDYNTÄMINEN DIAGNOSOINNISSA .....   | 12 |
| 4.1 Tekoäly .....   | 12 |
| 4.2 Tekoälyn hyödyntäminen ihosyövän diagnosoinnissa .....                                      | 13 |
| 4.3 Tekoälyn sovellukset ihosyövän diagnosoinnissa .....  | 13 |
| 5. TEKOÄLYN HYÖDYNTÄMINEN IHOSYÖVÄN DIAGNOSOINNIN<br>TEHOSTAMISESSA .....                       | 15 |
| 5.1 Ihosyövän diagnosoinnin tehostaminen tekoälyn avulla ja siitä<br>saavutettavat hyödyt ..... | 15 |
| 5.2 Tekoäly osana ihosyövän diagnosointia .....   | 16 |
| 5.3 Tekoälyn aiheuttamat haasteet ihosyövän diagnosoinnissa .....                               | 18 |
| 6. JOHTOPÄÄTÖKSET .....   | 20 |
| 6.1 Tutkimuksen tulokset .....  | 20 |
| 6.2 Tulosten arviointi .....  | 22 |
| 6.3 Jatkotutkimus .....   | 22 |
| 6.4 Yhteenveto .....  | 23 |
| LÄHTEET .....   | 24 |
| LIITE A: TUTKIMUKSEN AINEISTO .....   | 27 |

# 1. JOHDANTO

## 1.1 Tutkimuksen tausta

Tekoälyä hyödynnetään usealla eri alalla ja sille etsitään jatkuvasti uusia käyttökohteita, minkä vuoksi se on ajankohtainen aihe lähes kaikilla tieteenaloilla (Russell & Norvig 2016, ss. 26–29). Kuten muillakin aloilla, myös terveydenhuollossa kerättävä data on yhä monimutkaisempaa ja sen määrä on suuri, minkä vuoksi tekoälyä tullaan tulevaisuudessa hyödyntämään myös terveydenhuollossa apuvälineenä (Davenport & Kalakota 2019). Lisäksi lääkäreistä on pulaa monella osa-alueella, kuten esimerkiksi ihosairauksien tunnistamisessa, jolloin tekoälyn avulla voidaan mahdollisesti lieventää kyseistä työvoimapulaa hyödyntämällä sitä apuvälineenä muun muassa diagnoosien tekemisessä (Du-Harpur et al. 2020). Tekoälyn ei ole tarkoitus korvata terveydenhuoltohenkilökuntaa vaan ennemminkin toimia apuvälineenä ja mahdollistaa henkilökunnan keskittymisen osa-alueisiin, joita koneet eivät voi suorittaa. Tällaisia osa-alueita, joihin koneet eivät kykene ovat muun muassa empatia, suostuttelu sekä kokonaisuuden hahmottaminen. (Davenport & Kalakota 2019)

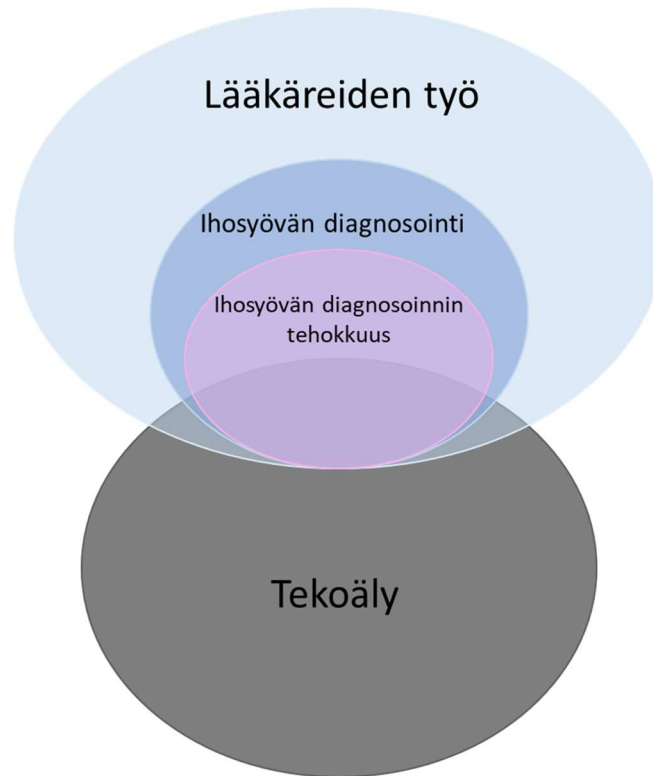
Tekoälyn hyötyjä liittyen lääketieteeseen on tutkittu jo paljon ja erilaisia kokeita on tehty ympäri maailmaa. Esimerkiksi tekoälyn sovelluksia eri sairauksien diagnosointiin on paljon ja niistä tehdyistä tutkimuksista on saatu hyviä tuloksia (Topol 2019). Tutkimukset osoittavat, että tekoäly pystyy diagnosoimaan eri syöpiä tarkemmin kuin suurin osa alan ammattilaisista ja esimerkiksi tällä tavoin se voi auttaa tehostamaan lääkäreiden työtä (Brinker et al. 2019; McKinney et al. 2020). On kuitenkin huomattu, että vaikka tekoälyn täsmällisyys voittaa ihmiset diagnosoinnissa, ei se kuitenkaan ole yhtä tarkka kuin tekoälyn sekä ihmisen yhteistyö (Miller et al. 2018). Tämän seurauksena tekoälyä voitaisiin hyödyntää lääkäreiden apuvälineenä diagnosoinnissa tarkemman ja tehokkaamman lopputuleman saavuttamiseksi eikä niinkään korvaamaan ihmistä. Tekoälyn avulla voidaan esimerkiksi vähentää rintasyövän diagnosoinnissa tarvittavia henkilöitä, kun tekoäly toimii toisena tarkastelijana ja apuvälineenä diagnosointiprosessissa (McKinney et al. 2020). Näin voidaan tehostaa toimintaa, mahdollistaa asiantuntijoiden keskittyminen muihin, vaativampiin tehtäviin sekä vähentää virheiden määrää (NHS 2019).

## 1.2 Tutkimusongelma ja tutkimuksen tavoitteet

Tässä työssä tarkastellaan erityisesti ihosyövän diagnosoinnin tehokkuutta ja tarkoituksena on selvittää, miten ihosyövän diagnosointia voitaisiin tehostaa tekoälyä hyödyntämällä. Lisäksi tarkastellaan, mitä mahdollisia vaikutuksia ihosyövän diagnosoinnin tehostamisesta tekoälyn avulla saattaisi seurata. Tehostaminen sekä tehokkuus ovat käsitteinä moniulotteisia (Collier 2010), minkä seurauksena tässä työssä ihosyövän diagnosoinnin tehokkuutta tarkastellaan diagnosointiin käytetyn ajan sekä diagnosoinnin tarkkuuden kannalta. Lisäksi tehostamista tarkastellaan sen vaikutusten perusteella. Tehostamisen seurauksena muun muassa useampi potilas voisi saada hoitoa ja lääkäreillä voisi olla enemmän aikaa keskittyä vaativampiin tehtäviin. Tekoäly ei välttämättä ratkaise työvoimapulaa lääketieteen alalla, mutta se voi mahdollisesti parantaa lääkäreiden työympäristöä sekä -olosuhteita, mikä voi johtaa hoidon laadun paranemiseen ja työn tehostumiseen (Mesko et al. 2018).

Vaikka tarkoituksena on löytää tekoälyn keinoja, jotka tulevaisuudessa voisivat tehostaa ja avustaa ihosyövän diagnosointia, ei tutkimuksessa kuitenkaan keskitytä niinkään tekoälyn teknisiin ominaisuuksiin tai sovelluksiin. Tutkimuksen pääpaino on siinä, miten tekoälyn avulla voitaisiin saavuttaa hyötyjä potilaan hoitoprosessin tehostamisen näkökulmasta. Koska lääketieteeseen ja tekoälyyn liittyvää tutkimusta on huomattavasti, valikoitui tutkimuksen tarkemmaksi tarkasteluksi ihosyöpien tunnistaminen, jotta tiedonhaku voitiin keskittää koskemaan tiettyä osa-aluetta. Ihosyövät valittiin tarkastelukohteeksi myös siksi, että niiden suuren vuosittaisen määrän vuoksi tarve automaattiselle diagnosoinnille on merkittävä (Reiter et al. 2019).

Haasteita tutkimuksen edetessä aiheutti käytännön tutkimusten vähäisyys. Vaikka aiheesta on olemassa paljon tutkimusta, on suurin osa tutkimuksista tehty kontrolloiduissa tutkimusolosuhteissa käytännön olosuhteiden sijaan. Tämän vuoksi tutkimuksen pääpainoksi otettiin tekoälyn potentiaaliset vaikutukset. Kuvassa 1 on havainnollistettu, miten tutkimuksen eri teemat linkittyvät toisiinsa. Tarkoitus on keskittyä erityisesti tekoälyn ja ihosyövän diagnosoinnin tehokkuuden yhdistämiseen sekä sen vaikutuksiin eli alueeseen, joka kuvassa 1 syntyy jokaisen osa-alueen leikatessa.



**Kuva 1 Tutkimuksen teemojen linkittyminen toisiinsa**

Alla olevassa taulukossa 1 on esitettyä tutkimuksen päätutkimuskysymys sekä alatutkimuskysymykset. Tutkimuskysymysten avulla pyritään ohjaamaan tutkimuksen suuntaa ja rajaamaan tutkimus siten, ettei käsiteltävä aihe kasva liian laajaksi.

**Taulukko 1 Tutkimuskysymykset**

|                       |  |
|-----------------------|--|
| Päätutkimuskysymys    | <ul style="list-style-type: none"> <li>Miten ihosyövän diagnosointia voitaisiin tehostaa hyödyntäen tekoälyä apuvälineenä ja mitä vaikutuksia tehostamisella saattaisi olla?</li> </ul>  |
| Alatutkimuskysymykset | <ul style="list-style-type: none"> <li>Mitkä tekijät vaikuttavat ihosyövän diagnosoinnin tehokkuuteen?</li> <li>Millaisia tekoälyn sovelluksia voitaisiin hyödyntää ihosyövän diagnosoinnissa?</li> <li>Mihin tekijöihin tekoäly vaikuttaa ihosyövän diagnosoinnissa?</li> </ul> |

Päätutkimuskysymyksenä tutkimuksessa toimii: Miten ihosyövän diagnosointia voitaisiin tehostaa hyödyntäen tekoälyä apuvälineenä ja mitä vaikutuksia tehostamisella saattaisi olla? Päätutkimuskysymykseen on sisällytetty tekoälyn potentiaalisen sovelluskohteen lisäksi myös tekoälyn hyödyntämisen vaikutukset, sillä soveltamista on olennaista pohtia myös sen vaikutusten perusteella. Näin voidaan arvioida tekoälyn hyödyntämisen järkevyyttä sen tuomien hyötyjen sekä haasteiden pohjalta. Kuten alaluvussa 1.1 esitettiin,

tekoälyn hyödyntämisestä muun muassa syövän diagnosoinnissa on saatu lupaavia tuloksia. Tämän seurauksena voidaan odottaa, että tekoäly tulee tulevaisuudessa jollakin tavalla toimimaan diagnosoinnin tukena eri syöpien tunnistamisessa. Tämä tutkimus selvittää, miten se voisi tapahtua ja mitä vaikutuksia sillä mahdollisesti on. Alatutkimuskysymysten avulla puretaan päätutkimuskysymyksen aihetta pienemmäksi ja käsitellään sitä, miten ihosyövän diagnosoinnin tehokkuus voidaan määritellä ja mitkä tekijät siihen vaikuttavat. Lisäksi tarkastellaan, minkälaisia tekoälyn sovelluksia voitaisiin mahdollisesti hyödyntää ihosyövän diagnosoinnissa ja mihin tekijöihin tekoäly vaikuttaa ihosyövän diagnosoinnissa.

