

## Tekoälysovellukset rannemurtumien diagnostiikassa

LK Arttu Niemensivu  
Syventävien tutkielma  
Lääketieteen tutkinto-ohjelma  
Lääketieteellinen tiedekunta  
Oulun Yliopisto  
3/2022  
LT Elias Vaattovaara  
Dos Mika Nevalainen

OULUN YLIOPISTO  
Lääketieteellinen tiedekunta  
Lääketieteen tutkinto-ohjelma

## TIIVISTELMÄ

Niemensivu, Arttu:  
Syventävien opintojen tutkielma 21 sivua:

Rannemurtumat röntgenkuvissa  
21 sivua, 0 liitettä

---

Tutkielmassa käsittelemme röntgenkuvien rannemurtumia ja yleiskatsauksessa rannemurtumien yleisyyttä, kuvantamista ja konservatiivista - ja operatiivista hoitoa. Rannemurtumat ovat hyvin yleisiä murtumia. Niiden esiintyvyys on suurinta nuorilla miehillä ja ikääntyvillä naisilla. Rannemurtumien luokitteluun on kehitetty lukuisia luokittelujärjestelmiä, joiden tavoitteena on helpottaa ammattilaisten välistä kommunikaatiota. Rannemurtumaepäilyssä ranne tutkitaan huolellisesti ja jos herää epäily murtumasta, niin kuvataan ranteen röntgenkuva. Päivystystilanteissa klinikko joutuu yleensä itsenäisesti tulkitsemaan ranteen röntgenkuvia. Rannekuvien tulkinnassa on olennaista keskittyä kliinisesti merkittäviin seikkoihin. Tutkielmassa kuvataan rannemurtumien röntgendiagnostiikkaa ja kuvista saatavaa tietoa. Viime vuosina on kehitetty useita tekoälyä hyödyntäviä sovelluksia murtumien havaitsemisen avuksi, vaihtelevin tuloksin. Tutkielmassa käydään läpi aikaisemmin kehitettyjä rannemurtumia käsitteleviä tekoälysovelluksia ja myös tekoälyn toimintaa yleisesti. Radiologisten kuvien tulkintaan käytetään konvoluutioneuroverkkoja hyödyntäviä koneoppimisalgoritmeja, joiden yleinen rakenne kuvataan tutkielmassa. Lopuksi esitellään oma tutkimuksemme ja sen tulokset.

Avainsanat: rannemurtuma, tekoäly, syväoppiminen, koneoppiminen, massadata, radiologia, lääketieteellinen kuvantaminen

## SISÄLLYSLUETTELO

|   |    |
|---|----|
| 1. JOHDANTO .....   | 4  |
| 2. RANNEMURTUMIEN EPIDEMIOLOGIAA .....                                      | 4  |
| 3. RANNEMURTUMIEN DIAGNOSTIIKKA .....                                       | 5  |
| 3.1 Rannemurtumien luokittelu .....   | 6  |
| 4. RANNEMURTUMIEN HOITO .....   | 9  |
| 4.1. Rannemurtumien konservatiivinen hoito .....                            | 10 |
| 4.2. Rannemurtumien operatiivinen hoito .....                               | 10 |
| 5. RANNEMURTUMIEN RÖNTGENKUVADIAGNOSTIIKKA .....                            | 11 |
| 5.1. AP-projektioista arvioitavat mitat .....                               | 12 |
| 5.2. Sivuprojektioista arvioitavat mitat .....                              | 12 |
| 6. TEKOÄLYN KÄYTTÖ RÖNTGENKUVADIAGNOSTIIKASSA .....                         | 13 |
| 7. AIEMMAT RANNEMURTUMIEN HAVAITSEMISEEN KEHITETYT TEKOÄLYSOVELLUKSET ..... | 16 |
| 8. OMAN TUTKIMUKSEN LÄPIKÄYNTI .....  | 17 |
| 9. JOHTOPÄÄTÖKSET .....   | 20 |
| LÄHDELUETTELO .....   | 21 |

## 1. JOHDANTO

Rannemurtumat ovat hyvin yleisiä ja aiheuttavat merkittäviä kustannuksia terveydenhuollolle. Lisäksi ne aiheuttavat inhimillistä kärsimystä ja heikentävät potilaiden elämänlaatua, erityisesti vanhusväestössä. Tässä kirjoitelmassa keskitytään pääsääntöisesti aikuisten rajuksen pään murtumiin (distal radial fractures, distaalisen rajuksen murtumat), sivuten myös pediatristen potilaiden rannemurtumia. Termillä rannemurtuma viitataan yleisesti distaalisen rajuksen murtumaan.

