

Kristoffer de Silva

**KUINKA TEKOÄLY AUTTAA TUNNISTAMAAN JA  
ENNALTAEHKÄISEMÄÄN ERILAISIA SAIRAUKSIA  
TERVEYDENHUOLLOSSA**



JYVÄSKYLÄN YLIOPISTO  
INFORMAATIOTEKNOLOGIAN TIEDEKUNTA  
2024

# TIIVISTELMÄ

de Silva, Kristoffer

Kuinka tekoäly auttaa tunnistamaan ja ennaltaehkäisemään erilaisia sairauksia terveydenhuollossa

Jyväskylä: Jyväskylän yliopisto, 2024, 27s.

Tietojärjestelmätiede, Kandidaatin tutkielma

Ohjaaja: Kokko, Tuomas

Terveydenhuollossa tekoälyn käyttö on noussut merkittäväksi ja sillä on suuri potentiaali parantaa sairauksien ennaltaehkäisyä ja tunnistamista. Tekoäly hyödyntää valtavia tietomääriä älykkäästi ja jatkaa kehittymistään käytön myötä. Se tarjoaa tehokkaita työkaluja sairauksien tunnistamiseen ja ennaltaehkäisyyn, mikä voi auttaa lievittämään sairauksien vaikutuksia terveydenhuollossa. Tässä kandidaatintutkielmassa tarkasteltiin tekoälyn käyttöä terveydenhuollossa, erityisesti sen roolia sairauksien ennaltaehkäisyssä ja tunnistamisessa. Tutkimus toteutettiin kuvailevana kirjallisuuskatsauksena, joka tarjosi kattavan yhteenvedon aiheesta jo olemassa olevasta tutkimustiedosta. Aineisto on kerätty Google Scholarista ja Scopuksesta hakutermeillä "AI", "Artificial intelligence" ja "AI OR Artificial intelligence AND medicine OR healthcare". Tekoälyllä ja koneoppimisella on valtava potentiaali parantaa terveydenhuoltoa, mutta samalla on tärkeää huomioida eettiset ja käytännön haasteet, kuten kustannukset ja potilaiden yksityisyyden suojaaminen. Vaikka syövän ennaltaehkäisy tekoälyn avulla on haastavaa, positiivisia tuloksia on saavutettu eri menetelmillä. On tärkeää jatkaa tutkimusta ja kehitystä, jotta syövän seulonta, ennaltaehkäisy ja hoito voivat edetä entistä tehokkaammin ja laajemmin maailmanlaajuisesti. Big datan ja koneoppimisen avulla voidaan kerätä ja analysoida valtavia määriä dataa sairauksista ja niiden leviämisestä, mikä mahdollistaa tarkemman seurannan ja tehokkaammat toimenpiteet virusten torjunnassa. On kuitenkin tärkeää huomioida, että tekoälyä on koulutettava uudelleen ja sopeutettava uusiin tilanteisiin ja viruksiin. Monitieteinen lähestymistapa ja teknologisten innovaatioiden hyödyntäminen ovat avainasemassa virusten hallinnassa ja ennaltaehkäisyssä maailmanlaajuisesti.

Asiasanat: Tekoäly, Sairauksien tunnistaminen, Sairauksien ennaltaehkäisy, Terveydenhuolto

## ABSTRACT

de Silva, Kristoffer

How Artificial Intelligence can help identify and prevent diseases in healthcare

Jyväskylä: University of Jyväskylä, 2024, 27 pp.

Information Systems, Bachelor's thesis

Supervisor: Kokko, Tuomas

In healthcare, the use of artificial intelligence (AI) has become significant, holding great potential to improve disease prevention and identification. AI intelligently utilizes vast amounts of data and continues to evolve with use, offering efficient tools for disease identification and prevention, which can help alleviate the impact of diseases on healthcare. This bachelor's thesis examined the use of AI in healthcare, focusing on its role in disease prevention and identification. A descriptive literature review was conducted, providing a comprehensive overview of existing research on the topic. Data were gathered from Google Scholar and Scopus using search terms such as "AI," "Artificial intelligence," and "AI OR Artificial intelligence AND medicine OR healthcare." AI and machine learning have immense potential to enhance healthcare, but it is crucial to consider ethical and practical challenges, such as costs and patient privacy protection. Although cancer prevention through AI is challenging, positive results have been achieved through various methods. Continued research and development are essential to advance cancer screening, prevention, and treatment more effectively and widely globally. Utilizing big data and machine learning, vast amounts of data on diseases and their spread can be collected and analyzed, enabling more precise monitoring and more effective measures in virus control. However, it is important to note that AI needs to be retrained and adapted to new situations and viruses. A multidisciplinary approach and leveraging technological innovations are crucial in virus management and prevention worldwide.

Keywords: Artificial intelligence, Disease identification, Disease prevention, Healthcare

# SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

KUVIOT JA TAULUKOT

1	JOHDANTO.....	5
2	TEKOÄLY SAIRAUKSIEN TUNNISTAMISESSA.....	8
	2.1 Perinteisen diagnostiikan ja ihmisen yhdistelmä .....	8
	2.2 Syväoppiminen terveydenhuollossa.....	9
	2.3 Radiologian hyödyntäminen .....	10
	2.4 Neuroverkkojen hyödyt terveydenhoidossa .....	10
3	SYÖPÄ TEKOÄLYN REPPUSELÄSSÄ .....	12
	3.1 Syöpää aiheuttavien tekijöiden tarkastelua .....	12
	3.2 Haasteet ja tulevaisuuden näkymät.....	13
4	TEKOÄLY & VIRUKSET.....	16
	4.1 Miten viruksille altistutaan ja kuinka ne tarttuvat .....	16
	4.2 Tekoälyn rooli viruksien hallinnassa .....	17
	4.3 Nopea diagnostiikka ja seuranta .....	18
5	YHTEENVETO .....	20
	LÄHTEET .....	22

# 1 JOHDANTO

Tekoäly terminä on vielä nykypäivänäkin vähän vieras ja ei niin selkeä, koska se käsittelee niin paljon erilaisia mahdollisuuksia itsessään (Tran ym., 2019). Terveysthuollossa käytettyyn tekoölyyn liittyy robotiikka ja se toimii tietojärjestelmien avulla, joka tekee asioita nopeasti ja automaattisesti, mutta muuten se on vielä vieras hyvin monelle. Tekoölystä tekee erityisen hyvän sen loputon kehittyminen (Shickel, Tighe, Bihorac & Rashidi, 2018). Dataa analysoidessa se pystyy hyödyntämään siinä jo valmiina olevaa valtavaa määrää dataa ja samalla se kerää kaiken uuden tiedon itseensä ja pystyy hyödyntämään tätä seuraavissa tutkimuksissa (Biancone, Secinaro, Brescia & Calandra, 2019).

Terveysthuollossa tämä tekoölyn ominaisuus on erityisen hyödyllinen sairauksien tunnistamisessa ja sitä kautta ennaltaehkäisyssä (Choudhury & Asan, 2020). Tekoäly mahdollistaa pitkälti kyvyn tallentaa ja käsitellä valtavia tietomääriä älykkäällä tavalla ja erityisesti kääntää nämä tiedot toimiviksi työkaluiksi (Allied Analytics LLP, 2020). Secinaro ym. (2021) toteaa artikkelissaan, että big datan määrä on niin valtava, että siitä jäisi helposti ihmiseltä huomaamatta valtava määrä tietoa, minkä tekoäly onnistuu poimimaan sekunneissa. Tekoäly ei ainoastaan ole yksi keino ymmärtää sairauksia vaan sen avulla voidaan myös ennaltaehkäistä ja kehittää torjuntatoimenpiteitä niitä vastaan (Yassine & Shah, 2020).

Tekoäly on tehnyt suuria harppauksia terveysthuoltoon liittyen viime vuosina ja sen tärkeys tulee vain lisääntymään tulevina vuosina (Chan, 2016). Tekoäly on ollut terveysthuollossa jo monia kymmeniä vuosia, mutta nyt viime vuosina se on saanut ihmiset miettimään sen suurta potentiaalia (Chang ym., 2019). Ensimmäiset näytteet tekoölyn hyödyntämisestä tulevat 1950-luvulta, jolloin lääkärit yrittivät parantaa diagnooseja tietokoneavusteisten ohjelmien avulla (Frankish, 2014). Tekoäly ei ainoastaan auta potilaita heidän sairauksissaan vaan myös kaikkia sen parissa työskenteleviä. Desai (2016) toteaa artikkelissaan, että tekoäly auttaa valtavasti reaaliaikaisessa etäseurannassa ja vasteajat lyhenevät. Palveluntarjoajilla on mahdollisuus ottaa yhä enemmän asiakkaita päivässä.

Aihetta on tärkeä tutkia, koska se vaikuttaa jokaiseen ihmiseen. Tekoäly avaa uusia mahdollisuuksia parantaa terveydenhuollon tehokkuutta ja kasvattaa sairauksien ennaltaehkäisyä (Tran ym., 2019). Tekoälyn avulla diagnostiikka on huomattavasti tarkempaa sekä nopeampaa ja samalla se kehittyy entisestään, mitä enemmän sitä käytetään (Hamid, 2016). Kaikkia sairauksia ei voida lääketieteen avulla kokonaan parantaa, mutta tarpeeksi aikaisella tunnistautumisella ja sen takia tehdyillä operaatioilla saadaan sairauksia edes lievennettyä, mikä on jo suuri askel terveydenhuollossa (Schwalbe & Wahl, 2020). Saha ym. (2018) mukaan varhainen havaitseminen, asianmukainen hoito, säännöllinen seuraaminen ja oikea aikainen tehokas hoito auttavat todella moniin eri sairauksiin ja siksi onkin tärkeää, että saamme tekoälyn avuksemme sairauden tunnistamiseen ja ennaltaehkäisyyn.