### **1.3 Tutkimuksen rakenne**

Tutkimus etenee siten, että seuraavassa luvussa käydään läpi tutkimuksen toteutusta eli tarkastellaan mitä tutkimusmenetelmiä tutkimuksessa on käytetty sekä esitellään tutkimusaineisto. Kolmannessa luvussa käsitellään ihosyövän yleisimpiä tyyppisiä sekä niiden diagnosointia ja perehdytään ihosyövän diagnosoinnin tehokkuuteen. Neljäs luku sisältää teoriaa tekoälystä ja sen hyödyntämisestä ihosyövän diagnosoinnissa.

Viidennessä luvussa yhdistetään edellisten teorialukujen aiheet ja tarkastellaan, miten tekoäly vaikuttaa ihosyövän diagnosoinnin tehokkuuteen ja mitä mahdollisia vaikutuksia tehostamisella on. Lisäksi viidennessä luvussa käsitellään lyhyesti, miten tekoäly osallistuisi ihosyövän diagnosointiin. Lopuksi kuudennessä luvussa tehdään johtopäätökset tutkimuksesta eli esitellään tutkimuksen tulokset, arvioidaan niitä, esitetään jatkotutkimusideoita sekä tehdään yhteenveto koko tutkimuksesta.

## 2. TUTKIMUKSEN TOTEUTUS

### 2.1 Tutkimusmenetelmät

Kandidaatintutkielma toteutettiin kirjallisuuskatsauksena Finkin (2019) mallia hyödyntäen. Fink (2019, s. 6) määrittelee kirjallisuuskatsauksen olevan tapa, jolla järjestelmällisesti ja toisinnettavasti voidaan yhdistellä sekä arvioida tutkimuksia eri lähteistä. Lisäksi Fink (2019) listaa seitsemän päävaihetta, jotka sisältyvät kirjallisuuskatsauksen tekemisprosessiin. Näitä vaiheita ovat:

1. tutkimuskysymysten valinta
2. tietokantojen valinta
3. hakusanojen valinta
4. tiettyjen tarkastelukriteerien soveltaminen
5. metodologisten tarkastelukriteerien soveltaminen
6. varsinaisen katselmuksen tekeminen
7. tuloksien yhdisteleminen (Fink 2019, ss. 6–7).

Tätä kirjallisuuskatsausta muodostaessa ensimmäiseksi valittiin tutkimusta ohjaavat tutkimuskysymykset, jotka esiteltiin alaluvussa 1.2. Tämän jälkeen valikoitiin tietokannat, joista haettiin tutkimukseen liittyvää aineistoa. Näitä tietokantoja olivat Tampereen yliopiston Andor-tietokanta sekä kotimaisia lääketieteellisiä artikkeleita sisältävä Medici. Näistä pääasiallisena tietokantana toimi Andor, mutta Medicin avulla etsittiin vertailutietoa liittyen Suomen käytäntöihin lääkäreiden työssä sekä saatiin suuntaa tutkimukselle, vaikka sieltä ei löytynyt tutkimuksen kannalta kovin olennaista aineistoa. Lisäksi tutkimuksessa hyödynnettiin Google Scholaria sellaisten julkaisujen etsimiseen, joita ei ollut saatavilla Andorissa, ja hakukone Googlea tilastojen sekä joidenkin kaikille saatavilla olevien julkaisujen etsimiseen.

Kun tietokannat oli valittu, muodostettiin kolmannen vaiheen mukaisesti hakusanat sekä -lausekkeet, joiden avulla aineistoa etsittiin. Hakulausekkeet koostuivat pääosin englanninkielisistä sanoista kuten *'artificial intelligence'*, *'machine learning'*, *'medicine'*, *'doctor'*, *'skin cancer'*, *'diagnosing'* sekä *'efficiency'*. Vastaavia suomenkielisiä termejä kuten *'tekoäly'*, *'diagnoiminen'*, *'lääkäri'* sekä *'ihosyöpä'* hyödynnettiin, kun haettiin aineistoa



suomenkielisestä tietokannasta Medici. Käytettyjä hakulausekkeita on esitetty taulukossa 2. Taulukosta 2 voi lisäksi nähdä kuinka paljon tuloksia kukin hakulauseke tuotti sekä mihin aihealueeseen liittyen haku tehtiin.

**Taulukko 2 Hakulausekkeet ja niiden tuottamien tulosten määrä**

| Hakulauseke   | Tulosten määrä  | Aihealue                |
|---|-----------------|-------------------------|
| "artificial intelligence"   | 747 999 (Andor) | Tekoäly                 |
| "machine learning"  | 312 275 (Andor) | Tekoäly                 |
| "skin cancer"   | 99 875 (Andor)  | Ihpsyöpä                |
| "artificial intelligence" diagn*<br>"skin cancer"                         | 1283 (Andor)    | Tekoäly diagnosoinnissa |
| "artificial intelligence" medicine<br>"skin cancer" classification        | 934 (Andor)     | Tekoäly diagnosoinnissa |
| indicator diagnostic (efficiency OR performance)<br>doctor* "skin cancer" | 305 (Andor)     | Diagnosoinnin tehokkuus |
| "efficiency definition" medicine  | 62 (Andor)      | Diagnosoinnin tehokkuus |
| ihpsyö* diagn*  | 53 (Medici)     | Ihpsyövän diagnosointi  |
| tekoäly lääkä* diagn*   | 4 (Medici)      | Tekoäly diagnosoinnissa |

Hakuihin asetettiin joitakin tarkastelukriteerejä Finkin (2019) mallin neljännen kohdan mukaisesti, kuten se, että aineisto on saatavilla verkossa ja että aineisto on englannin tai suomen kielellä. Lisäksi erityisesti tekoälyä koskevien aineistojen kohdalla tarkasteltiin myös julkaisupäivämäärää, sillä tekoälyyn liittyvät sovellukset kehittyvät tällä hetkellä nopeasti, minkä seurauksena aineiston tulisi olla mahdollisimman tuoretta. Hakutuloksia tarkasteltiin relevanssin mukaisessa järjestyksessä. Lisäksi Finkin (2019) mallin viidennen kohdan mukaisesti tarkasteltiin myös täyttyvätkö aineistossa metodologiset kriteerit eli esimerkiksi artikkeleiden kohdalla tarkasteltiin sitä, onko artikkeli vertaisarvioitu ja onko se julkaistu uskottavassa lähteessä.

Kuudennessa vaiheessa aloitettiin varsinaisen katselmuksen tekeminen eli aineiston läpikäyminen. Kuten taulukosta 2 voidaan nähdä, joidenkin hakulausekkeiden seurauksena hakutuloksia saatiin rajoitteista huolimatta huomattavan suuri määrä, minkä vuoksi jokaista hakutulosta ei ollut mahdollista käydä läpi. Tämän seurauksena läpikäytävän aineiston soveltuvuutta tutkimukseen arvioitiin sen otsikon sekä tiivistelmän perusteella. Jos otsikon ja tiivistelmän perusteella ilmeni, että aineisto on olennaista tutkimuksen kannalta, luettiin se läpi. Aineistoa lukiessa tarkasteltiin myös hyviksi havaittujen artikkeleiden tai kirjojen käyttämiä lähteitä ja luettiin niitä eteenpäin, jos otsikon ja tiivistelmän perusteella aineisto vaikutti hyödylliseltä.

Seitsemännen vaiheen mukaisesti lopuksi yhdisteltiin saadut tulokset ja tehtiin johtopäätökset aiheeseen liittyen. Tutkimuksessa pyrittiin hyödyntämään mahdollisimman monipuolisesti aineistoa, jotta eri näkökulmat aiheeseen liittyen tulisivat esille ja aiheesta saataisiin mahdollisimman kattava kokonaiskuva.

## 2.2 Tutkimusaineiston kuvaus

Pääasiallinen tutkimusaineisto koostui yhteensä 29 julkaisusta, joista suurin osa oli artikkeleita. Tutkimuksessa hyödynnettiin kuitenkin myös muutamaa e-kirjaa. Artikkelit olivat joko kirjallisuuskatsauksia tai empiirisiä tutkimuksia. Aineistoa etsittiin pelkästään sähköisistä tietokannoista, minkä seurauksena aineisto on kokonaan sähköistä. Koska tutkimuksen aihe liittyy olennaisesti lääketieteeseen, oli suurin osa artikkeleista julkaistu lääketieteellisissä lehdissä kuten *British Journal of Dermatology* sekä *European Journal of Cancer*.

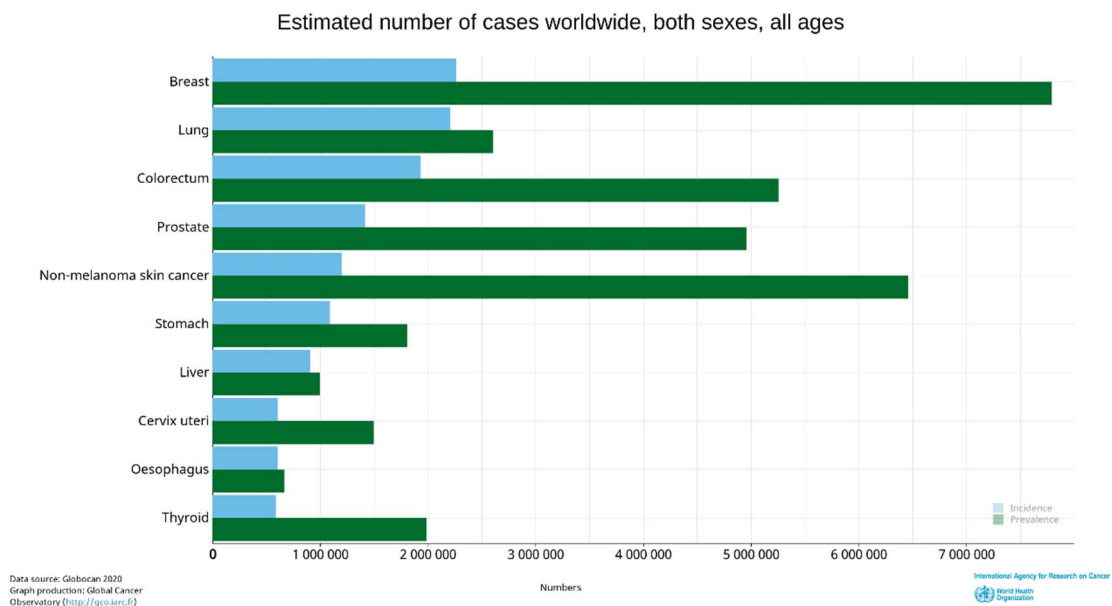
Eräs keskeisimmistä aineistoista tutkimuksessa oli Tschandlin et al. (2020) tutkimus, joka käsittelee lääkäreiden ja tekoälyn yhteistyötä ja sitä, miten tekoäly voisi toimia lääkäreiden apuvälineenä. Artikkelissa tutkitaan asiaa konkreettisesti eikä sitä pohdita pelkästään teoreettisesta näkökulmasta, minkä vuoksi se antaa suuntaa sille, miten tekoäly voisi toimia ihosyövän diagnosoinnissa realistisissa olosuhteissa. Lisäksi Du-Harpurin et al. (2020) artikkelissa esitetään eri skenaarioita siitä, miten tekoäly voisi mahdollisesti parantaa ihosyövän diagnosointia. Tämän avulla voitiin hahmottaa ihosyövän diagnosointiin liittyviä mahdollisia kehityssuuntia paremmin. Myös Yhdistyneen kuningaskunnan terveydenhuoltojärjestelmän (NHS 2019) kokoavaa tutkimusta tulevaisuuden terveydenhuollon digitaalisista apuvälineistä hyödynnettiin osittain lähteenä sille, miten terveydenhuolto tulee luultavasti tulevaisuudessa muuttumaan ja mitä seurauksia siitä saattaa olla. Tekoälyä sekä lääketiedettä yhdistävien aineistojen lisäksi tutkimuksessa tarkasteltiin julkaisuja, jotka käsitelivät kumpaakin aihetta erikseen, jotta voitiin määrittellä kummankin teoriatausta.