Vanhuksilla rannemurtumat johtavat toimintakyvyn alenemiseen, josta voi seurata jopa lisääntyntä kuolleisuutta (Øyen ym 2014, Rundgren ym. 2020). Myös avun tarve kasvaa ja kotona pärjääminen heikkenee rannemurtuman seurauksena. Rannemurtumat aiheuttavat terveydenhuollolle merkittäviä kustannuksia. Lisäksi yhteiskunnalle koituu kustannuksia sairauslomien ja kuntoutumisen aikaisesta työkyvyttömyydestä.

## 2. RANNEMURTUMIEN EPIDEMIOLOGIAA

Rannemurtumat ovat länsimaiden yleisimpiä murtumia. Ne kattavat noin 17 % kaikista murtumista (Court-Brown ym. 2006). Niiden esiintyvyys on noussut viime aikoina. Tämän arvellaan johtuvan muun muassa elämäntyylin muutoksista, lapsuusiän liikalihavuudesta sekä osteoporoosista (Porrino ym. 2014). Rannemurtumien esiintyvyysjakauma on kaksihuippuinen, ollen suurimmillaan nuorilla miehillä sekä postmenopausaalisilla naisilla (Court-Brown ym. 2006). Rundgren ym. 2020 totesivat tutkimuksessaan, että ainakin ruotsalaisessa väestössä talvella rannemurtumia oli huomattavasti enemmän, kuin muina vuodenaikoina. Samassa tutkimuksessa huomattiin, että 18–65-vuotiaiden rannemurtumat ovat yleisempiä viikonloppuina kuin arkipäivinä (Rundgren ym. 2020). Tutkimuksesta voisi vetää varovaisen johtopäätöksen, että talven liukkaat kelit ovat riskitekijä kaatumiselle ja niiden seurauksena syntyville rannemurtumille ja vapaa-aika ja siihen mahdollisesti liittyvä alkoholinkäyttö ovat myös rannemurtuminen riskitekijöitä.

Lapsilla rannemurtumat ovat yleisimmillään puberteetti-ässä, osittain tätä selittää luuston suhteellisen matala mineralisaatio tuossa iässä (Porrino ym. 2014). Poikien rannemurtumat ovat yleisempiä kuin tyttöjen. Tätä selittää ainakin osittain poikien riskialttiimpi toiminta ja harrastukset.

Pediatriassa potilailla rannemurtumien tyypillinen syntymekanismi on urheiluvamma, onnettomuus moottoriajoneuvolla tai leikkiminen (Porrino ym. 2014).

Rannemurtumien esiintyvyys on 19–49-vuotiailla pienempää kuin tätä vanhemmilla ja lapsilla. Tässäkin ikäryhmässä esiintyvyys on suurempaa miehillä kuin naisilla. Rannemurtumien esiintyvyys lisääntyy voimakkaasti naisilla viidenkymmenen ikävuoden jälkeen. Aikuisilla rannemurtumien selvästi yleisin syntymekanismi on kaatuminen samalla tasolla, kun ojennetulla kädellä otetaan vastaan. Muita mahdollisia mekanismeja ovat mm. liikenneonnettomuus ja putoaminen (Rundgren ym. 2020). Vanhuksilla rannemurtumat ovat hyvin yleisiä. Ne ovat yleisempiä naisilla, todennäköisesti osteoporoosin vuoksi. Vanhusväestölläkin tyypillinen murtumamekanismi on kaatuminen (Porrino ym. 2014).