Tekoälyn integroimisessa terveydenhuoltoon on kuitenkin omanlaisia haasteita niin kuin aina, kun uusia järjestelmiä otetaan käyttöön ja päivitetään. Testaaminen vie vuosia tai jopa kymmeniä vuosia (Hosny, Parmar, Quackenbush, Schwartz & Aerts, 2018). Testausprosessissa kuluu valtavasti resursseja, koska on kyse terveydenhuollosta ja ihmishengistä, joten sen täytyy olla vielä tarkempaa ja luotettavampaa kuin yleensä. Tekoälyä voidaan käyttää monipuolisesti terveydenhuollossa ja osa sitä liittyy vain kuvaukseen, kun taas toisaalta sillä voidaan auttaa kirurgeja hyvin tarkoissa leikkauksissa, joissa yksikin virhe voi viedä ihmiseltä hengen. Kun uutta teknologiaa testataan, testituloksien pitää olla vähintään paremmat kuin ihmisen itse tekemät ja mielellään huomattavasti paremmat.

Tekoälystä ei ole hyötyä, jos sille syötettävää dataa ei ole tarkasteltu, käsitelty, luokiteltu, puhdistettu ja analysoitu. Tarkastelussa arvioidaan millaisella lähestymistavalla tietynlaista dataa tulisi lähestyä parhaalla mahdollisella tavalla. Se on siis datan visualisointia, esikäsittelyä sekä sen syöttämistä oikeaan muottiin (Pietro Biancone, Secinaro, Brescia & Calandra, 2019). Data ei ole aina valmiiksi oikeassa muodossaan, joten se tarvitsee käsittelyä ennen kuin tekoäly voidaan hyödyntää sen maksimitehokkuutta esimerkiksi kuvantunnistamisessa. Dataa voidaan poimia eri laitteilla, kuten puhelimella, jolloin kuvat eivät välttämättä ole automaattisesti oikeanlaisia ja kokoisia. Data siis vaatii käsittelyä, joka sisältää normalisointia, skaalausta ja ominaisuuksien valintoja. Sitä voidaan myös tarvittaessa muokata, jotta se soveltuu paremmin tekoälyn algoritmeihin (Shickel ym., 2018). Luokittelu on terveydenhuollossa sairauksien osalta jo käytössä, joten tekoälymallit kuten koneoppiminen oppii ymmärtämään tietyn tyyppistä dataa vieläkin tarkemmin. Hyvän lajittelun avulla tekoäly pystyy hyödyntämään potilastietoja eli se saa tiedon myös potilaan muista sairauksista, vanhoista tapauksista sekä mahdollisista periytyvistä sairauksista ja näiden tietojen avulla se pystyy antamaan tarkemman diagnoosin (Saha, Fernando, Cuadros, Xiao & Kanagasingham, 2018).

Tässä tutkimuksessa analysoidaan tekoälyn käyttöä terveydenhuollossa. Tutkimuksessa aloitetaan tarkastelemalla aikaisempaa kirjallisuutta selvittääksemme kuinka tekoälyä voidaan hyödyntää sekä tarkastellaan minkälaiset ratkaisut ovat toimineet tähän mennessä. Tämän jälkeen tutkimme erilaisia

tekoölyyn liittyviä artikkeleita terveydenhuollon alalta. Tutkielmassa pyritään hahmottamaan, miten nämä teemat ilmenevät terveydenhuollon tekoölyn käyttöä käsittelevissä tutkimuksissa. Tutkimuskysymykset ovatkin:

1. Miten tekoölyä hyödynnetään sairauksien ennaltaehkäisemisessä?
2. Mitä mahdollisuuksia tekoöly tarjoaa sairauksien tunnistamiseen?

Tämä kandidaatintutkielma toteutetaan kuvailevana kirjallisuuskatsauksena. Kuvaileva kirjallisuuskatsaus on sopiva menetelmä kandidaatin tutkielmaani, koska se mahdollistaa asiakokonaisuuden kattavan hahmottamisen ja antaa tilaisuuden tunnistaa tutkimuskohteessa ilmeneviä ongelmia. Tutkielma on laadullinen tutkimus. Tutkimuskysymyksiensä vuoksi tässä kandidaatintutkielmassa aineistot ovat monimuotoisia, minkä vuoksi kuvaileva kirjallisuuskatsaus on valittu menetelmäksi, sillä se antaa joustavan lähestymistavan aineiston valintaan.

Kuvaileva kirjallisuuskatsauksen tavoitteena on tarjota kattava ja luotettava yhteenveto olemassa olevasta tutkimustiedosta tietyin aiheen tai tutkimuskysymyksen ympärillä (Salminen, 2011). Tämän kandidaatintutkielman päämäärä ei siis ole tarjota uutta analyysoivaa näkökulmaa, vaan pikemminkin tarjota katsaus tutkittuun aiheeseen ja koota tiedot jo olemassa olevista tutkimuksista. Siksi valittu lähestymistapa sopii hyvin tämän kandidaatintutkielman toteuttamiseen.

Tutkielman aineisto on hankittu Google Scholarista ja Scopuksesta. Tutkimuksen hakutermit ovat olleet "AI", "Artificial intelligence" ja "AI OR Artificial intelligence AND medicine OR healthcare". Ensiksi valitut artikkelit on valikoitu otsikoiden perusteella, ja sitten vielä tiivistelmien pohjalta on valittu tutkimuksen kannalta sopivimmat artikkelit. Lisäksi aineistoa on kerätty tutkimalla lähteitä, jotka on mainittu hakutermeillä löytyneissä artikkeleissa.

Luvussa 2 käsitellään tekoölyn roolia sairauksien tunnistamisessa. Kolmannessa luvussa kartoitetaan syöpäteknologiaa. Tutkitaan syöpää aiheuttavia tekijöitä sekä haasteita ja tulevaisuuden näkymiä alalla. Neljännessä luvussa tarkastellaan viruksille altistumista ja tarttumista, tekoölyn roolia virusten hallinnassa sekä nopeaa diagnostiikkaa ja seurantaa. Kyseisessä luvussa ei perehdytä siihen, kuinka tekoölyn avulla voidaan nopeuttaa lääkitysten ja rokotteiden tekoa, mutta sitä ei myöskään pidä unohtaa.

## 2 TEKOÄLY SAIRAUKSIEN TUNNISTAMISESSA

Sairauksien tunnistaminen on pääosin vanhan tiedon tulkitsemista ja hyödyntämistä uuden tiedon hankinnassa. Hyvä esimerkki tästä on säätiedotus, jossa käytetään edellisen päivän säätä ennustamaan seuraavan päivän lämpötilaa ja sääilmiöitä (Agrawal, Gans & Goldfarb, 2018). Radikaaleja eroja tieteenkin voi olla päivien ja sairauksien välillä, mutta yleisesti edellisten tulosten avulla tunnistaminen on hyvin tarkkaa ja virheetöntä etenkin, kun sitä tehdään tekoälyn avulla (Hamid, 2016). Kun uusia eroavaisuuksia löydetään, ne lisätään tietokantaan ja ensi kerralla niitä voidaan hyödyntää ja saada vielä tarkempia tuloksia. Tämä kaikki siis liittyy koneoppimiseen ja sen mahdollisuuksiin erityisesti terveydenhuollossa (Hao ym., 2022).

### 2.1 Perinteisen diagnostiikan ja ihmisen yhdistelmä

Tekoälyn hyödyntämisessä ei ole kyse ihmisen korvaamisesta roboteilla. Bennett & Hauser (2013) kertoo, että parhaan lopputuloksen yleensä saa, kun yhdistää ihmisen ja tekoälyn parhaat puolet, jolloin heikkouksille ei jää paljon tilaa. Tämä on myös kustannustehokkain ratkaisu tällä hetkellä, kun asiaa tarkastellaan pitkällä aikavälillä. Tällaista yhteyttä kutsutaankin koneoppimiseksi ja se onkin erityisesti lisääntynyt viime vuosina (Bi ym., 2019). Ihminen pääosin tekee päätökset, mitä tehdään ja miten, kun taas tekoäly hoitaa datan tarkan analysoinnin ja jakaa siitä saadun tiedon ihmiselle. Ihminen ei pysty lähellekään yhtä tarkkaan datan analysointiin kuin tekoäly (Choudhury ym., 2020). Ihmisen keskittymiskyky herpaantuu helposti, kun valtavaa määrää dataa pitää käsitellä samanaikaisesti ja tämä johtaa heikompiin tuloksiin (Agrawal ym., 2018). Tekoälyn integroiminen terveydenhuoltoon ei tarkoita, että päätöksenteko siirtyy kokonaan pois alan ammattilaisilta vaan tekoäly auttaa heitä tekemään oikeita päätöksiä tarkan datan avulla. Tämä nopeuttaa ja parantaa sairauksien diagnosointia ja vähentää pullonkauloja terveydenhuollossa (Calandra 2020).



Tulosten arviointi voi terminä kuulostaa pelottavalta. Potilas haluaa varman analyysin omasta tilastaan, mutta se ei ole aina mahdollista. Vaikka puhumme tekoälystä, ihmiset voivat ajatella, että sehän tietää jo kaikkien ratkaisun. Asia ei valitettavasti ole avain näin ja erityisesti terveydenhuollossa ammattilaiset joutuvat turvautumaan diagnooseihin, jotka perustuvat tekoälyn tuottamiin taustatietoihin (Bennett & Hauser, 2013).