Liitteessä A on esitettyä tarkemmin tutkimuksen keskeisin aineisto jaoteltuna eri kategorioihin. Näitä kategorioita ovat ihosyöpä, tehokkuus terveydenhuollossa, tekoäly ja sen sovellukset, tekoälyn tuomat hyödyt diagnosoinnin tehokkuuteen, tekoälyn tulevaisuus terveydenhuollossa sekä tekoälyn aiheuttamat haasteet diagnosoinnissa. Jotkin julkaisut voivat liittyä useampaan kategoriaan, mutta ne on sijoitettu siihen, mitä julkaisu eniten vastaa.

## 3. IHOSYÖPÄ JA SEN DIAGNOSOINNIN TEHOKUUS

### 3.1 Ihosyöpä

Ihosyöpä on yksi yleisimmistä syövästä sekä Suomessa että muualla maailmassa ja sen määrä lisääntyy vuosittain. Esimerkiksi Suomessa ihosyöpien ilmaantuvuus on lähes 13 000 tapausta vuodessa, minkä seurauksena ihosyöpien osuus kaikista Suomessa ilmaantuvista syövästä on noin 40 %. (Pitkäniemi et al. 2018; GCO 2021) Kuvassa 2 vihreät pylväät kuvaavat syövän esiintyvyyttä eli sairaustapausten osuutta tietyssä väestössä tietyn ajanjaksona ja siniset pylväät ilmaantuvuutta eli uusien sairaustapausten määrää tietyssä väestössä tietyn ajanjaksona. Kuvasta 2 voidaan nähdä, että ihosyövät, pois lukien melanooma (engl. non-melanoma skin cancer), ovat ilmaantuvuudeltaan viidenneksi yleisempiä syöpätyyppejä maailmassa ja esiintyvyydeltään toiseksi yleisempiä. Jos tilastoissa olisi otettu myös melanoomatapaukset huomioon, olisivat ihosyöpien ilmaantuvuus sekä esiintyvyys todennäköisesti vieläkin korkeammalla.



**Kuva 2 Ihosyöpien ilmaantuvuus sekä esiintyvyys suhteessa muihin syöpiin (GCO 2021)**

Ihosyöpätyyppejä on useita, mutta yleisimpiä niistä ovat tyvisolusyöpä, okasolusyöpä sekä melanooma. Ihosyöpiä esiintyy tavallisesti enemmän valkoihoisella väestöllä, ja tyvisolusyöpä on ihosyövästä yleisin. Tyvisolusyöpä ilmaantuu yleensä pään tai kaulan alueille, kuten myös okasolusyöpä, jota esiintyy ihosyöpätyypeistä toiseksi eniten. Kolman-

neksi yleisin ihosyöpätyyppi on melanooma, jonka ilmaantuvuus maailmassa kasvaa nopeammin kuin minkään muun syövän. Sitä esiintyy tavallisesti vaaleaihoisilla raajojen, kasvojen sekä selän alueilla. (Agnew et al. 2005, ss. 7–15)

Edellä esitetyt ihosyövät syntyvät yleisesti ultraviolettisäteilylle eli UV-säteilylle altistumisen seurauksena, sillä säteily saa aikaan DNA:n vaurioitumisen ja tämän seurauksena syövän kehittymisen, jos keho ei pysty korjaamaan vauriota. Koska ihosyöpien syntymistä edesauttaa huomattavasti UV-säteilylle altistuminen, kasvaa sairastumisen todennäköisyys sitä mukaa, mitä enemmän henkilö altistuu auringonvalolle tai keinotekoiselle UV-säteilylle esimerkiksi solariumin kautta. UV-säteilylle altistumisen lisäksi myös vaalea iho sekä vaaleat hiukset sisältävät suuremman riskin sairastua ihosyöpään. Vaikka suurin riskitekijä ihosyöpään sairastumisessa on UV-säteily, voivat myös jotkin perintötekijät sekä sairaudet lisätä todennäköisyyttä sairastua ihosyöpään. Lisäksi, koska melanooma syntyy usein luomista, voi luomien suuri määrä tai epätyypilliset luomet lisätä riskiä sairastua melanoomaan. (Agnew et al. 2005, ss. 7–15)

### **3.2 Ihosyövän diagnosointi**

Ihosyövän diagnosoimisen ensimmäinen vaihe on se, että potilas huomaa epäilyttävän muutoksen ihollaan ja hakeutuu lääkärin vastaanotolle (Tays 2020). Tampereen yliopistollisen sairaalan eli Taysin (2020) ohjeiden mukaisesti potilaan tulisi ottaa lääkäriin yhteyttä, jos huomaa ihokasvaimen vuotavan verta, muuttuvan, kasvavan tai kutiavan, kasvaimen ympäristön tulehtuvan tai uuden ihomuutoksen ilmaantuvan terveelle iholle. Ihmisillä esiintyy luonnostaan erilaisia luomia, syyliä ja hyvänlaatuisia ihokasvaimia, joten kaikki ihomuutokset eivät ole pahanlaatuisia kasvaimia (Tays 2020).

Ihosyövän diagnosointi tehdään useimmiten visuaalisesti, jolloin diagnosoinnin aluksi lääkäri tarkastelee ihoa paljaalla silmällä (Marzuka & Book 2015). Tämän jälkeen voidaan tehdä tarkempi, dermatoskopinen analyysi. Analyysi tehdään dermatoskoopin avulla, joka on suurentavaa optiikkaa sekä valoa hyödyntävä laite. Dermatoskoopin avulla voidaan havaita ihon rakenteita yksityiskohtaisemmin sekä nähdä ihon pintakerrosta syvemmälle, mikä mahdollistaa tarkemman analyysin. (Saarinen 2017)

Tyvisolusyöpä voidaan paljaalla silmällä tunnistaa muun muassa nystyröistä sekä mahdollisista haavaumista, jotka ovat ensimmäinen asia, joihin sen diagnosoinnissa kiinnitetään huomiota (Marzuka & Book 2015). Okasolusyöpä taas voidaan usein tunnistaa läiskästä tai nystyrästä, joka laajenee ajan kuluessa ja mahdollisesti myös haavautuu (Stratigos et al. 2015). Melanooman osalta epäilyttävien ihomuutoksien tai luomien tarkastelussa ja analyysissä hyödynnetään yleisesti VARO-sääntöä, joka tulee sanoista väri,

alue, reuna sekä osat. Muistisääntö ohjaa tarkastelemaan, onko ihoalueen väri epätasainen ja vaihteleva, onko sen alue kooltaan yli 6 mm, onko sen reuna epätarkkarajainen tai onko se osiltaan epäsäännöllisen muotoinen. Ihosyöpien tarkastelussa dermatoskoopin avulla kiinnitetään sen sijaan huomiota muun muassa ihon pintakerroksen alla oleviin rakenteettomiin alueisiin, verkkomaisiin juosteisiin sekä harmaan tai sinisen värisiin rakenteisiin. (Saarinen 2017)

Jos ihoalue tunnistetaan ihosyöpää muistuttavaksi, on seuraava vaihe koepalan ottaminen kyseiseltä alueelta, sillä ihosyöpä tulisi aina varmistaa koepalaa tutkimalla. Koepalasta tehdään näytteenoton jälkeen histopatologinen tutkimus, jossa mikroskoopin avulla tarkastellaan koepalan kudosten yhteyttä ihosyöpään. (Stratigos et al. 2015) Jos koepalasta tehdyn tutkimuksen perusteella ihoalue tunnistetaan ihosyöväksi, tehdään hoitosuunnitelma jatkotoimenpiteistä muun muassa syöpätyypin sekä syövän etenemisen perusteella. Yleisimmin hoitona käytetään syöpäsolujen tuhoamista jäädyttämisen tai valolle herkistävän lääkeaineen avulla, mutta joidenkin syöpien kohdalla toimenpiteenä on leikkaaminen. (Tays 2020)

### 3.3 Ihosyövän diagnosoinnin tehokkuus

Tässä alaluvussa käsitellään erityisesti ihosyövän diagnosoinnin tehokkuutta ja asioita, jotka siihen vaikuttavat. Kuitenkin, jotta tehokkuutta voidaan käsitellä tarkemmin, tulee se määritellä ensin yleisellä tasolla. Lodge (1991) määrittelee artikkelissaan tehokkuuden tarkoittavan sitä, kuinka aikaansaavasti tiettyyn tehtävään liittyvät tuottavat työtunnit käytetään. Tehokkuudella tarkoitetaan siis sitä, kuinka kauan tietyn tehtävän suorittamiseen käytetään aikaa suhteessa keskimääräisesti siihen käytettävään aikaan. Esimerkiksi, jos lääkäri tarkastelee kuvaa sairaudesta 24 minuuttia ja keskimääräinen aika kuvan tarkasteluun on yleisesti 8 minuuttia, on lääkärin tehokkuus kolmasosan keskimääräisen lääkärin tehokkuudesta. Tämän lisäksi tehokkuutta voidaan tarkastella myös siten, että kasvaneen tehokkuuden seurauksena sama palvelu voidaan tarjota aikaisempaa alhaisemmalla hinnalla, sillä samaan tehtävään käytetään vähemmän aikaa. (Lodge 1991)

Tehokkuus terveydenhuollossa on moniulotteinen käsite, sillä siihen vaikuttaa moni asia. Sitä voidaan mitata eri tavoin, mutta on haastavaa valita näkökulma tehokkuuden tarkasteluun. Esimerkiksi pelkkien kustannusten tarkastelu ei välttämättä ota huomioon hoidon laatua, joka on yksi olennainen asia terveydenhuollossa. (Collier 2010) Kuitenkin tehokkuutta ihosyöpien ja erityisesti melanooman diagnosoinnissa voidaan mitata esimerkiksi indikaattorilla, joka ottaa huomioon, kuinka monta hyvänlaatuista ihomuutosta poistetaan suhteessa diagnosoituihin melanoomatapauksiin eli kuinka tarkkoja tehdyt

diagnoosit ovat (engl. number of needed to treat, NNT) (Wilkinson et al. 2006). Ihosairauksiin erikoistuneiden lääkäreiden NNT-luku on tavallisesti matalampi kuin yleislääkäreiden, mikä tarkoittaa, että erikoislääkärit poistavat vähemmän hyvänlaatuisia kasvaimia kuin yleislääkärit (Sidhu et al. 2011). Tämä on kuitenkin osittain maasta riippuvaista, sillä Youlin et al. (2007) mukaan Australiassa yleislääkäreiden sekä iholääkäreiden diagnosoinnin tarkkuus on lähes sama. Tälle osasyynä saattaa olla se, että Australiassa ihosyöpien esiintyvyys on suurempaa kuin muualla maailmassa, minkä seurauksena yleislääkäreillä on enemmän kokemusta ihosyöpien diagnosoinnista ja tämän seurauksena heidän kykynsä diagnosoida ihosyöpää on myös parempi (Youl et al. 2007). Kokemuksen lisäksi lääkärin NNT-lukuun vaikuttavat muun muassa lääkärin diagnostiset taidot sekä varmuus omasta diagnoosista (Sidhu et al. 2011).