### **3. RANNEMURTUMIEN DIAGNOSTIIKKA**

Kun potilas hakeutuu lääkärin arvioon tapaturman, vamman jälkeisen ranteen alueen kivun vuoksi, kysytään potilaalta ensin riittävät esitiedot. Näihin kuuluvat vammamekanismi, kipuanamneesi, käden toimintahäiriöt, deformiteetti, onko potilas vasen- vai oikeakätinen sekä mitä työtä potilas tekee. Potilaalta kysytään myös mahdolliset aikaisemmat ranteen alueen vammat, nivelrikko ja onko aikaisemmin todettu osteoporoosia (Levin ym. 2017). Potilaan trauman saanut yläraaja tulee tutkia systemaattisesti, esimerkiksi distaalipäästä aloittaen proksimaalisuuntaan edeten. Tutkimuksessa arvioidaan mahdollisia deformiteetteja, palpaatioarkuutta ja suljetaan pois avomurtumat. Raajan verenkierto arvioidaan kapillaaritäyttöä tarkastelemalla, lisäksi tunnustellaan radialis- ja ulnarisvaltimoiden pulssit ja raajan hermotus radialis-, ulnaris ja medianushermoston hermottamilta alueilta (Levin ym. 2017). Huolellisella kliinisellä yläraajan tutkimuksella poissuljetaan liitännäisvammat (Dua ym. 2017). Tyypillisiä liitännäisvammoja ovat esimerkiksi hermo-, verisuoni- ja jännevammat.

Huolellisten esitietojen ja kliinisen tutkimuksen perusteella rannemurtumaa epäiltäessä, radiologiset tutkimukset ovat aiheellisia. Ensilinjan kuvantamistutkimus on lähes aina tavanomainen röntgenkuvaus. Kun epäillään ranteen distaalista murtumaa, on tarkoituksenmukaista kuvata ainakin kaksi projektiota: anteroposteriorinen (AP) - sekä lateraalinen projektiio, joskus myös viistoprojektiio (Porrino ym. 2014). AP-projektiossa potilaan kyynärniveli sekä olkavarsi ovat molemmat 90 asteen kulmassa ja kyynärvarsi neutraalissa rotaatiossa. Oikeaoppista sivuprojektiota

ottaessa ei tulisi olla kyynärvarren pronaatiota eikä supinaatiota. Tavanomaisen röntgenkuvan etuna ovat muun muassa hyvä saatavuus, halpuus sekä matala säderasitus (Porrino ym. 2014). Suurin osa distaalisen rajuksen murtumista pystytään diagnosoimaan tavallisen röntgenkuvan avulla luotettavasti.

Kuvantamismodaliteeteista tietokonetomografia (TT) sekä magneettikuvaus (MRI) ovat distaalisen rajuksen murtumien radiologisessa diagnostiikassa huomattavasti tarkempia kuin tavanomainen röntgenkuva. Kuitenkin hinta ja saatavuus tekevät TT- ja MRI-tutkimusten rutiininomaisen käytön epäkäytännölliseksi rajuksen murtumien seulonnassa (Porrino ym. 2014).

Kuitenkin TT- ja MRI-kuvantamisella on omat käyttöaiheensa myös rajuksen distaalisten murtumien diagnostiikassa. TT antaa tarkempaa tietoa murtumasta, MRI puolestaan saadaan tarkkan pehmytkudosnäkyvän ansiosta tietoa murtumaan liittyvistä pehmytkudosvaurioista. Tämän vuoksi MRI- ja TT-tutkimuksia voidaan käyttää mahdollisten röntgenkuvassa näkymättömien murtumien ja liitännäisvammojen tunnistamiseen.