Ihmisen ja tekoälyn välistä yhteyttä vahvistaa tekoälyn kyky säilöä dataa ja myös sitä kautta jakaa sitä helposti sitä tarvitseville. Erityisesti terveydenhuollon alalla tämä tulee esiin ihmisten terveystietojen kanssa. Potilas saapuu vastaanotolle, jolloin sekä tekoäly että lääkäri kummatkin saavat valtavan määrän dataa sekunnissa. Tietokannoissa on ollut ihmisten terveystietoja jo vuosia, mutta on jouduttu kirjoittamaan käsin ja niiden käsittely on ollut hidasta, vaikka lääkäri tietäisi, missä kohdassa tieto sijaitsee. Tekoäly käsittelee tämän kaiken sekunnissa ja halutessaan esittää tiedon myös sitä tarvitseville (Secinaro, Calandra, Secinaro, Muthurangu & Biancone, 2019). Jos eettisyys ja potilaiden yksityisyys ei olisi esteenä, tekoälyllä olisi valtavat mahdollisuudet ylläpitää ja tutkia ihmisten terveyttä koko ajan. Malasinghe, Ramzan & Dahal (2019) mukaan tällaiseen lopputulokseen on mahdollista päästä tulevaisuudessa, mutta se tulee viemään aikaa tällaisten teknologioiden kehittämisessä, koska emme voi unohtaa potilaiden yksityisyyttä, vaikka se tarkoittaisi suurempaa määrää dataa. Hitaita askelia tullaan tekemään ja tämän kaltainen teknologia tulee vähintään yleistymään ihmisillä, vaikka emme sitä pystykään integroimaan jokaisen ihmisen saataville ainakaan vielä. Tällaisten teknologioiden avulla sairauksien diagnosointi ja ennaltaehkäisy helpottuisi ja tehostuisi (Uthoff ym., 2018).

## 2.2 Syväoppiminen terveydenhuollossa

Syväoppiminen kuuluu koneoppimiseen ja on eräänlainen tekoälyn muoto, jota hyödynnetään muun muassa kuvantunnistamisessa ja sitä kautta sairauksien ennaltaehkäisyssä ja tunnistamisessa (Saxe, Nelli & Summerfield, 2020). Syväoppiminen on niin kuin ihmisen aivot, mutta todella paljon nopeampi versio. Jha ym. (2016) toteaa syväoppimisen oppivan esimerkeistä siinä missä ihminenkin, mutta tekoälyllä ei tule vastaan rajaa, minkä jälkeen se ei pysty enää käsittelemään uutta dataa ja muistamaan vanhan. Mitä enemmän kuvia se analysoi, sitä parempi se on (Jha ym., 2016). Niitä koulutetaan ja käytetään erilaisissa esimerkeistä, joista ne saavat valtavat määrät dataa tietokantoihin ja sitä kautta pystyvät hyödyntämään tietoa tulevissa tutkimuksissa. (Burns, 2021). Syväoppiminen käyttää hyödykseen myös potilastietoja ja sen avulla se pystyy yhdistämään kuvantunnistamisen saatuihin tietoihin, mikä mahdollistaa hyvin aikaisen sairauksien ennustamisen ja niiden hoitosuunnitelmien laatimisen sopivaksi. Etäseurantalaitteet ovat vähitellen nousseet suurempaan käyttöön. Syväoppiminen yhdistettynä näihin laitteisiin antaa mahdollisuuden huomata pienetkin muutokset ihmisen kehossa ja sen avulla oikeanlaista apua saadaan tarpeeksi nopeasti paikalle.

Syväoppimista on hyödynnetty taistelussa hyvin tappavia bakteereita vastaan. Tuberkuloosi on tästä hyvä esimerkki, koska siihen kuoli toiseksi eniten ihmisiä maailmassa koronan jälkeen vuonna 2022 ja se on sairautena vaivannut ihmisiä jo vuosia (who.int, 2024). Tartunnan saaneista vain kaksi viidestä pääsi tarvittaviin hoitoihin vuonna 2022. Tekoälyä ja erityisesti syväoppimisteknologiaa on käytetty tuberkuloosin tunnistamisessa sen varhaisessa vaiheessa, koska silloin pystymme välttymään enimmiltä kuolemantapauksilta (Lopes & Valiati, 2017). Tällaisten teknologioiden hyödyntäminen on vielä liian kallista, jotta niitä voitaisiin hyödyntää myös kehitysmaissa. Suurin osa tuberkuloosikuolemista tapahtuu Kaakkois-Aasiassa, Afrikassa ja läntisellä Tyynenmeren alueella, joihin tällä hetkellä resurssit eivät riitä (who.int, 2024).

### 2.3 Radiologian hyödyntäminen

Radiologia on yksi lääketieteenala, joka liittyy vahvasti kuvantamistekniikkaan, joten tekoälystä on ollut valtava apu juuri tällä erikoisalalla (Medlineplus, 2021). Hosny ym. (2018) mukaan tekoälyalgoritmit ovat tehneet huomattavia edistysaskelia terveydenhuollossa ja erityisesti sairauksien tunnistamisessa niiden huippulaatuisessa kuvantunnistamisessa. Tekoäly on mahdollistanut automaattisen kuvantunnistuksen terveydenhuollossa ja tekoälyn avulla siitä on saatu erityisen tarkka ja nopea väline sairauksien tunnistamiseen. Hyvä esimerkki radiologiasta nykypäivänä on seulonta. Suuresta kuvamassasta pitäisi erottaa hyvin pienet eroavaisuudet, joten ihmiseltä tämä veisi huomattavasti kauemmin ja mahdollisesti kaikista pienimpiä eroja he eivät edes pystyisi tunnistamaan. Lääkärit ovat tehneet jo pitkään kuvantunnistamista ilman apuvälineitä. Kun siihen on mahdollisuus integroida tekoäly avuksi sekä yhdistää röntgenkuvat, saadaan tulokista automatisoituja sekä uskomattoman tarkkoja. (Hosny ym., 2018).

Radiologiaa on hyödynnetty jo vuosia terveydenhuollossa, mutta vasta vähitellen siihen on saatu lisättyä ripaus tekoälyä. Tulokset ovat jo nyt osoittaneet, että se on tarkempi kuin ihminen tämänkaltaisessa työssä (Jha ym., 2016).

### 2.4 Neuroverkkojen hyödyt terveydenhoidossa

Neuroverkot ovat osa koneoppimista, jotka on suunniteltu matkimaan ihmisten aivojen toimintaa ja siksi niitä yleensä käytetäänkin päätöksenteon apuna terveydenhuollossa. Zion ym. (2020) mukaan neuroverkkoja hyödynnetään kuvantunnistamisessa ja potilastietojen käsittelyssä. Kun nämä kaksi yhdistetään lääkäreiden avuksi, saadaan päätöksistä helpompia, kun tekoäly pystyy antamaan heille tarvittavat tiedot eri diagnooseista nopeasti ja tarkasti. Tästä hyvä esimerkki on neuroverkkojen mahdollisuus analysoida geneettisiä sekä biologisia tietoja ja niiden tuloksien avulla mukauttaa hoidot potilaille mahdollisimman tehokkaiksi. Kuvantunnistamisen avulla neuroverkot pystyvät myös seuraamaan sairauksien

kehittymistä tarkasti (Zion, Ozuomba & Asuquo, 2020). Neuroverkkojen hyödyntäminen terveydenhuollossa ei kuitenkaan ole aivan mutkatonta. Aina kun käsitellään potilastietoja, tulee esille turvallisuus ja potilaiden yksityisyyden turvaaminen. Suomessa tietosuojalaki rajoittaa terveydenhoitoalan potilaasta keräämien tietojen tallentamista maailmanlaajuisiin tietokantoihin. Tätä ei saa tehdä ilman potilaan suostumusta. (Finlex, 2018).

Tämä voi kuulostaa hyvin samalta, mitä aiemmin mainittu syväoppiminen on, koska neuroverkot ovat syväoppimisen yksi tekniikoista. Syväoppiminen onkin laajempi käsite, kun neuroverkot, jotka koostuvat soluista eli neuroneista, joista se onkin saanut nimensä. Neuroverkkoja hyödynnetään pääasiassa sairauksien seurannassa ja hoidossa. Kun potilasta tarkkaillaan päivittäin, hänestä saadusta datasta tekoäly saa tietoa hänen eri sairauksistaan ja pystyy reagoimaan niihin tarkennetuilla ohjeilla ja keinoilla (Vaishya, Javaid, Khan & Haleem, 2020).

### 3 SYÖPÄ TEKOÄLYN REPPUSELÄSSÄ

Tässä luvussa tutustumme siihen, kuinka tekoälyä voidaan hyödyntää syöpiä vastaan. Syövät eroavat muista sairauksista siinä, että ne eivät tartu. Tämän takia niiden ennaltaehkäisy menetodit ovat erilaisia viruksiin verrattuna. Syöpä ei siis ole loinen, infektio, bakteeri eikä virus (World Health Organization, 2019).