Tehokkuutta ihosyöpien ja erityisesti melanooman diagnosoinnissa voidaan tarkastella myös läpimenoaikojen kautta. Voidaan esimerkiksi tarkastella sitä, miten kauan aikaa kuluu ensimmäisen potilaskäynnin ja lopullisen diagnoosin välillä. (Wikstrom et al. 2018) Melanooma on nopeasti kasvava kasvain, minkä seurauksena pitkät viiveet diagnosoinnissa voivat johtaa syövän etenemiseen. Viiveet ovat usein seurausta ihosyöpiin erikoistumattomien lääkäreiden tekemistä vääristä diagnooseista, jolloin yksi tehokkuutta laskeva tekijä myös tässä tapauksessa on lääkäreiden kokemuksen puute ihosyöivistä. (Metzger et al. 1998) Wikstromin et al. (2018) mukaan läpimenoaikoja voitaisiin lyhentää nykyisestä tehokkaamman järjestelmän avulla. Tällainen järjestelmä voitaisiin saavuttaa esimerkiksi tekoälyn mahdollistaman nopeamman ja tarkemman diagnosoinnin kautta (NHS 2019).

Ihosyövän diagnosoinnin tehostamisen seurauksena voidaan vähentää tarpeettomia toimenpiteitä, tehdä diagnosoinnista nopeampaa sekä säästää kustannuksia. Tämän lisäksi tehostamisen seurauksena lääkäreille voi jäädä enemmän aikaa keskittyä muihin tehtäviin kuten jatkotoimenpiteiden arvioimiseen rutiininomaisen diagnosoinnin sijaan. Tehostamisen vaikutukset eivät koske pelkästään rahallisia ja ajallisia säästöjä vaan sen avulla voidaan mahdollistaa parempi hoidon laatu sekä saatavuus, jotka ovat myös olennaisia osa-alueita terveydenhuollossa. (NHS 2019)

## 4. TEKOÄLY JA SEN HYÖDYNTÄMINEN DIAGNOSSOINNISSA

### 4.1 Tekoäly

Tekoälyä pidetään yhtenä tämän hetken mielenkiintoisimmista ja lupaavimmista teknologioista ja se on mahdollistanut useita uusia sovelluksia kuten itsestään ajavat autot, virtuaaliset avustajat sekä sairauksien hoitamisessa auttavat mobiiliapplikaatiot. Tekoäly on teknologia, joka on ollut olemassa jo 1930-luvulta asti, mutta kiinnostus sitä kohtaan on noussut datan saavutettavuuden, sen suuren määrän sekä alhaisempien tietojenkäsittelykustannusten myötä. Dataa kerätään muun muassa mobiililaitteiden sekä puettavien älylaitteiden kautta ja sen avulla voidaan opettaa ja kehittää älykkäitä järjestelmiä kuten tekoälyä. Datan määrä on suoraan yhteydessä järjestelmän oppimiseen ja tämän seurauksena myös järjestelmän tuottamien tuloksien tarkkuuteen. (Panesar 2019)

Tekoälyä on hankala määritellä tarkasti, sillä se pitää sisällään useita eri sovelluksia ja siihen vaikuttaa moni eri osa-alue. Tekoälyn ominaisuudet riippuvat pitkälti siitä, missä yhteydessä sitä käytetään, sillä esimerkiksi tekoälyn soveltaminen itsestään ajavissa kuluneuvoissa on erilaista kuin shakin pelaamisessa. (Russell & Norvig 2016, ss. 28–29) Tekoäly ei siis varsinaisesti ole olemassa yksinään vaan siihen vaikuttavat alat, joissa sitä sovelletaan. Kuitenkin Panesar (2019) määrittelee tekoälyn yleisesti olevan ominaisuus koneella, minkä ansiosta sen voidaan ajatella toimivan ihmisen kaltaisesti. Tällaisiksi ominaisuuksiksi voitaisiin luokitella esimerkiksi kyky oppia, ennakoida sekä kommunikoida (Panesar 2019).

Yksi tekoälyn alalajeista on koneoppiminen, jonka tavoitteena on jäljitellä ihmisen kykyä oppia kokemuksista. Kone kerää kokemusta toistamalla tiettyjä tehtäviä, jonka jälkeen se voi parantaa suorituskykyään tekemällä samankaltaisia tehtäviä uudelleen tulevaisuudessa. Koneoppiminen on datalähtöistä eli koneoppimisen algoritmit voivat oppia niille syötetystä, valmiiksi luokitellusta datasta ja tämän seurauksena esimerkiksi luokitella sille syötettyjä uusia kuvia eri kategorioihin. Tällaisen teknologian avulla on mahdollista tunnistaa esimerkiksi, onko kuvassa oleva kasvain hyvän- vai pahanlaatuinen. Kuitenkin on olennaista huomata, että koneoppimisen tuottamat tulokset ovat vain niin todennukaisia kuin sille syötetty data on. Sen vuoksi onkin tärkeää, että konetta harjoittava data on laadullisesti hyvää. (Chandramouli et al. 2018)

Kuten tekoälyllä, myös koneoppimisella on useampia sovelluksia, mutta niistä yksi olennaisimmista on neuroverkot (engl. neural networks) (Erickson et al. 2017). Neuroverkot

jäljittelevät ihmisen hermosolujen eli neuroneiden toimintaa, mistä neuroverkkojen nimiinkin muodostuu (Chandramouli et al. 2018). Neuroverkoista erityisesti konvoluutioneuroverkot (engl. convolutional neural networks, CNNs) ovat yleisesti hyödynnettyjä kuvantunnistuksessa, sillä niiden on huomattu suoriutuvan erityisen hyvin visuaaliseen tunnistamiseen liittyvistä tehtävistä (Yu et al. 2017).

## 4.2 Tekoälyn hyödyntäminen ihosyövän diagnosoinnissa

Tutkimusta tekoälyn hyödyntämisestä syövän tunnistamisessa on tehty suhteellisen paljon, ja tästä on saatu lupaavia tuloksia. On esimerkiksi tehty vertailevia tutkimuksia ihmislääkäreiden sekä tekoälyn välillä ja saatu tuloksena, että tekoäly erottelee ihosyöpiä kuvan perusteella tarkemmin ja paremmin kuin suurin osa lääkäreistä (Esteva et al. 2017; Brinker et al. 2019; Tschandl et al. 2019). Brinker et al. (2019) huomauttavat tutkimuksessaan, että tutkimusolosuhteet vääristävät todellisuutta hieman, sillä lääkärit saavat usein enemmän irti potilaskäynnistä kokonaisuudessaan verrattuna pelkästään kuvasta diagnosoimiseen. Kuitenkin tulokset viittaavat siihen, että tekoälyn avulla on mahdollista saavuttaa lääkäreiden diagnosoinnin kanssa verrattavissa oleva tarkkuus ihosyövän tunnistuksessa (Brinker et al. 2019).

Vaikka suurin osa tutkimuksista on tehty vertailevina koneiden ja ihmislääkäreiden välillä, on myös tehty tutkimuksia, jotka tarkastelevat tekoälyn ja ihmisen yhteistyötä. Näissä tutkimuksissa on huomattu, että vaikka tekoäly on usein tarkempi diagnosoimaan ihosyöpiä, on lääkärin ja tekoälyn yhteistyö vielä tarkempaa kuin kummankaan diagnosointi yksinään (Hekler et al. 2019; Tschandl et al. 2020). Tschandlin et al. (2020) mukaan tällaisesta tekoälyn sekä ihmisen yhteistyöstä hyötyisivät eniten kokemattomat lääkärit, jotka eivät välttämättä ole yhtä varmoja diagnosoistaan kuin kokeneet lääkärit. Tekoäly voisi toimia kokemattomampien lääkäreiden apuvälineenä päätöksenteossa. Kuitenkin, jos lääkärillä on suuri varmuus omasta diagnosoistaan, ei hänen mahdollisesti kannattaisi ottaa tekoälyn tuottamia tuloksia ollenkaan huomioon. (Tschandl et al. 2020) Lääkäri ja tekoäly voisivat toimia ikään kuin tiiminä ja siten hyödyntää kummankin osapuolen parhaita ominaisuuksia. Tämän vuoksi olisi olennaista, että huomio tekoälyn ja ihmisten vertailusta toisiinsa siirrettäisiin tekoälyn ja ihmisen yhteistyön hyötyjen tarkastelemiseen (Tschandl et al. 2020).

## 4.3 Tekoälyn sovellukset ihosyövän diagnosoinnissa

Tekoälyn sovelluksista koneoppiminen on yleisin ihosyövän diagnosoinnissa, sillä sen avulla voidaan tunnistaa erilaisia kuvioita sekä malleja mahdollistaen sen soveltamisen lääketieteellisiin kuviin. Koneoppimisen keinoin voidaan muun muassa luokitella kuvia



eri kategorioihin ja siten tunnistaa esimerkiksi onko kyseinen ihokasvain hyvän- vai pahanlaatuinen. (Erickson et al. 2017) Ihosyövän diagnosointi on pitkälti visuaalinen prosessi, minkä seurauksena koneoppiminen sekä kuvantunnistus soveltuvat siihen hyvin (Reiter et al. 2019).

Koneoppimisen sovelluksia, joita voitaisiin hyödyntää ihosyöpien tunnistamisessa, on monia, mutta suurin osa nykyisistä ihosyövän diagnosoinnin tutkimuksista hyödyntää konvoluutioneuroverkkoja (Erickson et al. 2017; Reiter et al. 2019). Reiterin et al. (2019) mukaan konvoluutioneuroverkot ovat erityisen tehokkaita kuvien luokittelemisessa, minkä vuoksi ne soveltuvat hyvin ihosyöpien tunnistamiseen kuvien perusteella. Konvoluutioneuroverkkojen hyöty diagnosoinnin näkökulmasta on se, ettei niille tarvitse etukäteen määritellä piirteitä eli esimerkiksi ihosyövän oireita, joita tarkastellaan vaan algoritmi tunnistaa tärkeimmät piirteet prosessin edetessä. Näin vältetään virheitä, jotka saattavat aiheutua siitä, että tarkastellaan vain ominaisuuksia, jotka ihminen kokee tärkeiksi. (Erickson et al. 2017) Koska konvoluutioneuroverkot hyödyntävät diagnosoinnissaan eri tapoja kuin ihmislääkärit, voivat tekoäly ja lääkäri täydentää toisiaan ja siten saavuttaa yhdessä paremman diagnosoinnin tarkkuuden kuin erikseen (Brinker et al. 2019). Tekoäly ei välttämättä hyödynnä analysoinnissa alaluvussa 3.2 esiteltyjä kriteerejä ihosyövän tunnistamiseksi. Tämä voi kuitenkin olla hyvä asia, sillä siten tekoäly ja lääkäri tarkastelevat ihomuutosta eri näkökulmista, jolloin useampi yksityiskohta tulee mahdollisesti huomioitua.