### 3.1 Rannemurtumien luokittelu

Vuosien saatossa on kehitetty lukuisia luokittelujärjestelmiä, joilla on pyritty parantamaan diagnostiikkaa ja murtumien hoitolinjauksia. Luokittelulla pyritään helpottamaan ammattilaisten välistä kommunikointia ja hyvän luokittelujärjestelmän vaatimuksena onkin, että eri arvioijat todennäköisesti päätyvät samaan lopputulokseen tietyn luokitusjärjestelmän sisällä (Meinberg ym. 2018). Tunnetuimpia luokittelujärjestelmiä distaalisen rajuksen murtumissa ovat Arbeitsgemeinschaft für Osteosynthesefragen/Orthopaedic Trauma Association (OA/OTA) luokitus (Rundgren ym. 2020), Fernandezin luokitus, Frykmanin luokitus ja Melonen luokitus (Porrino ym. 2014). Luokitukset ovat ainutlaatuisia ja niillä on eri tilanteissa omat käyttötarkoituksensa. Luokittelujärjestelmien painottamia parametreja ovat esimerkiksi murtumakappaleen siirtymä, murtuman sijainti, ja liitännäisvammot esimerkiksi ulnan murtuma tai pehmytkudosvaurio. Pediatrien potilaiden kasvulevyä affisioivat murtumat luokitellaan Salter-Harris luokittelulla (Dua ym. 2017). Nykyisistä luokittelujärjestelmistä mitään ei pidetä ylivertaisina muihin nähden (Porrino ym. 2014).

OA/OTA-luokitus pyrkii kuvaamaan murtuman vakavuutta ja murtumalinjojen sijaintia suhteessa nivelpintaan. Murtumat luokitellaan koodilla, jossa murtuman sijainti asetetaan ensin. Distaalisen rajuksen tapauksessa murtuman sijainnin numerokoodi on 23. Edelleen rajuksen distaaliset

murtumat jaetaan kolmeen pääryhmään: ekstra-artikulaarisiin (A), osittain artikulaarisiin (B) sekä intra-artikulaarisiin (C) (Rundgren ym. 2020). Nämä luokitellaan edelleen murtumalinjojen sijainnin perusteella kolmeen alaluokkaan tiettyjen kriteerien perusteella. Näin ollen OA/OTA luokituksessa ovat tyyppiä 23-A1-3/B1-3/C1-3 (Rundgren ym. 2020).

Muista luokittelujärjestelmistä Fernandezin luokitus luokittelee murtumia vammamekanismin perusteella luokkiin 1–5 (Jupiter & Fernandez 1997) ja Frykmanin luokitus röntgenkuvalöydöksen perusteella luokkiin I-VIII (Käypähoito 2016).

Usein luokittelussa käytetään eponyymejä, jotka ovat saaneet nimensä historiassa vaikuttaneiden tutkijoiden ja lääkäreiden nimistä. Tietty eponyymi vastaa tiettyä murtumatyyppiä. Eponyymit ovat tietyissä tapauksissa käyttökelpoisia, mutta usein ne ovat epäluotettavia (Porrino ym. 2014).

Yleisesti käytettyjä eponyymejä ovat mm. Collesin (kuva 1 ja 2), Smithin (kuva 3 ja 4), Bartonin ja Hutchinsonin murtumat. Collesin murtumalla tarkoitetaan metafyysialueen murtumaa, jossa radiuksen pään murtuma on dislokoitunut tai taipunut dorsaalisuuntaan (Colles & Green 1814). Collesin murtumaa nimitetään myös ranteen tyypimurtumaksi. Smithin murtumassa metafyysialue on murtunut siten, että murtuma on dislokoitunut tai taipunut volaarisuuntaan (Porrino ym. 2014, Käypähoito 2016). Bartonin murtuma jaetaan volaariseksi ja dorsaaliseksi Bartonin murtumaksi. Näissä radiuksessa on dislokoitunut murtuma volaarisessa tai dorsaalisisessa nivelpinnassa, ja tämä on siirtynyt volaariseen tai proksimaaliseen suuntaan (Käypähoito 2016). Hutchinsonin murtumassa distaalisen radiuksen puikkolisäkettä tai veneluuta vastaavaan nivelpintaan syntyy murtuma, jossa murtumakappale siirtyy proksimaalisuuntaan (Käypähoito 2016).