#### 3.1 Syöpää aiheuttavien tekijöiden tarkastelua

Syöpä on yksi maailman vaarallisimmista ja tappavimmista taudeista. Se on muun muassa toiseksi yleisin kuolinsyy Yhdysvalloissa ja siksi onkin tärkeää, että saamme tekoälyn avuksemme taistelua syöpää vastaan (Siegel, Miller, Wagle & Jemal, 2023). Aluksi on tärkeää ymmärtää mistä syövät johtuvat, mitkä eri tekijät niihin vaikuttavat ja kuinka niitä voidaan ennaltaehkäistä ja tunnistaa tekoälyn avulla. Suurin osa syöivistä johtuu geneettisistä tai DNA-mutaatioista (Kasai, 2016). Perinnölliset tekijät voivat altistaa syöväälle, mutta noin 90 % syöivistä johtuu ympäristön aiheuttamista tekijöistä, joihin mukaan luetaan muun muassa tupakointi ja ruokavalio, mutta se on yleensä myös monen eri tekijän sattuma (Kasai, 2016). Osa viruksista, kuten papilloomavirus, saattavat aiheuttaa syöpäkasvaimia, jos niitä ei hoideta. Karsinogeenit aiheuttavat tai edistävät syöpää. Karsinogeeniä on erilaisia. Tupakoinnista aiheutuva savu on esimerkki kemiallisesta karsinogeenistä. Huonolla tuurilla ihminen voi altistua erilaiselle säteilylle, joka voi altistaa ihmisen eri syöville (Wogan, Hecht, Felton, Conney & Loeb, 2004). Kuuluisimpana esimerkkinä tästä on Ukrainassa tapahtunut Tšernobylin ydinvoimalaonnettomuus, jossa noin viisi miljoonaa ihmistä sai radioaktiivista säteilyä, joka edistää erityisesti kilpirauhassyövän puhkeamista (Cardis ym., 2006). Tällaiset onnettomuudet ovat erittäin harvinaisia, mutta niillä on vaaralliset sivuvaikutukset. Radonia löytyy luonnosta paljon, mutta ulkoilman pienet radonpitoisuudet eivät ole ihmiselle vaarallista (Reddy, Conde, Peterson & Nugent, 2022). Radonista tulee ongelma, jos sitä on maaperässä paljon, eikä radonin poistoa ole huomioitu rakennusvaiheessa.

Syövän oireet eivät ole yleensä yhtä selviä kuin viruksissa. Oireet voivat ilmetä vasta myöhemmin, joten on tärkeä saada tekoälyn avulla niiden tunnistaminen yhä aikaisemmaksi ja tehokkaammaksi. Ilman oireita ihmiset eivät yleensä mene lääkärin vastaanotolle, Varsinkaan nuoremmat eivät oireisinakaan hakeudu lääkäriin, koska he olettavat, että syöpä on vain vanhempien ihmisten sairaus. Seulontoihin kutsutaan yleensä vasta aikuisiällä, mutta eroavaisuuksia on eri syöpien kohdalla. Seulontojen järjestämisessä on eroa myös eri hyvinvointialueiden välillä (Suomen syöpärekisteri, 2023). Yleisimpiä seulonnan menetelmiä ovat kuvaaminen, laajat verikokeet ja erilaiset kokeet kuten papa-koe, jota käytetään kohdunkaulasyövän tunnistamiseen.

### 3.2 Haasteet ja tulevaisuuden näkymät

Viime vuosina suurin este syövän tutkimiselle on ollut korona. Se hidasti tutkimuksia ympäri maailmaa kaikilla aloilla, mutta erityisesti sairauksien parissa. Terveysyksiköt sulkeutuivat ympäri maailmaa ja oltiin hyvin varuillaan, ettei korona pääse leviämään entisestään. Jos asiaa katsotaan pidemmältä ajalta, niin suurimpia ongelmia ovat tutkimusten hitaus ja rahoitus (Siegel ym., 2023). Syöpä on monien eri muuttujien sattuma ja se on jokaisella ihmisellä vähän erilainen, koska se koostuu ihmisten molekyyleistä, jotka ovat jokaisella ihmisellä vähän erilaiset (Kumar ym., 2019). Tämän takia onkin erityisen tärkeää, että mahdollistamme tekoälyn käytön näissä tutkimuksissa, koska se on todella vahvoilla, kun pitää verrata suurta määrää dataa ja niissä esiintyviä pieniä eroja toisiinsa. Hu ym. (2019) mukaan seuluntotutkimuksilla pystytään tunnistamaan vain yleisimpiä syöpiä eikä vielä kaikkia.

Proteiiniketjujen mallintaminen liittyy yllättävänkin paljon myös syövän tunnistamiseen. Proteiiniketjujen mallintaminen on erittäin monimutkainen tehtävä, koska se vaatii valtavia määriä laskentaresursseja ja siihen erikoistunutta ohjelmistoa, joten tähän käytetään yleensä Nvidian teknologiaa (Kumar, Clarke & Gerstein, 2019). Nvidian kehittämä Cuda-teknologia, joka on ohjelmointialusta, mitä käytetään tekoälyn kanssa muun muassa syövän tutkimisessa (Choudhury ym., 2020). Syöpätutkimuksessa on tärkeä ymmärtää proteiinien rakennetta ja toimintaa, koska monet syöpään liittyvät prosessit perustuvat proteiinien epänormaaliin käyttäytymiseen (Biswas & Chakrabarti, 2020). Nvidian teknologia tarjoaa tärkeän työkalun syövän taistelua vastaan. Kumar ym. (2019) mukaan sen avulla tutkijat voivat nopeuttaa proteiiniketjujen mallintamista ja simulointeja, jotka tarjoavat mahdollisuuden tekoälyn avulla viemään syövän tunnistamisen seuraavalle tasolle ja se myös parantaa yksilöiden erojen tunnistamista.

Suurimmat haasteet taistelussa syöpää vastaan koetaan kehitysmaissa puutteellisen seulonnan, rokotusten ja tarkastusten takia. Erilaisia syöpiä voidaan ennaltaehkäistä rokotuksilla, kuten HPV-rokote (papilloomavirusrokote). Tämä rokote kuuluu Suomalaiseen rokotusohjelmaan, joten sen saaminen Suomessa on potilaalle ilmaista. Valitettavasti ihmisillä ei ole

kehitysmaissa samanlaista mahdollisuutta saada yhtä kattavaa rokotesuojaa. Noin 80 prosenttia kohdunkaulan syöpä tapauksista tapahtuu kehitysmaissa ja vastaavasti noin 90 % kohdunkaulan syövästä johtuvista kuolemista tapahtuu kehitysmaissa (Hu ym., 2019). Tarpeeksi yleisellä ja monipuolisella seulonnalla nämäkin numerot voitaisiin laskea huomasti alemmaksi, mutta enää pitäisi löytää rahoitus ja kuinka ne voidaan toteuttaa järkevästi tällaisissa olosuhteissa.

Automaattista seulontaa on yritetty jo pitkään saada toteutettua erityisesti kehitysmaihin, missä ongelmat ovat suurimpia. Hu ym. (2019) ovat yrittäneet soveltaa kone- ja syväoppimista suunnitellessaan automaattista seulontajärjestelmää kohdunkaula syöpää vastaan. Tällaisten projektien valmistumiseen menee yleensä vuosia, koska niiden pitää ensinnäkin olla tarkempia ja tehokkaampia kuin ihminen ja yleensä uuden järjestelmän tekemisessä tarvitaan paljon dataa, että siitä saadaan tarkka ja toimiva oikeanlaiseen ympäristöön. Heidän projektissaan käytettiin seitsemän vuotta yksistään tutkimustulosten saantiin ja vertailuun. Automaatiolla tässä kontekstissa tarkoitetaan seulontapaikkaa, johon ihminen voi mennä, jossa häneltä otetaan tarvittavat kuvat, koepalat, veri-, iho- ja limakalvonäytteet, jonka jälkeen tekoäly analysoi sekä arvioi ne, minkä jälkeen ihminen saa seulonnan tulokset. Automaattisissa seulontapisteissä voidaan myös tehdä testejä samalla kerralla useampaan kuin yhteen syöpään ja muihin sairauksiin. Tämä samanaikaisuus on mahdollista esimerkiksi papa-kokeiden, nestepohjaisten testien sekä neuroverkkoja hyödyntävissä testeissä. HPV-testit vievät tunteja asiakasta kohden. Ne ovat myös kalliita tehdä vanhoilla metodeilla, eivätkä ne ole myöskään mahdollista kaikissa ympäristöissä, mikä on ongelma suurimmassa osassa kehitysmaista (Hu ym., 2019). Testejä yhdistelemällä ja tekoälyä hyödyntäen saadaan yksittäisiä käyntejä ja monipuolistettua eri sairauksien, etenkin syöpien ennaltaehkäisyä.

Älypuhelimet ovat terveydenhuollon tekoälyllinen tulevaisuus kehitysmaissa, missä infrastruktuuri ei tällä hetkellä riitä sairaaloihin ja suurempiin laitteisiin. Android-älypuhelimille on luotu ohjelma, jolla voidaan kuvaamalla tunnistaa sairauksia ja syöpiä. Se perustuu optiiseen kuvaukseen ja älypuhelimien kamerasta tulevan kirkkaan valkoisen valon endoskopian yhdistelmään. Näyte otetaan potilaan suusta. Tiedot ladataan pilvipalveluun, josta etäasiantuntija antaa analyysin saadusta näytteestä tekoälyn avulla saaneista tuloksista (Uthoff ym., 2018). Pitkät etäisyydet terveysasemiin tai asiantuntijan luokse ovat suuri ongelma kehitysmaissa. Älypuhelimien ja nettiyhteyden avulla tällaista apua voidaan hyödyntää lähes missä ja milloin vain. Akuuttiapu sekä sairauksien ennaltaehkäisy paranee huomattavasti.