## 5. TEKOÄLYN HYÖDYNTÄMINEN IHOSYÖVÄN DIAGNOSOINNIN TEHOSTAMISESSA

### 5.1 Ihosyövän diagnosoinnin tehostaminen tekoälyn avulla ja siitä saavutettavat hyödyt

Tekoälyn avulla on mahdollista tehostaa lääkäreiden työtä useilla tavoilla (Topol 2019), mutta erityisesti tarkastellaan sitä, miten tekoäly voi tehostaa ihosyöprien diagnosointia ja mitä hyötyjä tehostamisen seurauksena voidaan saavuttaa. Koska tekoälyn käyttäminen ihmislääkäreiden apuvälineenä kasvattaa diagnosoinnin tarkkuutta huomattavasti, voisi tekoäly toimia avustajana diagnoosien tekemisessä (Tschandl et al. 2020). Monet ihosyöivistä ovat sellaisia, joita erikoistumattomien lääkäreiden on haastava tunnistaa, joten tekoäly voisi toimia ikään kuin ihosyöpiin erikoistuneena konsulttina. (Du-Harpur et al. 2020) Jos tekoäly toimisi konsulttina oikean iholääkärin sijaan, voitaisiin ainakin osittain säästää erikoistuneiden lääkäreiden aikaa vaativampiin tehtäviin. Tällöin rajalliset resurssit voitaisiin kohdistaa tehokkaammin ja samalla säilyttää diagnosoinnin tarkkuus tai jopa parantaa sitä. (Tschandl et al. 2020)

Nousseen tarkkuuden seurauksena esimerkiksi turhien koepalojen ottaminen sekä hyvänlaatuisten ihosyöpäkasvainten poistojen tekeminen voisi vähentyä, kun tekoäly toimisi toisena mielipiteenä (Tschandl et al. 2020). Tämän seurauksena voitaisiin alentaa erikoistumattomien lääkäreiden NNT-lukua ilman, että heidän tarvitsee kouluttautua pidemmälle ihosyövän tunnistamisessa, sillä tekoäly voisi tuoda diagnosointiin mukaan erikoistuneen lääkärin näkemyksen (Gilmore 2018). Tarpeettomien toimenpiteiden vähenemisen seurauksena tekoälyllä voitaisiin myös alentaa ihosyövästä koituvien kustannusten määrää, mikä tarkoittaisi, että alhaisemmilla kustannuksilla voitaisiin saada parempaa ja tarkempaa hoitoa (Tschandl et al. 2020).

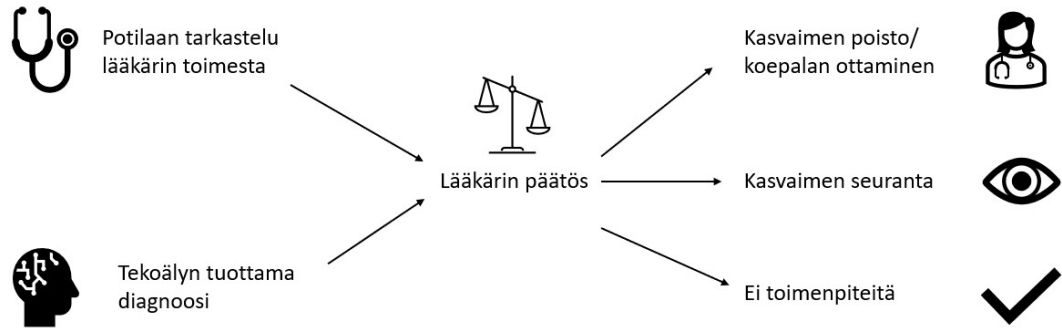
Automaattinen kuvien tarkastelu tekoälyn avulla voi lisäksi johtaa nopeampaan diagnosointiin (NHS 2019), mistä edelleen voisi seurata lyhyemmät läpimenoajat. On arvioitu, että tekoälyn avulla voitaisiin käydä läpi jopa 260 miljoonaa kuvaa vuorokaudessa (Beam et al. 2016), mikä on huomattavasti enemmän kuin mihin ihminen on kykeneväinen. Tämän seurauksena kapasiteetti, jolla lääketieteellisiä kuvia voitaisiin tarkastella, kasvaisi huomattavasti ja lisäksi voitaisiin säästää diagnosoinnista aiheutuvia kustannuksia (Topol 2019). Toisaalta, jos diagnosointi tekoälyn avulla nopeutuisi, voisivat lääkärit käyttää enemmän aikaa esimerkiksi potilaan huolenaiheiden kuuntelemiseen ja näin mahdoli-

sesti helpottaa potilaan oloa ihosyöpädiagnoosin osalta. Näin samassa vastaanottoajassa voitaisiin saavuttaa enemmän, sillä pelkän diagnosoinnin sijaan voitaisiin tehdä sekä diagnosointi että kuunnella potilaiden huolenaiheita tarkemmin.

Diagnoosinnin tehokkuus sekä hoidon laatu ovat osittain riippuvaisia myös lääkäreiden työolosuhteista, sillä esimerkiksi Westin et al. (2006) tutkimuksen mukaan muun muassa lääkäreiden kokema ahdistus sekä burnoutit voivat kasvattaa lääkäreiden tekemien virheiden määrää. Yksi ratkaisu lääkäreiden työolosuhteiden parantamiseen sekä tämän seurauksena tehokkuuden nousuun voisi olla tekoälyn hyödyntäminen apuvälineenä (Mesko et al. 2018). Lisääntyneen kommunikaation ja kiireellisen aikataulun tuoman paineen vähentämisen on huomattu vähentävän lääkäreiden burnoutia ja ahdistusta (Linzer et al. 2015). Sekä kommunikaatioon että kiireelliseen aikatauluun voitaisiin vaikuttaa tekoälyn keinoin, sillä tekoälyn avulla voitaisiin nopeuttaa diagnoosien tekemistä, jolloin lääkärille jäisi enemmän aikaa muun muassa potilaan kanssa vuorovaikuttamiseen sekä muihin tehtäviin (Mesko et al. 2018; NSH 2019). Jos tekoälyn avulla voitaisiin tehdä lääkäreiden työolosuhteista vähemmän stressaavia, voisi samalla diagnosoinnin tehokkuus virheellisten diagnoosien vähentyneen määrän seurauksena kasvaa sekä hoidon laatu parantua.

## **5.2 Tekoäly osana ihosyövän diagnosointia**

Tekoäly voisi toimia tulevaisuudessa lääkärin avustajana ihosyövän diagnosoinnissa ikään kuin toisena tarkastelijana oikean lääkärin rinnalla (Du-Harpur et al. 2020; Tschandl et al. 2020). Prosessi voisi edetä siten, että ihomuutoksen huomattuaan potilas hakeutuisi lääkärin vastaanotolle, jossa tarkastettaisiin potilaan ihomuutos. Lääkäri tekisi ihosyövän diagnosoinnin samalla tavalla kuin tähän asti, mutta lisäksi hän voisi ottaa ihomuutoksesta kuvan ja analysoida sen tekoälyn avulla. Tämän jälkeen lääkäri voisi tehdä oman diagnoosinsa sekä tekoälyn tuottaman tuloksen avulla päätöksen siitä, tulisiko potilaalle tehdä jatkotoimenpiteitä. Wadan et al. (2020) mukaan tämänkaltainen tekoälyn käyttöönotto ihosyövän diagnosointiin voisi olla ensimmäinen tapa tekoälyn hyödyntämiseen diagnosoinnin apuvälineenä, sillä käyttöönoton seurauksena terveydenhuollon työnkulku ei muuttuisi merkittävästi. Tällöin myös sen sopeuttaminen osaksi prosessia voisi olla sujuvampaa (Wada et al. 2020). Tekoälyn liittymistä ihosyövän tunnistusprosessiin on kuvattu Du-Harpurin et al. (2020) sekä Tschandlin et al. (2020) artikkeleiden pohjalta mukailussa kuvassa 3.



**Kuva 3 Tekoälyn osuus ihosyövän diagnosoinnissa (mukailen Du-Harpur et al. 2020; Tschandl et al. 2020)**

Tekoälyn sijoittaminen ihosyövän diagnosointiprosessiin ei ole kuitenkaan täysin yksiselitteistä. Jandan ja Soyerin (2019) mukaan se, että tekoäly toimii prosessissa diagnoosijana ennen lääkärinä, voi johtaa eri tuloksiin kuin se, että tekoäly toimisi prosessissa ikään kuin toisena tarkastelijan lääkärin diagnosoinnin jälkeen. Tekoälyn toimiminen prosessissa ennen lääkärinä voisi mahdollistaa eräänlaisen tarkastelusysteemin, joka voisi vähentää diagnosointiaikaa. Tämän seurauksena voitaisiin tarkastella useampia potilaita päivän aikana. Lisäksi tekoäly voisi korostaa huolestuttavia ihomuutoksia, jolloin ne eivät jäisi lääkäriltä huomioimatta. Kuitenkin tekoälyn toimimisesta ennen lääkärinä voisi seurata lääkäreiden kliinisen ajattelun väheneminen, liiallinen luottamus tekoälyä kohtaan sekä haasteet terveydenhuollon sääntelyn kanssa. Toisaalta, jos tekoäly toimisi diagnosoinnissa lääkärin tekemän tarkastelun jälkeen, voitaisiin se helpommin sopeuttaa terveydenhuollon tämänhetkiseen työnkulkuun, jolloin sääntelyn aiheuttamia haasteita ei olisi yhtä paljon. Lisäksi voitaisiin saavuttaa parempi diagnosoinnin tarkkuus sekä automatisoitu toinen mielipide, joka voisi säästää muiden lääkäreiden aikaa. Haasteena tässä saattaisi olla se, ettei vastaanottoaika välttämättä lyhenisi tai se voisi jopa pidentyä. (Janda & Soyer 2019) Ei siis ole täysin selvää tulisiko tekoäly sijoittaa prosessissa ennen lääkärin tarkastelua vai sen jälkeen. Jotta optimaalinen paikka tekoälylle diagnosointiprosessissa voitaisiin löytää, tulisi tutkimusta aiheeseen liittyen tehdä enemmän.

Riippumatta tekoälyn sijoittumisesta diagnosointiprosessissa, tekoäly ei tulisi korvaamaan ihmistä ihosyövän tunnistamisessa vaan ennemminkin avustamaan kokemattomampia lääkäreitä säästämällä erikoistuneiden lääkäreiden aikaa vaativampiin tehtäviin. Tämän seurauksena myös pula erikoistuneista iholääkäreistä voisi lieventyä, sillä resursseja voitaisiin kohdistaa muihin tehtäviin tehokkaammin. (Du-Harpur et al. 2020)

### 5.3 Tekoälyn aiheuttamat haasteet ihosyövän diagnosoinnissa

On olemassa useita haasteita, joita tekoälyn lääketieteellisen hyödyntämisen seurauksena voi koitua (Reiter et al. 2019). Tässä aluvuossa tarkastellaan kuitenkin vain sellaisia haasteita tai riskejä, jotka liittyvät tekoälyn hyödyntämiseen ihosyövän diagnosoimisessa. Yksi mahdollinen haaste on lääkäreiden yliriippuvaisuus tekoälystä (Tschandl et al. 2020). Tschandlin et al. (2020) tekemän tutkimuksen mukaan tekoäly voi aiheuttaa lääkäreiden alisuorittamista, mikäli tekoäly tuottaa usein virheellisiä tuloksia. Jos lääkärit luottavat diagnosoinnissa tekoälyyn liikaa, voi seurauksena diagnosoinnin tarkkuus laskea verrattuna siihen, miten lääkärit suoriutuvat yleensä ilman tekoälyn avustusta (Tschandl et al. 2020). Käytettävät tekoälyn sovellukset tulisi testata siten, ettei suuria virheitä diagnosoinnissa aiheutuisi eikä diagnosoinnin tarkkuus laskisi.