*Kuva 2 Collesin murtuma AP-kuvassa*



*Kuva 1 Collesin murtuma sivukuvassa*



*Kuva 3 Smithin murtuma AP-kuvassa*



*Kuva 4 Smithin murtuma sivukuvassa*



## 4. RANNEMURTUMIEN HOITO

Distaalisten rannemurtumien hoito vaihtelee paljon. Hoito valitaan rannemurtuman vaikeusasteen ja tyyppin perusteella. Hoitolinjat vaihtelevat hieman paikallisten hoitokäytäntöjen mukaan. Suuri osa distaalisen radiuksen saaneista potilaista voidaan hoitaa konservatiivisesti, hyvin funktionaalisiin tuloksiin (Bentohami ym. 2014). Kirjallisuudessa tutkijoiden kanta immobilisaation kestosta rannemurtumien hoidossa vaihtelee laajasti, viikosta kuuteen viikkoon (Bentohami ym. 2014). Joissain vanhemmissa tutkimuksissa osaa ei-dislokoituneiden murtumien immobilisaatiota ei nähty tarpeelliseksi (Abbaszadegan ym. 1989 & Dias ym. 1987), mutta nykyään käytännössä kaikki rannemurtumat immobilisoidaan toteamisvaiheessa. Turvalliseksi immobilisaation kestoksi on arvioitu minimissään 3 viikkoa (Bentohami ym. 2014). Kuitenkin siten, että immobilisaation tulisi olla mahdollisimman lyhytkestoinen. Optimaalisen kestoisella immobilisaatiolla saavutetaan nopeampi töihin palaaminen ja nopeampi toipuminen vammasta (Bentohami ym. 2014). Tämä johtuu mm. vähäisemmästä lihasten surkastumisesta lyhyemmän immobilisaation aikana. Suomalaisen rannemurtumien käypähoito-suositus suosittaa kipsausajaksi 4–5 viikkoa (Käypähoito 2016).

Tavallisesti hoitolinja jakautuu alkuvaiheessa, murtuman toteamisesta (primaarivaiheessa) ei-operatiiviseen ja operatiiviseen hoitoon (Rundgren ym. 2020). Primaarivaiheen operatiivinen hoito jakaantuu edelleen esimerkiksi levykiinnitykseen tai ulkoiseen kiinnitykseen. Usein myös primaarivaiheessa ei-operatiivisesti hoidetut dislokoituneet radiuksen distaaliset murtumat joudutaan hoitamaan operatiivisesti (Rundgren ym. 2020). Jos murtuma päädytään hoitamaan konservatiivisesti, olisi murtuman paranemista syytä kontrolloida 3 viikon ajan ja lisäksi immobilisaation päättyessä (Lichman ym. 2013). Mikäli distaalisen radiuksen murtumapotilaalla on asianmukaisen hoidon jälkeen kipua, tulisi potilas arvioida uudelleen. Tyypillisesti radiuksen distaaliin murtumiin liittyvä kipu häviää tai vähenee merkittävästi, kun murtuma on asianmukaisesti hoidettu (Lichman ym. 2013). Murtuman ollessa nivelenulkoinen, hoitotulokset ovat yleensä hyviä. Nivelensisäisissä murtumissa komplikaatiot, kuten vammanjälkeinen nivelrikko, ovat yleisiä (Porrino ym. 2014). Rannemurtuman jälkeen ranteen toiminnan parantuminen on usein hyvällä mallilla jo 3 kuukauden kuluttua, hankalammissa murtumissa parantuminen on usein hitaampaa. Lopullinen parantuminen rannemurtumasta voi viedä jopa 6–12 kuukautta (Käypähoito 2016).