Kasain (2016) mukaan syöpiä on erittäin vaikea ennaltaehkäistä edes tekoälyn avulla tällä hetkellä, joten uudet tutkijat ovat suosiolla keskittyneet muihin projekteihin. Tällä hetkellä monet ovat siirtyneet mieluummin molekyylibiologian pariin. Tutkimukset vievät vuosia, rahoitus on niukassa sekä tulokset ovat tähän mennessä olleet epätarkkoja. 35-vuotiaan tutkimusuransa aikana hänen tutkimusryhmänsä on pystynyt löytämään alle 10 uutta mutaatiota tai DNA-muutosta (Kasai, 2016). Toki he tutkivat asiaa molekyyllitasolla sekä

keskittyivät enemmän kemia lähtöisiin metodeihin. Näin niukat tulokset eivät motivoi nykyisiä tutkijoita jatkamaan eikä varsinkaan uusia aloittamaan lähes tyhjältä pöydältä tämän asian saralla, mutta onneksi tutkijoita on paljon ja positiivisiakin tuloksia on saatu eri metodeilla. Hyvänä esimerkkinä aikaisemmin mainittu Uthoff ym. (2018) Android-älypuhelimelle luotu ohjelma, jolla ollaan saatu positiivisia tuloksia kehitysmaista.

## 4 TEKOÄLY & VIRUKSET

Tässä luvussa esitellään, kuinka ihmisen elimistön virukset toimivat ja kuinka tekoälyn avulla voidaan hallita, ennaltaehkäistä ja seurata niitä. Tutustumme myös erilaisiin ratkaisuihin, joita on jo testattua maailmalla. Tässä luvussa tarkastellaan, kuinka tekoäly voi auttaa virusten hallinnassa, niiden ennaltaehkäisemisessä ja seurannassa. Keskustelemme tekoälyn roolista nopeiden diagnostiikkojen tekemisessä, taudin leviämisen ennustamisessa ja terveydenhuollon resurssien optimoinnissa. Lisäksi tutkimme, kuinka tekoäly tukee potilaiden etäseurantaa ja nopeuttaa rokotteiden sekä hoitojen kehitystä, mikä on erityisen tärkeää kriisitilanteissa ja syrjäisillä alueilla.

### 4.1 Miten viruksille altistutaan ja kuinka ne tarttuvat

Viruksien siirtymistä on mahdollista ennaltaehkäistä, vaikkakin ne tarttuvat hyvin helposti ihmisestä toiseen sekä hengitysteiden kautta että kosketuksen välityksellä. Kasvomaskit suojaavat ilman kautta tarttuvilta pisaroilta, jotka sisältävät viruksia. Saastunut juomavesi on suuri ongelma kehitysmaissa, missä virukset myös leviävät helpommin. Siellä myös olosuhteiden takia jotkin virukset voivat levitä hyönteisten pistoksien välityksellä kuten Zika-virus. Viruksiin, kuten joka vuotisiin influenssiin, kehitetään rokotteet ja niitä tarjotaan ihmisille. Välillä joudutaan tarjoamaan uusia rokotteita, kun uusia mutaatioita syntyy, kuten huomasimme korona-aikaan. (Tandjaoui-Lambiotte ym, Lomont, Moenne-Looz, Seytre & Zahar, 2023).

Eriteperäiset virukset ovat erityisesti suuri ongelma trooppisilla alueilla ympäristön ja infrastruktuurin vuoksi. Reid ym. (2019) mukaan näillä alueilla on alhainen hygieniataso, huono sanitaatioinfrastruktuuri sekä trooppiset olosuhteet, jotka tekevät viruksien leviämisestä vielä helpompaa, koska kostea ja lämmin ilmasto luovat ihanteelliset olosuhteet virusten ja bakteerien herkälle leviämiselle. Haavaumien kautta tapahtuvat tartunnat voivat olla erityisen suuri ongelma etenkin trooppisessa ympäristössä. Trooppiin ekosysteemi voi olla



erittäin monimuotoinen ja sisältää erilaisia patogeeneja (Shakoor, Warraich & Zaidi, 2020). Kasvillisuus ja eläimet voivat aiheuttaa naarmuja sekä puremia, jotka altistavat ihon erilaisille infektioille. Jos näitä ei hoideta nopeasti, ne altistavat ihmiset erilaisille viruksille.

## 4.2 Tekoälyn rooli viruksien hallinnassa

Virusten ennaltaehkäisy ei aina tarkoita, että sitä käytetään vain tartuntojen alkuvaiheessa ja niiden pääsemisen estämiseen ihmisessä. Kun virus pääsee valloilleen, on tärkeää pysäyttää sen leviäminen mahdollisimman nopeasti. Tekoälyä hyödynnetäänkin myös telelääketieteessä ja sitä kautta virtuaalihoidoissa (Bokolo, 2020). Lääkärin ei tarvitse aina nähdä potilasta kasvotusten ja altistaa kumpaakin osapuolta taudille. Etätapaamiset tapahtuvatkin tekoälyn ympärille rakennetuissa teleympäristössä, missä tarvittava tieto on lääkäreiden saatavilla nopeasti, jolloin tästä prosessista saadaan nopea ja mutkaton. Bokolon (2020) mukaan hyvin toimiva järjestelmä on erityisen tärkeä vähentääkseen lääkäreiden työhön tarvittavia resursseja, ja erityisesti silloin, kun niitä käytetään koronan kaltaisia pandemioita vastaan. Resursseja pitää hyödyntää erityisen tarkasti, mutta samalla pitää yllä nopeaa ja toimivaa palvelua. Huonona puolena tämänkaltaisissa sovelluksissa on lääkärin ja potilaan yhteys. Potilas ei välttämättä tule yhtä helposti ymmärretyksi ja niin kuin tiedetään, tekniikka ei myöskään aina toimi täydellisesti. Potilas voikin helposti turhautua, jos yhteys pätkee ja hän ei pääsekään lääkärin vastaanotolle niin kuin normaalissa maailmantilanteessa olisi voinut olla. Lääkäreitä on helppo kouluttaa tällaisiin työtilanteisiin, mutta on lähes mahdotonta kouluttaa potilaita näihin etäkohtaamisiin. Se voi myös viedä jonkun verran aikaa, ennen kuin potilas osaa kirjautua järjestelmään mahdollisesti ensimmäistä kertaa. Yhteyksiin ja laitteisiin liittyvistä ongelmista suurin osa tapahtuu tähän sovellukseen liittyen kehitysmaissa, joissa nettiyhteydet eivät ole vielä länsimaisella tasolla, joten ongelmia esiintyy vielä enemmän (Bokolo, 2020).

Etämonitorointi, etädiagnostiikka ja etäkonsultaatiot ovat lääketieteen ammattilaisten kuin myös potilaiden apuna juuri tällaisissa tilanteissa, joissa toisella tai kummallakaan osapuolella ei ole mahdollista tavata toisiaan fyysisesti (Tan, Rusli, McKenna, Tan & Liaw, 2021). Pelkän videopuhelun lisäksi potilaat voivat käyttää erilaisia laitteita, jotka jakavat dataa yhteyden toisessa päässä olevalle ammattilaiselle. Verenpaine-, syke- ja verensokerimittarit ovat olleet käytössä jo pitkään, mutta tekoälyn avulla pitäisi saada ratkaisut, joissa näitä ei tarvitsisi olla potilaalla jo valmiina. Tämä on helposti sovellettavissa muun muassa vanhusten omista kodeissa, joissa tiedetään jo entuudestaan, että kyseiseltä henkilöltä tarvitaan tietynlaista dataa, joten laitteet asennetaan valmiiksi heidän käytettäväksi. Kysymys onkin usein siitä, kuinka voimme hyödyntää tämän kaltaisia laitteita ensiavun tarpeessa olevilta henkilöiltä tilanteissa, joissa apua tarvitaan heti ja heillä ei ole kyseisiä laitteita etukäteen asennettuna.

Etätetoskoopin ja etäotoskoopin kaltaiset laitteet ovat olleet ratkaisu etävastaanottoihin sekä myös edellisessä luvussa mainittuihin ensiaputilanteisiin. Nämä laitteet toimivat puhelimen ja niissä valmiiksi olevien ominaisuuksien avulla, kuten mikrofonin ja etävahvistimen avulla (Hadiyoso, Mardiyah, Ramadan & Ibrahim, 2020). Yleensä laitteet yhdistetään langattoman yhteyden tai usb-johdon avulla älypuheliiniin, mutta jos tämä ei ole mahdollista, voidaan netistä ladata tarvittava sovellus, jotka lähettävät tarvittavat tiedot nettiyhteyden toisessa päässä olevalle ammattilaiselle, joka pystyy tietojen avulla antamaan tarvittavia ohjeita (Caini ym., 2019).

Tekoälylaitteiden ei aina tarvitse olla suuria ja kalliita. Tähän erityisen hyvä esimerkki on älypuhelin, joka on yleistynyt maailmalla huimasti. Sitä voidaan hyödyntää maissa, joissa ei ole resursseja rakentaa sairaaloita ja muita tärkeitä terveydenhuollon kohteita, mitkä ovat itsestäänselvyyksiä Suomessa. Älypuhelimet osaavat tehdä tarvittavat toiminnot ilman ammattilaistakin ja se tekeekin siitä erityisen tärkeän välineen kehitysmaissa sekä haja-asutusalueilla (Briganti & Le Moine, 2020). Näistä on suuri apu varsinkin kehitysmaissa, joissa tekoälyn käyttö on erittäin vähäistä nykyisillä resursseilla (Wahl, Cossy-Gantner, Germann & Schwalbe, 2018).