Koneoppimisen algoritmit saattavat myös johtaa siihen, että elementit, joita on hankalampi sisällyttää lääketieteellisiin tilastoihin tai kuvailla datassa, jäävät huomioimatta, sillä algoritmeihin ei välttämättä voida sisällyttää tällaisia (Cabitza et al. 2017). Koneoppimisen algoritmin avulla on esimerkiksi tutkittu kuolleisuuden riskiä potilailla, joilla oli keuhkokuume sekä potilailla, joilla oli keuhkokuume ja historiaa astmasta. Algoritmin mukaan potilailla, joilla oli sekä keuhkokuume että astma, oli pienempi kuolleisuuden todennäköisyys kuin potilailla, joilla oli pelkästään keuhkokuume. Tämä ei kuitenkaan ole intuitiivisesti loogista. Syynä ristiriitaiseen tulokseen oli se, että astmasta sekä keuhkokuumeesta kärsineet potilaat laitettiin tehohoitoon, minkä seurauksena heidän kuolleisuutensa todennäköisyys laski pienemmäksi kuin potilailla, joilla oli pelkkä keuhkokuume. (Cooper et al. 1997) Jos lääkärit luottavat liikaa tekoälyn sovelluksiin eivätkä tiedosta edellä kuvatun tapaisia virheellisiä tulkintoja, voi seurauksena olla epätoivottuja tuloksia (Cabitza et al. 2017). Terveystieteiden henkilökunnan tulisi ymmärtää tekoälyn toiminnan pääpiireet ja heitä tulisi kouluttaa tekoälyn käyttöön, mikä voisi auttaa tekoälyn kriittisessä arvioinnissa sekä tulkinnassa (NHS 2019). Tämän avulla voitaisiin osittain välttää sokeaa luottamista tekoälyyn ja sen seurauksena mahdollisesti aiheutuvia haittoja.

Liiallinen luottamus ja nojautuminen tekoälyä kohtaan voivat myös alentaa lääkäreiden taitoja, sillä automatisoidun prosessin seurauksena lääkäri ei välttämättä kiinnitä eri asioihin riittävästi huomiota (Cabitza et al. 2017). Taitojen aleneminen voi näkyä esimerkiksi lääkäreiden kliinisen tietämyksen laskuna sekä mahdollisuutena, että lääkärit soveltavat herkemmin yleisiä malleja eri tilanteisiin (Hoff 2011). Mahdollisia lääkäreiden taitoja alentavia vaikutuksia tulisi kuitenkin tutkia tekoälyn kohdalla enemmän, sillä siitä ei ole vielä olemassa paljoa tutkimusta.

Vaikka tekoälyn ei ole tarkoitus korvata ihmistä ihosyövän diagnosoinnissa, on kuitenkin mahdollista, että näin voisi käydä (Obermeyer & Emanuel 2016). Tällaisen tilanteen seurauksena potilaan sekä lääkärin välinen vuorovaikutus voi vähentyä, jolloin potilaan kokemus vastaanottokäynnistä voi olla huonompi kuin aikaisemmin. Nelsonin et al. (2020) mukaan potilaat arvostavat lääkärikäynneissä verbaalista ja non-verbaalista viestintää sekä tunteita, joita ihminen luonnostaan tuottaa, mutta, joita kone ei voi samalla tavalla suorittaa. Kone ei myöskään havainnoi esimerkiksi potilaan huolestumista, minkä seurauksena se ei kykene rauhoittelemaan huolestunutta henkilöä. Nämä asiat voivat vaikuttaa negatiivisesti potilaan kokemukseen hoidosta. (Nelson et al. 2020) Tekoälyn käyttöönottamista ja lääkäreiden tehokkuuden nostamista ei tulisi tarkastella pelkästään esimerkiksi kustannussäästöjen kannalta vaan kokonaisvaltaisesti, jolloin otetaan huomioon myös potilaiden tarpeet. Potilaat tulisi ottaa mukaan jo tekoälyn sovellusten kehittämisprosessiin, jotta voitaisiin varmistaa saavutettava hyöty potilaiden näkökulmasta (NHS 2019).

## 6. JOHTOPÄÄTÖKSET

### 6.1 Tutkimuksen tulokset

Tutkimuksen tavoitteena oli tarkastella, miten tekoälyn avulla voitaisiin potentiaalisesti tehostaa ihosyövän diagnosointia ja mitä mahdollisia vaikutuksia tehostamisella saattaisi olla. Tuloksena saatiin, että on useampia tapoja, joiden kautta tekoäly voisi tehostaa ihosyövän diagnosointia. Yksi olennaisimmista löydöistä tutkimuksessa oli se, että tekoälyn sekä ihmisen yhteistyön avulla voitaisiin saavuttaa diagnostinen tarkkuus, joka on korkeampi kuin kummallakaan erikseen. Paremman tarkkuuden seurauksena tekoälyä voitaisiin hyödyntää ikään kuin konsulttina erityisesti kokemattomampien lääkäreiden tukena, jolloin erikoistuneiden lääkäreiden aikaa voitaisiin säästää vaativampiin tehtäviin ja samalla esimerkiksi yleislääkäreiden diagnosoinnin tarkkuutta voitaisiin nostaa. Lisäksi kasvaneen tarkkuuden avulla voitaisiin vähentää turhien koepalojen ottamista sekä hyvänlaatuisten kasvainten poistoja, mikä osaltaan voisi myös alentaa kustannuksia. Toisaalta tekoälyn avulla voitaisiin myös nopeuttaa ihosyöprien diagnosointia ja tämän seurauksena lyhentää läpimenoaikoja, jolloin lääkäreille jäisi enemmän aikaa keskittyä muihin tehtäviin. Näin lääkärin tyytyväisyys työhönsä voisi kasvaa, joka voisi edelleen johtaa kasvaneeseen tehokkuuteen sekä parempaan hoidon laatuun.

Vaikka tehokkuuteen ei suoranaisesti sisällykään hoidon laatu, on tehokkuuden kasvulla myös mahdollisia vaikutuksia hoidon laatuun. Esimerkiksi tekoälyn tarjoaman tarkemman diagnosoinnin seurauksena ei vääriä diagnooseja tehtäisi niin paljon, jolloin potilaille ei aiheutuisi turhaa huolta. Kun vääriä diagnooseja ei olisi niin paljon, ei myöskään turhia koepaloja tai kasvainten poistoja tehtäisi niin usein, jolloin potilas ei joutuisi kokemaan ylimääräisiä toimenpiteitä. Lisäksi lääkäreillä voisi tekoälyn ansiosta olla enemmän aikaa keskittyä potilaaseen, jolloin potilas voisi esittää esimerkiksi huoliaan lääkärille. Vaikka tutkimuksessa keskitytään lääkäreiden ja tehokkuuden näkökulmaan, on sillä vaikutuksia myös potilaiden hoitoon.

Tekoäly voisi tulevaisuudessa toimia lääkäreiden apuvälineenä ihosyövän diagnosoinnissa, minkä vuoksi se sijoittuisi diagnosointiprosessin alkuvaiheeseen. Diagnosointi toimisi lähes samalla tavalla kuin se on tähänkin asti toiminut, ottaen kuitenkin huomioon tekoälyn tuottaman arvion ihomuutoksesta. Lääkäri voisi oman arvionsa sekä tekoälyn tuottaman tuloksen perusteella tehdä päätöksen siitä, tulisiko potilaalle tehdä jatkotoimenpiteitä vai ei. Tällainen tapa sopeuttaa tekoäly osaksi ihosyövän diagnosointia voisi olla ensimmäinen askel tekoälyn hyödyntämiseen, sillä se on suhteellisen yhteneväinen

tämän hetken käytäntöjen kanssa, jolloin sen käyttöönottoinkin voisi olla sujuvaa (Wada et al. 2020).

Tämän tutkimuksen tarkoituksena oli tarkastella, mitä vaikutuksia tekoälyavusteisesta ihosyövän diagnosoinnin tehostamisesta voi seurata. Kasvaneen tehokkuuden lisäksi ilmeni myös joitakin haasteita sekä riskejä, joita tekoäly voi aiheuttaa. Keskeisimpänä haasteena tekoälyn hyödyntämisestä voi seurata yliriippuvuus sekä liiallinen luottaminen tekoälyn tuottamiin tuloksiin, joka voi aiheuttaa lääkäreiden alisuorittamista diagnosoinnissa sekä diagnosoinnin tarkkuuden laskua. Lisäksi liiallisen luottamisen seurauksena voi olennaisia muuttujia jäädä huomioimatta, mikä voi johtaa huonompiin diagnosoinnin tuloksiin. Tämän vuoksi terveydenhuoltohenkilökunta tulisi kouluttaa tekoälyn hyödyntämiseen sekä sen kriittiseen arviointiin ja tulkintaan. Lisäksi, vaikka tekoälyn ei ole tarkoitus korvata lääkäriä, tekoälyn hyödyntäminen voi vähentää lääkärin ja potilaan välistä vuorovaikutusta, mikä voi vaikuttaa negatiivisesti esimerkiksi potilaan kokemukseen hoidon laadusta. Koska syöpä on vaarallinen sairaus, jonka diagnoosi voi aiheuttaa potilaassa suurtakin huolta, tulisi potilas pitää keskiössä eikä tarkastella prosesseja pelkätään tehokkuuden ja kustannussäästöjen näkökulmasta. Taulukossa 3 on esitetty hyödyt sekä haasteet, jotka saattavat seurata ihosyövän diagnosoinnin tehostamisesta, kun tekoälyä hyödynnetään apuvälineenä.

**Taulukko 3 Tekoälyn tuomat hyödyt sekä haasteet**

| Hyödyt   | Haasteet   |
|--|--|
| Tarkempi diagnosointi myös haastavien ihosyöpien tunnistamisessa   | Tekoälyn tekemät virhediagnoosit   |
| Apu diagnosoinnissa  | Liika luottaminen ja turvautuminen tekoälyyn voi johtaa lääkäreiden alisuorittamiseen sekä olennaisten yksityiskohtien huomaamatta jäämiseen |
| Nopeampi diagnosointi  |  |
| Turhien koepalojen sekä poistojen määrän vähentyminen  |  |
| Kustannussäästöt   |  |
| Lääkäreiden paremmat työolosuhteet   |  |
| Lääkäreiden mahdollisuus keskittyä rutiininomaisten tehtävien sijaan potilaaseen sekä vaativampiin tehtäviin | Potilaan ja lääkärin välisen vuorovaikutuksen väheneminen  |
| Parempi hoidon laatu   |  |

Tässä tutkimuksessa merkittävänä haasteena ilmeni se, ettei aiheeseen liittyen ole tehty käytännön tutkimusta, minkä vuoksi tutkimustulokset kuvaavat pääasiassa kontrolloiduissa tutkimusolosuhteissa saavutettuja tuloksia. Tämän seurauksena ero tekoälyn



ja lääkärin diagnosoinnin tarkkuuksien välillä ei välttämättä ole yhtä suuri kuin aineistona käytettyjen tutkimusten tuloksista voitaisiin päätellä. Oikeissa olosuhteissa lääkärit käyttävät diagnosoinnissaan hyödyksi myös tietoa potilaan historiasta sekä tekevät potilaan koko kehon tutkimuksen, mitkä antavat lääkärille paremmat valmiudet ihosyövän tunnistamiseen pelkkään kuvaan verrattuna (Reiter et al. 2019). Kuitenkin tulosten perusteella voidaan sanoa, että tekoälyn mahdollisuus tehostaa ja parantaa ihosyövän diagnosointia tulevaisuudessa on merkittävä, jos siihen liittyvät haasteet huomioidaan asianmukaisella tavalla.

## 6.2 Tulosten arviointi

Aiheen uutuuden sekä sen seurauksena käytännön olosuhteissa suoritettujen tutkimusten vähäisyyden vuoksi tämän tutkimuksen perusteella saadut tulokset antavat pääasiassa suuntaa sille, mitä potentiaalisia hyötyjä voidaan tekoälyn avulla saavuttaa ihosyövän diagnosoinnin tehokkuuden näkökulmasta sekä, mitä haasteita tekoälyn kautta saattaa ihosyövän diagnosointiin aiheutua. Koska tutkimusaineiston tutkimukset on suoritettu kontrolloiduissa olosuhteissa eikä tutkimuksia realistisessa lääketieteellisessä ympäristössä juurikaan olla tehty, ei tässä tutkimuksessa käsitellä sitä, miten tekoäly voisi konkreettisesti avustaa diagnosointia vaan keskustellaan potentiaalisista vaikutuksista, joita ei vielä olla testattu todellisessa ympäristössä.