### 4.3 Nopea diagnostiikka ja seuranta

Tekoälyä pidetään nopeana oppijana, mutta muun muassa kone- ja syväoppiminen tarvitsevat ensiksi valtavat määrät dataa ja vasta tämän saamisen jälkeen niistä tulee ylivoimaisia verrattuna muihin (Tandjaoui-Lambiotte ym., 2023). Ongelmana tässä on nopeasti ja herkästi tarttuvat virukset kuten korona, joka tarttuu herkästi hengitysteiden kautta. Santosh (2020) mukaan tutkijoilla ei ole aikaa testata ja odottaa hyviä tuloksia, vaan tekoäly pitäisi saada heti käyttöön, vaikka se ei olisi täydellinen vielä siinä vaiheessa. Se kuitenkin kerää erityisen tärkeää dataa koko ajan ja paranee käytössä. Pelkkä datan keräys ei riitä koneoppimisessa. Sen neuroverkko pitää myös optimoida, jotta sillä saadaan tuotettua tavoiteltavia tuloksia. Optimointimenetelmiä on monia, joten niistä pitää valita parhain siihen tarkoitukseen. Gradientin lasku on yleinen optimointimenetelmä, jota käytetään neuroverkkojen koulutukseen. Se pyrkii minimoimaan virheen funktion suhteessa painoihin ja vääristymiin neuroverkossa (Abdolasol ym., 2021). Tutkijat aika nopeasti saivat lanseerattua kuvantunnistusjärjestelmän jo vuonna 2020, millä pystyi tunnistamaan koronan 96 % tarkkuudella. Se perustuu radiologiassa käytettyyn monikerroskuvantamiseen, jossa potilas kuvataan röntgensäteiden avulla (Santosh, 2020).

Tekoälyä voidaan hyödyntää myös tiedon jakamisessa muun muassa laajempien sairauksien ja influenssaepidemioiden syttyessä. Tekoälyn algoritmit keräävät valtavat määrät tietoa kaikista mahdollisista lähteistä ja koneoppiminen osaa yhdistää tarvittavan datan yhdeksi kokonaisuudeksi, jota voidaan välittömästi jakaa terveysviranomaisille, lentoyhtiöille ja sairaaloille. Kaikkialle

sinne missä tarttuneita ihmisiä liikkuu (Calandra ym., 2020). Tiedon saatua eri yksiköt voivat varautua tarvittaviin toimenpiteisiin ja tehdä kaiken mahdollisen, että esimerkiksi korona ei pääsisi leviämään helposti. Bluedot-järjestelmä toimii edellä mainitusti, mutta uusia ohjelmistoja kehitetään koko ajan ja onnistuneista projekteista tulee olemaan valtavasti hyötyä, jos maailma ajautuu koronan kaltaiseen pandemiaan uudestaan (Naudé, 2020). Vaikka tämänkaltaiset virukset ovat sillä hetkellä hyvin tappavia ja rokotusten valmistuksessa ja saamisessa menee aikaa, niin tekoäly saa todella tärkeää tietoa seuraavia tapauksia varten, kun se osaa analysoida, mikä toimi ja miten tiettyjä asioista mahdollisesti kannattaa hyödyntää.

Data-analyysi onkin tärkeä osa tätä vaihetta. Jotta tekoälystä saadaan kaikki irti, pitää dataa osata käsitellä oikein. Biswas & Chakrabarti (2020) mukaan dataa voi joutua puhdistamaan ja muokkaamaan ennen kuin se on käyttökelpoista. Tämän jälkeen se käsitellään ja järjestellään analyttistä menetelmää varten. Analyysin muotoja on monenlaisia, kuten aiemmin mainittu koneoppiminen. Riippuen millaisessa muodossa saatavilla oleva data ja minkälaisia ratkaisuja sillä haetaan, valitaan näiden ominaisuuksien kautta oikea analyysimenetelmä (Biswas & Chakrabarti, 2020). Tulevaisuus näyttääkin kuinka ennaltaehkäiseväksi eri virukset tulevat tekoälyn kehittyessä koko ajan.

Big datan hyödyntämisen mahdollisuus tekeekin tekoälyn diagnostiikasta erittäin tarkkaa ja nopeaa, joka johtaa sairauksien erittäin tarkkaan seurantaan. Pham ym. (2020) mukaan koronan kaltaisten epidemioiden syttyessä big datan avulla voidaan tarkastella ja arvioida mihin ja miten taudinpurkaukset leviävät. Ketkä kaikki ovat mahdollisesti saaneet jo tartunnan, mihin asti se on heistä voinut jo levitä, millaisia turvatoimia terveysviranomaisten pitää jakaa kansalaisille sekä mitkä alueet mahdollisesti vaativat karanteenin. Näihin kaikkiin kysymyksiin tekoäly saa vastauksen hyödyntämällä viranomaisten sekä terveysorganisaatioiden (WHO) hallussa olevia tietoja ja yhdistämällä ne kaikkeen mahdolliseen, mikä kerää ihmisistä ja taudeista dataa. Datan käsittelyyn hyödynnetään pääasiassa kone- ja syväoppimista. Ihminen ei valitettavasti pysty prosessoimaan näin valtavasti tietoa ja vertailemaan niitä toisiinsa samanaikaisesti, joten on erittäin tärkeää hyödyntää tekoälyä terveydenhuollossa. Nopeasti hengitysteiden kautta tarttuvien tautien ennaltaehkäisyyn tarvitaan nopeita ratkaisuja, varsinkin jos tauti on uusi ja siihen ei löydy valmiiksi toimivia rokotteita (Pham ym., 2020).

Tekoälystä puhutaan, että se oppii aikaisemmista tilanteista ja se pystyy hyödyntämään siitä saatua dataa myös uusissa sairauksien muodoissa. Täytyy kuitenkin muistaa, että tekoälyä voidaan joutua kouluttamaan uudelleen uusien mutaatioiden syntyessä. Vuoden 2015 zika-virukseen kehitetyt dynaamiset neuroverkot, joita käytettiin taudin leviämisen ennustamiseen eivät toimi yhteen esimerkiksi koronaepidemian tunnistamisessa (Naudé, 2020). Tällaisissa tapauksissa tekoälysystemin algoritmit on koulutettava toimimaan uuden sairauden tai viruksen ehdoilla.

## 5 YHTEENVETO

Tutkimuksessa tarkastellaan tekoälyn roolia terveydenhuollossa erityisesti sairauksien ennaltaehkäisyn ja tunnistamisen näkökulmasta. Tekoälyä käsitellään monipuolisena työkaluna, joka voi hyödyntää suurta määrää tietoa tehokkaasti ja nopeasti (Hosny ym., 2018). Tutkielmassa pyritään analysoimaan tekoälyn käyttöä terveydenhuollossa ja selvittämään sen tehokkuutta ja mahdollisuuksia sairauksien ja viruksien hallinnassa. Tekoälyä on käytetty terveydenhuollossa jo pitkään, mutta viime vuosina sen potentiaali on herättänyt enemmän kiinnostusta ja kuinka sitä pystyttäisiin integroimaan paremmin erityisesti kehitysmaihin, joissa terveydenhuollon resurssit eivät ole samalla tasolla kuin länsimaissa (Chang ym., 2019).

Ensimmäinen tutkimuskysymys oli: Miten tekoälyä hyödynnetään sairauksien ennaltaehkäisemisessä? Toinen tutkimuskysymys oli: Mitä mahdollisuuksia tekoäly tarjoaa sairauksien tunnistamiseen? Tutkimuskysymykset keskittyvät siihen, miten tekoälyä voidaan hyödyntää sairauksien ennaltaehkäisyssä ja tunnistamisessa (Allied Analytics LLP, 2020). Dataa käsitellään ja analysoidaan eri menetelmin, kuten visualisoinnilla, esikäsittelyllä ja luokittelulla, jotta se sopii paremmin tekoälyn algoritmeihin (Pietro Biancone ym., 2019). Tämä mahdollistaa tarkan diagnoosin antamisen ja potilastietojen hyödyntämisen sairauksien ymmärtämisessä (Pham ym., 2020).

Tutkimus toteutettiin kuvailevana kirjallisuuskatsauksena, jossa pyrittiin tarjoamaan kattava yhteenveto aiheesta. Aineisto on kerätty Google Scholarista ja Scopuksesta käyttäen hakusanoja "AI" ja "Artificial intelligence" yhdistettynä "medicine" tai "healthcare". Valitut artikkelit on valikoitu otsikoiden ja tiivistelmien perusteella, ja lisäksi on tutkittu lähteitä, jotka on mainittu löydetyissä artikkeleissa.

Tutkielman rakenne jakautuu neljään lukuun. Luvussa kaksi tarkastellaan tekoälyn roolia sairauksien tunnistamisessa, luvussa kolme syvennyttään syöpäteknologiaan ja luvussa neljä tarkastellaan tekoälyn roolia virusten hallinnassa. Tekoälyn integroimisessa terveydenhuoltoon on haasteita, kuten testaamisen vaatima aika ja resurssit, mutta sen potentiaali terveydenhuollon tehokkuuden parantamisessa ja sairauksien ennaltaehkäisyssä on kiistaton.

Tekoälyn rooli terveydenhuollossa erityisesti sairauksien ennaltaehkäisyssä ja tunnistamisessa on merkittävä ja lupaava. Tutkimuksen perusteella on havaittu, että tekoälyllä on kyky tallentaa, käsitellä ja hyödyntää valtavia tietomääriä älykkäästi, mikä mahdollistaa sairauksien tehokkaan tunnistamisen ja ennaltaehkäisyn. Tekoäly pystyy nopeasti analysoimaan suuria datamääriä, mikä tarjoaa uusia mahdollisuuksia terveydenhuollon tehokkuuden parantamiseen.

Tutkimuksessa havaittiin, että tekoälyllä on potentiaalia tarjota tarkempia ja nopeampia diagnostisia ratkaisuja terveydenhuollossa. Lisäksi tekoäly voi auttaa terveydenhuollon ammattilaisia tehokkaammin käsittelemään valtavia tietomääriä ja tarjoamaan yksilöllisempää hoitoa potilaille. Tekoälyn avulla voidaan myös havaita sairauksien riskitekijöitä varhaisemmin, mikä mahdollistaa tehokkaamman ennaltaehkäisyn ja hoidon.

Tulokset osoittavat, että tekoälyllä on jo käytössä olevia ratkaisuja terveydenhuollossa, mutta sen integroimisessa käytäntöön on myös haasteita. Esimerkiksi testausprosessi vie vuosia ja vaatii merkittäviä resursseja ja tekoälyn käyttöönotto terveydenhuollossa vaatii huolellista harkintaa ja testausta ennen laajamittaista käyttöönottoa. Tekoälyä hyödynnetään analysoimaan potilaan terveystietoja, jonka avulla voidaan tunnistaa riskitekijöitä eri sairauksien kehittymiselle ja ennaltaehkäisemään niitä tarpeeksi aikaisessa vaiheessa. Tekoälypohjaiset kuvantamismenetelmät auttavat lääkäreitä tunnistamaan pienetkin muutokset ihmisen kehossa. Kun muutokset huomataan varhaisessa vaiheessa, on niihin mahdollista vaikuttaa, kun tarvittavat toimenpiteet aloitetaan tarpeeksi aikaisessa vaiheessa. Jokainen tutkimus ja kuvantamis kerta tuottaa tärkeää dataa tekoälylaitteiden tietokantaan ja näitä tietoja pystytään hyödyntämään seuraavissa tutkimuksissa. Tekoäly tarjoaa laajan valikoiman mahdollisuuksia sairauksien tunnistamiseen terveydenhuollossa, mikä voi parantaa diagnoosin tarkkuutta, nopeuttaa hoitoja ja vähentää komplikaatioiden riskiä.

Tekoälyn jatkotutkimuksen mahdollisuudet on valtavat. Sitä voidaan vielä kehittää valtavasti siihen pisteeseen, että lähes kaikki terveydenhuollon toiminnot liittyvät siihen jotenkin. Jatkotutkimusaiheita voisi olla esimerkiksi "Etiikka ja tietosuojat terveydenhuollon tekoälyssä" ja "Tekoälyn vaikutus terveydenhuollon kustannuksiin ja resurssien käyttöön".

## LÄHTEET

- Abdolrasol, M. G. M., Hussain, S. M. S., Ustun, T. S., Sarker, M. R., Hannan, M. A., Mohamed, R., ... & Milad, A. (2021). Artificial neural networks based optimization techniques: a review. *Electronics*, 10(21), 2689. <https://doi.org/10.3390/electronics10212689>
- Agrawal, A., Gans, J., & Goldfarb, A. (2018). Exploring the impact of artificial intelligence: Prediction versus judgment. <https://doi.org/10.3386/w24626>
- Allied Analytics LLP (2020, June 30). Artificial Intelligence in Medicine Market to Reach \$18.12 Billion at 49.6% CAGR by 2025, Says AMR. GlobeNewswire News Room. <https://www.globenewswire.com/news-release/2020/06/30/2055625/0/en/Artificial-Intelligence-in-Medicine-Market-to-Reach-18-12-Billion-at-49-6-CAGR-by-2025-Says-AMR.html>
- Bennett, C. C., & Hauser, K. (2013). Artificial intelligence framework for simulating clinical decision-making: A Markov decision process approach. *Artificial Intelligence in Medicine*, 57(1), 9–19. <https://doi.org/10.1016/j.artmed.2012.12.003>
- Bi, Q., Goodman, K. E., Kaminsky, J., & Lessler, J. (2019). What is Machine Learning? A Primer for the Epidemiologist. *American Journal of Epidemiology*, kwz189. <https://doi.org/10.1093/aje/kwz189>
- Biswas, N., & Chakrabarti, S. (2020). Artificial Intelligence (AI)-Based Systems Biology Approaches in Multi-Omics Data Analysis of Cancer. *Frontiers in oncology*, 10, 588221. <https://doi-org.ezproxy.jyu.fi/10.3389/fonc.2020.588221>
- Bokolo Anthony Jnr (2020). Use of Telemedicine and Virtual Care for Remote Treatment in Response to COVID-19 Pandemic. *Journal of medical systems*, 44(7), 132. <https://doi-org.ezproxy.jyu.fi/10.1007/s10916-020-01596-5>
- Briganti, G., & Le Moine, O. (2020). Artificial Intelligence in Medicine: Today and Tomorrow. *Frontiers in Medicine*, 7. <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fmed.2020.00027>
- Burns, E. (2021, March). What is deep learning and how does it work? SearchEnterpriseAI. <https://www.techtarget.com/searchenterpriseai/definition/deep-learning-deep-neural-network>
- Caini, S., de Mora, D., Olmedo, M., Portugal, D., Becerra, M. A., Mejía, M., Pacurucu, M. C., Ojeda, J., Bonaccorsi, G., Lorini, C., Paget, J., & Bruno, A. (2019). The epidemiology and severity of respiratory viral infections in a tropical country: Ecuador, 2009–2016. *Journal of Infection and Public Health*, 12(3), 357–363. <https://doi.org/10.1016/j.jiph.2018.12.003>

- Calandra, D., & Favareto, M. (2020). Artificial Intelligence to fight COVID-19 outbreak impact: An overview. *European Journal of Social Impact and Circular Economy*, 84-104 Pages. <https://doi.org/10.13135/2704-9906/5067>
- Cancer. (2019, July 12). World Health Organization (WHO). [https://www.who.int/health-topics/cancer#tab=tab\\_1](https://www.who.int/health-topics/cancer#tab=tab_1)
- Cardis, E., Howe, G., Ron, E., Bebeshko, V., Bogdanova, T., Bouville, A., Carr, Z., Chumak, V., Davis, S., Demidchik, Y., Drozdovitch, V., Gentner, N., Gudzenko, N., Hatch, M., Ivanov, V., Jacob, P., Kapitonova, E., Kenigsberg, Y., Kesminiene, A., ... Zvonova, I. (2006). Cancer consequences of the Chernobyl accident: 20 years on. *Journal of Radiological Protection*, 26(2), 127-140. <https://doi.org/10.1088/0952-4746/26/2/001>
- Chan, L. (2016, February 9). Will Robots In Healthcare Make Doctors Obsolete? Tech Times. <https://www.techtimes.com/articles/131870/20160209/will-robots-in-healthcare-make-doctors-obsolete.htm>
- Chang, H. Y., Jung, C. K., Woo, J. I., Lee, S., Cho, J., Kim, S. W., & Kwak, T. Y. (2019). Artificial intelligence in pathology. *Journal of Pathology and Translational Medicine*, 53(1), 1-12. <https://doi.org/10.4132/jptm.2018.12.16>
- Choudhury, A., & Asan, O. (2020). Role of Artificial Intelligence in Patient Safety Outcomes: Systematic Literature Review. *JMIR Medical Informatics*, 8(7), e18599. <https://doi.org/10.2196/18599>
- Choudhury, A., Renjilian, E., & Asan, O. (2020). Use of machine learning in geriatric clinical care for chronic diseases: a systematic literature review. *JAMIA open*, 3(3), 459-471. <https://doi-org.ezproxy.jyu.fi/10.1093/jamiaopen/ooaa034>
- Desai, A. (2016, August 26). The Future of Healthcare: IoT, Telemedicine, Robots & Artificial Intelligence. <https://www.einfochips.com/blog/the-future-of-healthcare-iot-telemedicine-robots-artificial-intelligence/>
- FINLEX® - Säädökset alkuperäisinä: Tietosuojalaki 1050/2018. (n.d.). [Www.finlex.fi](http://www.finlex.fi). <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2018/20181050>
- Frankish, K., Ramsey, W.M., (Eds.). (2014). Introduction. In *The Cambridge Handbook of Artificial Intelligence*; Cambridge University Press: Cambridge, UK, 1-14
- Hadiyoso, S., Mardiyah, D. R., Ramadan, D. N., & Ibrahim, A. (2020). Implementation of electronic stethoscope for online remote monitoring with mobile application. *Bulletin of Electrical Engineering and Informatics*, 9(4), 1595-1603. <https://doi.org/10.11591/eei.v9i4.2231>
- Hamid, S. (2016). The Opportunities and Risks of Artificial Intelligence in Medicine and Healthcare. [Working Paper]. CUSPE. <https://doi.org/10.17863/CAM.25624>