Käytännön tutkimuksen vähyyteen liittyen, tässä työssä on myös hyödynnetty lähteenä useampia kirjallisuuskatsauksia, jotka esittävät sellaisia skenaarioita, joita tekoälyn hyödyntämisestä terveydenhuollossa voisi seurata. Skenaariot pohjautuvat osittain kontrolloiduissa olosuhteissa tehtyihin tutkimuksiin, mutta ne koostuvat osittain myös tutkijan omista näkemyksistä siitä, miten tekoälyn avustama diagnosointi mahdollisesti tulee tulevaisuudessa kehittymään. Tämän vuoksi tulokset eivät perustu täysin empiirisesti todistettuihin tuloksiin, mikä tulisi ottaa huomioon, kun arvioidaan tämän tutkimuksen tuloksia. Tutkimuksen tulokset antavat suuntaa tekoälyn vaikutuksista ihosyövän diagnosointiin, mutta jatkotutkimusta eri osa-alueilla tulisi tehdä tarkempien tuloksien saavuttamiseksi.

## 6.3 Jatkotutkimus

Koska tähän tutkimukseen liittyvässä aineistossa ei tutkimusta oltu tehty oikeissa lääketieteellisissä olosuhteissa, on eräs jatkotutkimusidea tekoälyn sovellusten vieminen käytännön olosuhteisiin. Näin voidaan tutkia, mitä vaikutuksia tekoälyllä on todenmukai-

sessä ympäristössä. Tämä tosin vaatii sen, että esimerkiksi lainsäädäntö tekoälyyn liittyen on asianmukaista ja, että tekoälyn sovellukset on kehitetty sille tasolle, että niiden soveltaminen käytäntöön ei tuota epätoivottuja tuloksia (He et al. 2019).

Vaikka ihosyövän diagnosointiin ja tekoälyyn liittyvää tutkimusta on paljon, on tekoälyyn ja ihosyövän diagnosoinnin tehokkuuteen liittyviä tutkimuksia tehty suhteellisen vähän. Tutkimukset keskittyivät pääasiassa tekoälyn mahdollisiin vaikutuksiin ihosyövän diagnosoinnissa, mutta tekoälyn vaikutuksia diagnosoinnin tehokkuuteen ei olla huomioitu yhtä laajasti. Tämän vuoksi toinen jatkotutkimusidea on tutkia enemmän tekoälyn vaikutuksia diagnosoinnin tehokkuuteen.

## 6.4 Yhteenveto

Tutkimuksen tuloksena löydettiin useampia tapoja, miten tekoälyn avulla voitaisiin tulevaisuudessa tehostaa ihosyövän diagnosointia. Tämän lisäksi tunnistettiin hyötyjä sekä haasteita, joita ihosyövän diagnosoinnin tehostamisesta tekoälyn avulla saattaisi seurata. Tutkimuksessa keskityttiin erityisesti ihosyövän diagnosointiin sekä siihen, miten tekoälyn avulla voitaisiin tehostaa diagnosointia, sillä ihosyövän visuaalinen diagnosointi soveltuu hyvin tekoälylle. Lisäksi ihosyöpätapausten suuren määrän seurauksena tarve diagnosointia avustaville teknologioille on maailmanlaajuisesti merkittävä. Keskeisin hyöty tekoälystä on sen tuoma diagnosoinnin tarkkuuden kasvu ja tämän seurauksena saavutettavat hyödyt. Suurimpana haasteena on mahdollinen yliriippuvuus, joka automaattisesta diagnosoinnista saattaa aiheutua.

Tekoäly tulee luultavasti tulevaisuudessa toimimaan jollakin tavalla lääkäreiden työn tukena, mutta jotta sitä voidaan alkaa laajemmin hyödyntämään lääketieteellisenä apuvälineenä, tulisi myös haasteet liittyen esimerkiksi lainsäädäntöön ja lääkäreiden asenteisiin tekoälyä kohtaan ottaa huomioon (He et al. 2019). Prosessi ei ole yksinkertainen, mutta onnistuessaan sillä on potentiaalia tehostaa ihosyövän diagnosointia ja mahdollistaa lääkäreiden keskittymisen rutiininomaisten töiden sijaan vaativampiin tehtäviin.

# LÄHTEET

Agnew, K., Gilchrest, B. & Bunker, C. (2005). *Skin cancer*. 2nd ed. Oxford: Health Press, pp. 7–15.

Beam, A.L. & Kohane, I.S. (2016). Translating Artificial Intelligence Into Clinical Care. *The journal of the American Medical Association*. Vol. 316(22), pp. 2368–2369.

Brinker, T., Hekler, A., Enk, A., Klode, J., Hauschild, A., Berking, C., Schilling, B., Haferkamp, S., Schadendorf, D., Holland-Letz, T., Utikal, J. & von Kalle, C. (2019). Deep learning outperformed 136 of 157 dermatologists in a head-to-head dermoscopic melanoma image classification task. *European Journal of Cancer*. Vol. 113(-), pp. 47–54.

Cabitz, F., Rasoini, R., & Gensini, G. (2017). Unintended Consequences of Machine Learning in Medicine. *The Journal of the American Medical Association*. Vol. 318(6), pp. 517–518.

Chandramouli, S., Dutt, S. & Das, A. (2018). *Machine Learning*. 1st ed. Pearson Education India.

Collier, R. (2010). The challenges of quantifying quality. *Canadian Medical Association Journal*. Vol. 182(5), pp. 250–250.

Cooper, G., Aliferis, C., Ambrosino, R., Aronis, J., Buchanan, B., Caruana, R., Fine, M., Glymour, C., Gordon, G., Hanusa, B., Janosky, J., Meek, C., Mitchell, T., Richardson, T., & Spirtes, P. (1997). An evaluation of machine-learning methods for predicting pneumonia mortality. *Artificial Intelligence in Medicine*. Vol. 9(2), pp. 107–138.

Davenport, T. & Kalakota, R. (2019). The potential for artificial intelligence in healthcare. *Future Healthcare Journal*. Vol. 6(2), pp. 94–98.

Du-Harpur, X., Watt, F.M, Luscombe, N.M. & Lynch, M.D. (2020). What is AI? Applications of artificial intelligence to dermatology. *British Journal of Dermatology*. Vol. 183(3), pp. 423–420.

Erickson, B.J., Korfiatis, P., Akkus, Z. & Kline, T.L. (2017). Machine Learning for Medical Imaging. *RadioGraphics*. Vol. 37(2), pp. 505–515.

Esteva, A., Kuprel, B., Novoa, R.A., Ko, J., Swetter, S.M., Blau, H.M. & Thrun, S. (2017) Dermatologist-level classification of skin cancer with deep neural networks. *Nature*. Vol. 542(7639), pp. 115–118.

Fink, A. (2019). *Conducting research literature reviews: From the internet to paper*. 5th ed. Los Angeles: Sage publications, pp. 1–18.

GCO (2021). Global Cancer Observatory. Saatavilla: <https://gco.iarc.fr/> (Luettu 17.3.2021).

Gilmore, S.J. (2018). Automated decision support in melanocytic lesion management. *PLoS ONE*. Vol. 13(9), pp. e0203459–e0203459.

He, J., Baxter, S., Xu, J., Xu, J., Zhou, X., & Zhang, K. (2019). The practical implementation of artificial intelligence technologies in medicine. *Nature Medicine*. Vol. 25(1), pp. 30–36.

Hekler, A., Utikal, J.S., Enk, A.H, Hauschild, A., Weichenthal, M., Maron, R.C., Berking, C., Haferkamp, S., Klode, J., Schadendorf, D., Schilling, B., Holland-Letz, T., Izar, B., von Kalle, C., Fröhling, S. & Brinker T.J. (2019). Superior skin cancer classification by the combination of human and artificial intelligence. *European Journal of Cancer*. Vol. 120(-), pp. 114–121.

- Hoff, T. (2011). Deskillling and adaptation among primary care physicians using two work innovations. *Health Care Management Review*. Vol. 36(4), pp. 338–348.
- Janda, M. & Soyer, H.P. (2019). Can clinical decision making be enhanced by artificial intelligence? *British Journal of Dermatology*. Vol. 180(2), pp. 247–248.
- Linzer, M., Poplau, S., Grossman, E., Varkey, A., Yale, S., Williams, E., Hicks, L., Brown, R., Wallock, J., Kohnhorst, D., & Barbouche, M. (2015). A Cluster Randomized Trial of Interventions to Improve Work Conditions and Clinician Burnout in Primary Care: Results from the Healthy Work Place (HWP) Study. *Journal of General Internal Medicine*. Vol. 30(8), pp. 1105–1111.
- Lodge, D. A. (1991). Productivity, Efficiency, & Effectiveness in the Management of Healthcare Technology. *Journal of Clinical Engineering*. Vol. 16(1), pp. 29–34.
- Marzuka, A., & Book, S. (2015). Basal cell carcinoma: Pathogenesis, epidemiology, clinical features, diagnosis, histopathology, and management. *The Yale Journal of Biology & Medicine*, Vol. 88(2), pp. 167–179.
- McKinney, S., Sieniek, M., Godbole, V., Godwin, J., Antropova, N. & Ashrafiyan, H. (2020). International evaluation of an AI system for breast cancer screening. *Nature*. Vol. 577(7788), pp. 89–94.
- Miller, D. & Brown, E. (2018). Artificial intelligence in Medical Practice: The Question to the Answer? *The American Journal of Medicine*. Vol. 131(2), pp. 129–133.
- Mesko, B., Hetnnyi, G. & Gyorffy, Z. (2018). Will artificial intelligence solve the human re-source crisis in healthcare? *BMC Health Services Research*. Vol. 18(1), pp. 545–545.
- Metzger, S., Ellwanger, U. Stroebel, W., Schiebel, U., Rassner, G. & Fierlbeck, G. (1998). Extent and consequences of physician delay in the diagnosis of acral melanoma. *Melanoma Research*. Vol. 8(2), pp. 181–186.
- Nelson, C., Pérez-Chada, L., Creadore, A., Li, S., Lo, K., Manjaly, P., Pournamdari, A., Tkachenko, E., Barbieri, J., Ko, J., Menon, A., Hartman, R., & Mostaghimi, A. (2020). Patient Perspectives on the Use of Artificial Intelligence for Skin Cancer Screening: A Qualitative Study. *JAMA Dermatology*. Vol. 156(5), pp. 501–512.
- NHS. (2019). Preparing the healthcare workforce to deliver the digital future. The Topol Review. Saatavilla: <https://topol.hee.nhs.uk/> (Luettu 17.2.2021).
- Obermeyer, Z., & Emanuel, E. (2016). Predicting the Future — Big Data, Machine Learning, and Clinical Medicine. *The New England Journal of Medicine*. Vol. 375(13), pp. 1216–1219.
- Panesar, A. (2019). *Machine Learning and AI for Healthcare Big Data for improved Health Outcomes*. Berkeley, CA: Apress.
- Pitkänieniemi J, Malila N, Virtanen A, Degerlund H, Heikkinen S, Seppä K. (2018). Syöpä 2018. Tilastoraportti Suomen syöpätilanteesta. Suomen Syöpäyhdistyksen julkaisuja nro 93. Suomen Syöpäyhdistys, Helsinki 2020.
- Reiter, O., Rotemberg, V., Kose, K., & Halpern, A. (2019). Artificial Intelligence in Skin Cancer. *Current Dermatology Reports*. Vol. 8(3), pp. 133–140.
- Russell, S. & Norvig, P. (2016). *Artificial Intelligence*. 3rd ed. NOIDA: Pearson Education Limited, pp. 1–29.
- Saarinen, K. (2017). Dermatoskopia primaarimelanooman diagnostiikassa. *Duodecim*. Vol. 133(12), ss. 1225–1229.