- Hao, D., Ahsan, M., Salim, T., Duarte-Rojo, A., Esmaeel, D., Zhang, Y., Arefan, D., & Wu, S. (2022). A self-training teacher-student model with an automatic label grader for abdominal skeletal muscle segmentation. *Artificial Intelligence in Medicine*, 132, 102366. <https://doi.org/10.1016/j.artmed.2022.102366>
- Hosny, A., Parmar, C., Quackenbush, J., Schwartz, L. H., & Aerts, H. J. W. L. (2018). Artificial intelligence in radiology. *Nature Reviews. Cancer*, 18(8), 500–510. <https://doi.org/10.1038/s41568-018-0016-5>
- HPV- eli papilloomavirusrokote - THL. (n.d.). Thl.fi. Retrieved January 1, 2024, from <https://thl.fi/aiheet/infektiaudit-ja-rokotukset/rokotteet-a-o/hpv-eli-papilloomavirusrokote>
- Hu, L., Bell, D., Antani, S., Xue, Z., Yu, K., Horning, M. P., Gachuhi, N., Wilson, B., Jaiswal, M. S., Befano, B., Long, L. R., Herrero, R., Einstein, M. H., Burk, R. D., Demarco, M., Gage, J. C., Rodriguez, A. C., Wentzensen, N., & Schiffman, M. (2019). An Observational Study of Deep Learning and Automated Evaluation of Cervical Images for Cancer Screening. *JNCI: Journal of the National Cancer Institute*, 111(9), 923–932. <https://doi.org/10.1093/jnci/djy225>
- I. Zion, S. Ozuomba and P. Asuquo, "An Overview of Neural Network Architectures for Healthcare," 2020 International Conference in Mathematics, Computer Engineering and Computer Science (ICMCECS), Ayobo, Nigeria, 2020, pp. 1-8, doi: 10.1109/ICMCECS47690.2020.246980.
- Jha, S., & Topol, E. J. (2016). Adapting to Artificial Intelligence: Radiologists and Pathologists as Information Specialists. *JAMA*, 316(22), 2353. <https://doi.org/10.1001/jama.2016.17438>
- Kasai, H. What causes human cancer? Approaches from the chemistry of DNA damage. *Genes and Environ* 38, 19 (2016). <https://doi-org.ezproxy.jyu.fi/10.1186/s41021-016-0046-8>
- Kumar, S., Clarke, D., & Gerstein, M. B. (2019). Leveraging protein dynamics to identify cancer mutational hotspots using 3D structures. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 116(38), 18962–18970. <https://doi.org/10.1073/pnas.1901156116>
- Lopes, U. K., & Valiati, J. F. (2017). Pre-trained convolutional neural networks as feature extractors for tuberculosis detection. *Computers in Biology and Medicine*, 89, 135–143. <https://doi.org/10.1016/j.combiomed.2017.08.001>
- Malasinghe, L.P., Ramzan, N. & Dahal, K. Remote patient monitoring: a comprehensive study. *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing* 10, 57–76 (2019). <https://doi-org.ezproxy.jyu.fi/10.1007/s12652-017-0598-x>



- MedlinePlus. (2014). Imaging and radiology: MedlinePlus Medical Encyclopedia. Medlineplus.gov.  
<https://medlineplus.gov/ency/article/007451.htm>
- Naudé, W. (2020). Artificial Intelligence Against Covid-19: An Early Review. *SSRN Electronic Journal*. <https://doi.org/10.2139/ssrn.3568314>
- Pietro Biancone, P., Secinaro, S., Brescia, V., & Calandra, D. (2019). Data Quality Methods and Applications in Health Care System: A Systematic Literature Review. *International Journal of Business and Management*, 14(4), 35.  
<https://doi.org/10.5539/ijbm.v14n4p35>
- Q. -V. Pham, D. C. Nguyen, T. Huynh-The, W. -J. Hwang and P. N. Pathirana, "Artificial Intelligence (AI) and Big Data for Coronavirus (COVID-19) Pandemic: A Survey on the State-of-the-Arts," in *IEEE Access*, vol. 8, pp. 130820-130839, 2020, doi: 10.1109/ACCESS.2020.3009328.
- Reddy, A., Conde, C., Peterson, C., & Nugent, K. (2022). Residential radon exposure and cancer. *Oncology Reviews*, 16(1).
- Reid, B., Orgle, J., Roy, K., Pongolani, C., Chileshe, M., & Stoltzfus, R. (2018). Characterizing Potential Risks of Fecal–Oral Microbial Transmission for Infants and Young Children in Rural Zambia. *The American Journal of Tropical Medicine and Hygiene*, 98(3), 816–823.  
<https://doi.org/10.4269/ajtmh.17-0124>
- Salminen, A. (2011). Mikä kirjallisuuskatsaus?: johdatus kirjallisuuskatsauksen tyyppeihin ja hallintotieteellisiin sovelluksiin.  
<https://urn.fi/URN:ISBN:978-952-476-349-3>
- Santosh, K.C. AI-Driven Tools for Coronavirus Outbreak: Need of Active Learning and Cross-Population Train/Test Models on Multitudinal/Multimodal Data. *J Med Syst* 44, 93 (2020). <https://doi-org.ezproxy.jyu.fi/10.1007/s10916-020-01562-1>
- Saxe, A., Nelli, S., & Summerfield, C. (2020). If deep learning is the answer, what is the question? *Nature Reviews Neuroscience*, 22.  
<https://doi.org/10.1038/s41583-020-00395-8>
- Schwalbe, N., & Wahl, B. (2020). Artificial intelligence and the future of global health. *The Lancet*, 395(10236), 1579–1586. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(20\)30226-9](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(20)30226-9)

- Secinaro, S., Calandra, D., Secinaro, A., Muthurangu, V., & Biancone, P. (2021). The role of artificial intelligence in healthcare: A structured literature review. *BMC Medical Informatics and Decision Making*, 21, 125. <https://doi.org/10.1186/s12911-021-01488-9>
- Seulonta. (n.d.). Syöpärekisteri. Retrieved December 30, 2023, from <https://syoparekisteri.fi/seulonta/>
- Shakoor, S., Warraich, H. J., & Zaidi, A. K. M. (2020). Infection Prevention and Control in the Tropics. *Hunter's Tropical Medicine and Emerging Infectious Diseases*, 159–165. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-55512-8.00020-X>
- Shickel, B., Tighe, P. J., Bihorac, A., & Rashidi, P. (2018). Deep EHR: A Survey of Recent Advances in Deep Learning Techniques for Electronic Health Record (EHR) Analysis. *IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics*, 22(5), 1589–1604. <https://doi.org/10.1109/JBHI.2017.2767063>
- Siegel, R. L., Miller, K. D., Wagle, N. S., & Jemal, A. (2023). Cancer statistics, 2023. *CA: A Cancer Journal for Clinicians*, 73(1), 17–48. <https://doi.org/10.3322/caac.21763>
- Tan, A., Rusli, K., McKenna, L., Tan, L., & Liaw, S. (2021). Telemedicine experiences and perspectives of healthcare providers in long-term care: A scoping review. *Journal of Telemedicine and Telecare*, 30, 1357633X211049206. <https://doi.org/10.1177/1357633X211049206>
- Tandjaoui-Lambiotte, Y., Lomont, A., Moenne-Loquez, P., Seytre, D., & Zahar, J. R. (2023). Spread of viruses, which measures are the most apt to control COVID-19? *Infectious Diseases Now*, 53(2), 104637. <https://doi.org/10.1016/j.idnow.2022.12.002>
- Tran, B. X., Vu, G. T., Ha, G. H., Vuong, Q. H., Ho, M. T., Vuong, T. T., La, V. P., Ho, M. T., Nghiem, K. P., Nguyen, H. L. T., Latkin, C. A., Tam, W. W. S., Cheung, N. M., Nguyen, H. T., Ho, C. S. H., & Ho, R. C. M. (2019). Global Evolution of Research in Artificial Intelligence in Health and Medicine: A Bibliometric Study. *Journal of clinical medicine*, 8(3), 360. <https://doi.org.ezproxy.jyu.fi/10.3390/jcm8030360>
- Tuberculosis (TB). (n.d.). Retrieved 29 January 2024, from <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/tuberculosis>
- Uthoff, R. D., Song, B., Sunny, S., Patrick, S., Suresh, A., Kolar, T., Keerthi, G., Spires, O., Anbarani, A., Wilder-Smith, P., Kuriakose, M. A., Birur, P., & Liang, R. (2018). Point-of-care, smartphone-based, dual-modality, dual-view, oral cancer screening device with neural network classification for low-resource communities. *PLOS ONE*, 13(12), e0207493. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0207493>

- Vaishya, R., Javaid, M., Khan, I. H., & Haleem, A. (2020). Artificial Intelligence (AI) applications for COVID-19 pandemic. *Diabetes & Metabolic Syndrome*, 14(4), 337–339. <https://doi.org/10.1016/j.dsx.2020.04.012>
- Wahl, B., Cossy-Gantner, A., Germann, S., & Schwalbe, N. R. (2018). Artificial intelligence (AI) and global health: How can AI contribute to health in resource-poor settings? *BMJ Global Health*, 3(4), e000798. <https://doi.org/10.1136/bmjgh-2018-000798>
- Wogan, G. N., Hecht, S. S., Felton, J. S., Conney, A. H., & Loeb, L. A. (2004). Environmental and chemical carcinogenesis. *Seminars in Cancer Biology*, 14(6), 473–486. <https://doi.org/10.1016/j.semcancer.2004.06.010>
- Yassine, H. M. and Shah, Z. (2020). How could artificial intelligence aid in the fight against coronavirus?. *Expert Review of Anti-Infective Therapy*, 18(6), 493-497. <https://doi.org/10.1080/14787210.2020.1744275>