Sidhu, S., Bodger, O., Williams, N. & Roberts, D.L. (2011). The number of benign moles excised for each malignant melanoma: the number needed to treat. *Clinical and Experimental Dermatology*. Vol. 37(1), pp. 6–9.

Stratigos, A., Garbe, C., Lebbe, C., Malvehy, J., del Marmol, V., Pehamberger, H., Peris, K., Becker, J., Zalaudek, I., Saiag, P., Middleton, M., Bastholt, L., Testori, A., & Grob, J. (2015). Diagnosis and treatment of invasive squamous cell carcinoma of the skin: European consensus-based interdisciplinary guideline. *European Journal of Cancer*, Vol. 51(14), pp. 1989–2007.

Tays. (2020). Ihokasvaimet. Saatavilla: <https://www.tays.fi/fi-fi/Palvelut/Syovanhoito/Ihokasvaimet> (Luettu 17.3.2021)

Topol, E. (2019). High-performance medicine: the convergence of human and artificial intelligence. *Nature Medicine*. Vol. 25(1), pp. 44–56.

Tschandl, P., Codella, N., Bengü, N.A, Argenziano, G., Braun, R.P., Cabo, H., Gutman, D., Halpern, A., Helba, B., Hofmann-Wellenhopf, R., Lallas, A., Lapins, J., Longo, C., Malvehy, J., Marchetti, M.A., Marghoob, A., Menzies, S., Oakley, A., Paoli, J., Puig, S., Rinner, C., Rosendahl, C., Scope, A., Sinz, C., Soyer, H.P., Thomas, L., Zalaudek, I. & Kittler, H. (2019). Comparison of the accuracy of human readers versus machine-learning algorithms for pigmented skin lesion classification: an open, web-based, international, diagnostic study. *Lancet Oncology*. Vol. 20(7), pp. 938–947.

Tshandl, P. Rinner, C., Apalla, Z., Argenziano, G., Codella, N., Halpern, A., Janda, M., Lallas, A., Longo, C., Malvehy, J., Paoli, J., Puig, S., Rosendahl, C., Soyer, H.P., Zalaudek, I. & Kittler, H. (2020). Human-computer collaboration for skin cancer recognition. *Nature Medicine*. Vol. 26(8), pp. 1229–1234.

Wada, M., Ge, Z., Gilmore, S., & Mar, V. (2020). Use of artificial intelligence in skin cancer diagnosis and management. *Medical Journal of Australia*. Vol. 213(6), pp. 256–259.

West, C., Huschka, M., Novotny, P., Sloan, J., Kolars, J., Habermann, T., & Shanafelt, T. (2006). Association of Perceived Medical Errors With Resident Distress and Empathy: A Prospective Longitudinal Study. *The Journal of the American Medical Association*. Vol. 296(9), pp. 1071–1078.

Wikstrom, J.D, Lundeberg, L., Frohm-Nilsson, M. & Girnita, A. (2018). Differences in cutaneous melanoma treatment and patient satisfaction. *PLoS ONE*. Vol. 13(10), pp. e0205517–e0205517.

Wilkinson, D., Askew, D. & Dixon, A. (2006). Skin cancer clinics in Australia: workload profile and performance indicators from an analysis of billing data. *Medical Journal of Australia*. Vol. 184(4), pp. 162–164.

Youl, P.H., Baade, P.D., Janda, M., Del Mar, C.B., Whiteman, D.C. & Aitken, J.F. (2007). Diagnosing skin cancer in primary care: how do mainstream general practitioners compare with primary care skin cancer clinic doctors? *Medical Journal of Australia*. Vol. 187(4), pp. 215–220.

Yu, S., Jia, S., & Xu, C. (2017). Convolutional neural networks for hyperspectral image classification. *Neurocomputing*. Vol. 219(-), pp. 88–98.

## LIITE A: TUTKIMUKSEN AINEISTO

| Aihe                         | Tekijä(t)                | Otsikko   | Sisältö   |
|------------------------------|--------------------------|---|---|
| Ihosityöpä                   | Agnew et al. 2005        | Skin cancer   | Eri ihosityöpien tunnusomaisia piirteitä  |
|                              | Marzuka & Book 2015      | Basal Cell Carcinoma: Pathogenesis, Epidemiology, Clinical Features, Diagnosis, Histopathology, and Management                                    | Tyvisolusyövän diagnosointi   |
|                              | Saarinen 2017            | Dermatoskopia primaarimelanooman diagnostiikassa  | Melanooman diagnosointi sekä dermatoskoopin käyttö ihosityöpien tunnistamisessa |
|                              | Stratigos et al. 2015    | Diagnosis and treatment of invasive squamous cell carcinoma of the skin: European consensus-based interdisciplinary guideline                     | Okasolusyövän diagnosointi  |
| Tehokkuus terveydenhuollossa | Linzer et al. 2015       | A cluster randomized trial of interventions to improve work conditions and clinician burnout in primary care: results from the Healthy Work Place | Lääkäreiden työolojen parantamisen korrelointi lääkäreiden työtyytyväisyyteen   |
|                              | Lodge 1991               | Productivity, Efficiency, & Effectiveness in the Management of Healthcare Technology : An Incentive Pay Proposal                                  | Tehokkuus yleisesti terveydenhuollossa  |
|                              | Sidhu et al. 2011        | The number of benign moles excised for each malignant melanoma: the number needed to treat  | NNT-luku yleisesti sekä yleislääkäreiden ja iholääkäreiden NNT-lukujen erot     |
|                              | Wikstrom et al. 2018     | Differences in cutaneous melanoma treatment and patient satisfaction  | Läpimenoaikojen vaikutus melanooman diagnosointiin ja hoitoon                   |
|                              | Wilkinson et al. 2006    | Skin cancer clinics in Australia: workload profile and performance indicators from an analysis of billing data                                    | Ihosityövän diagnosoinnin tehokkuus eri indikaattoreilla                        |
| Tekoäly ja sen sovellukset   | Chandramouli et al. 2018 | Machine learning  | Koneoppiminen yleisesti   |
|                              | Erickson et al. 2017     | Machine learning for medical imaging  | Eri koneoppimisen sovelluksia kuvien tunnistamiseen                             |
|                              | Panesar 2019             | Machine learning and AI for healthcare big data for improved health outcomes  | Tekoäly yleisesti sekä sen hyödyntäminen terveydenhuollossa                     |

|   |                       |  |  |
|---|-----------------------|--|--|
|   | Russell & Norvig 2016 | Artificial intelligence  | Tekoäly yleisesti ja sen sovelluksia   |
| Tekoälyn tuomat hyödyt diagnosoinnin tehokkuuteen | Brinker et al. 2019   | Deep learning outperformed 136 of 157 dermatologists in a head-to-head dermoscopic melanoma image classification task  | Lääkäreiden diagnosoinnin vertailu algoritmiin, tuloksena tekoälyn avulla voidaan saavuttaa suurempi tarkkuus  |
|   | Esteva et al. 2017    | Dermatologist-level classification of skin cancer with deep neural networks  | Lääkäreiden tarkkuutta verrattuna algoritmiin, tuloksena tekoälyn avulla voidaan saavuttaa tarkempi diagnoosi  |
|   | Gilmore 2018          | Automated decision support in melanocytic lesion management  | Päätöksentekoa algoritmin vaikutus ihosyöpien tunnistamiseen, koneoppimisella on mahdollisuus alentaa lääkäreiden NNT-lukua  |
|   | Hekler et al. 2019    | Superior skin cancer classification by the combination of human and artificial intelligence  | Tekoälyn sekä lääkäreiden diagnosoinnin yhteistyö, tekoälyn ja lääkärin yhteistyön seurauksena tarkempi tarkkuus kuin kummallakaan erikseen  |
|   | Tschanl et al. 2020   | Human-computer collaboration for skin cancer recognition   | Tekoälyn vaikutus lääkäreiden toimintaan, tekoäly hyödyllinen erityisesti kokemattomampien lääkäreiden apuvälineenä  |
|   | Tschanl et al. 2019   | Comparison of the accuracy of human readers versus machine-learning algorithms for pigmented skin lesion classification: an open, web-based, international, diagnostic study | Lääkäreiden sekä koneoppimisen diagnosoinnin tarkkuuden vertailu, koneoppimisen algoritmit ovat tarkempia kuin ihmislääkärit   |
| Tekoälyn tulevaisuus terveydenhuollossa           | Beam et al. 2016      | Translating artificial intelligence into clinical care   | Tekoälyn jalkauttaminen terveydenhuoltoon voisi mahdollistaa muun muassa kuvien läpikäymisen suuremmalla kapasiteetilla  |
|   | Du-Harpur et al. 2020 | What is AI? Applications of artificial intelligence to dermatology   | Tekoälyn potentiaali terveydenhuollossa, tekoäly voisi helpottaa pulaa lääkäreistä toimimalla lääkäreiden avustajana   |
|   | Janda & Soyer 2019    | Can clinical decision making be enhanced by artificial intelligence?   | Tekoälyn sijoittuminen diagnosointiprosessiin ja sen vaikutukset   |
|   | Mesko et al. 2018     | Will artificial intelligence solve the human resource crisis in healthcare?  | Miten tekoäly voisi avustaa lääkäreitä, tekoälyn avulla ei välttämättä ratkaista pulaa lääkäreistä, mutta sen avulla voitaisiin parantaa lääkäreiden työolosuhteita ja näin tehdä prosesseista toimivampia |
|   | NHS 2019              | The Topol Review: Preparing the healthcare workforce to deliver the digital future   | Miten muun muassa tekoäly voisi vaikuttaa terveydenhuollossa, esitetään eri skenaarioita esimerkiksi tehokkuuden parantamiseksi  |

|   |                     |  |   |
|---|---------------------|--|---|
|   | Topol 2019          | High-performance medicine: the convergence of human and artificial intelligence    | Tekoälyn vaikutuksia tulevaisuuden terveydenhuoltoon, tekoälyn avulla voitaisiin esimerkiksi nostaa prosessien tehokkuutta sekä laskea kustannuksia                 |
|   | Wada et al. 2020    | Use of artificial intelligence in skin cancer diagnosis and management             | Tekoälyn hyödyntäminen ihosyövän diagnosoinnissa, tekoäly voisi toimia lääkäreiden päätöksenteon tukena   |
| Tekoälyn aiheuttamat haasteet diagnosoinnissa | Cabitza et al. 2017 | Unintended consequences of machine learning in medicine                            | Haasteita, joita tekoälyn hyödyntämiseen liittyy, esimerkiksi liiallinen luottaminen tekoälyyn voi aiheuttaa haasteita  |
|   | Hoff 2011           | Deskilling and adaptation among primary care physicians using two work innovations | Uuden teknologian vaikutukset lääkäreiden osaamiseen, jalkauttamisen seurauksena esimerkiksi lääkäreiden tietämys saattaa laskea.                                   |
|   | Reiter et al. 2019  | Artificial intelligence in skin cancer   | Tekoälyn hyödyntäminen ihosyövän tunnistamisessa ja mitä haasteita siihen liittyy, keskeisimpiä haasteita käytännön tutkimuksen sekä monimuotoisempien kuvien puute |