#### 4.1. Rannemurtumien konservatiivinen hoito

Jos murtuma on hyvin vähäisesti dislokoitunut, voidaan lastahoito aloittaa ilman reponaatiota. Jos dislokaatio on merkittävää, murtuma reponoidaan ja tämän jälkeen murtuma lastoitetaan tai kipsataan. Toimenpiteen jälkeen tulee tarkistaa murtuman asento kipsissä röntgenkuvalla, lisäksi raajan sensoriikka on syytä tarkastaa. Reponointitekniikka riippuu dislokoituneen murtuman tyypistä (Levin ym. 2017). Reponaation perusideana on asettaa luupinnat sellaiseen asentoon, joka mahdollistaa luutumisen ehyeksi ja hyvän asennon. Seurannan ja röntgenkontrollien tarve ja tiheys arvioidaan potilaskohtaisesti, yhteisymmärryksessä potilaan kanssa (Käypähoito 2016). Mikäli röntgenkuvaseurantaan päädytään, konservatiivisesti hoidetuissa rannemurtumissa tulee viikon kohdalla röntgenkuva kontrolloida. Tällöin myös jatkokontrollit olisi hyvä järjestää seuraavien viikkojen ajan kipsin poistoon saakka sekundaarisen virheasennon havaitsemiseksi (Levin ym. 2017). Jos seurannoissa havaitaan, että murtuma ei parane odotetusti tai virheasento on selvästi huonontunut, tulee arvioida uudelleen operatiivisen hoidon tarvetta.

Pediatriisilla potilailla hoitolinjan valintaan vaikuttaa muun muassa potilaan ikä, murtuman tyyppi ja jäljellä oleva luiden kasvu (Dua ym. 2017). Lapsilla reponoidun murtuman ei tarvitse olla täysin anatomisessa asennossa, koska lasten luusto rakentuu tehokkaasti uudelleen (bone turnover) ja kasvu korjaa pienet virheasennot. Tästä johtuen lapsipotilailla saadaan hyviä hoitotuloksia ja vähän komplikaatioita (Porrino ym. 2014). Pediatriisilla potilailla konservatiivinen hoito on edellä mainituiden seikkojen vuoksi ensisijainen ja yleisin hoitolinja. Jos murtuma affisoi kasvulevyjä, ei tule reponaatiota suorittaa komplikaatoriskin vuoksi (Dua ym. 2017).

#### 4.2. Rannemurtumien operatiivinen hoito

Operatiivisella hoidolla saadaan tietyissä tilanteissa konservatiivista hoitoa parempia tuloksia. Usein kuitenkin operatiivisen hoidon haitat voivat ylittää saavutettavan hyödyn verrattuna konservatiiviseen hoitoon. Tämän vuoksi operatiivinen hoito on selvästi vähäisemmässä roolissa rannemurtumien hoidossa, erityisesti iäkkäämmässä väestössä.

Operatiivisella hoidolla pyritään palauttamaan ranteen anatomia mahdollisimman lähelle normaalia. Operatiivisessa hoidossa pyritään korjaamaan murtuman aiheuttama lyhentymä, kallistumat, pienentynyt inkliinaatiokulma tai nivelpinnan vauriot (Käypähoito 2016). Tilanteita, jossa

operatiivista hoitoa harkitaan, ovat mm. reponoinnista huolimatta merkittävä virheasento, vaikea pirstaleinen murtuma ja nivelrakoon ylettyvä murtuma.

Distaalisen radiuksen operatiivisia hoitovaihtoehtoja on useita. Näitä ovat esimerkiksi ulkoinen kiinnitys erilaisia kiinnityslaitteita käyttämällä, perkutaaninen Kirscher wire kiinnitys, muut metallipiikit ja ruuvit sekä avoin reduktio ja ulkoinen kiinnitys (Johnson N & Dias J 2019, Vaghela ym. 2020). Ulkoisessa kiinnityksessä käytetään volaarista tai dorsaalista levyä kiinnittämään murtuma ulkoisesti paikalleen.

Ulnan puikkolisäkkeen murtumat ovat melko tavallisia radiuksen distaalipään murtumien yhteydessä. Tutkimusten valossa ei ole selvää, saavutetaanko lisähyötyjä, jos ulnan puikkolisäke korjataan kiinnityksellä (Lichman ym. 2013).

Distaalisen rannemurtuman hoito määräytyy siis murtuman vaikeusasteen mukaan, hoitolinjaan vaikuttaa muun muassa potilaan aiempi toimintakyky, murtuman oheisvauriot sekä paikalliset hoitokäytännöt.

## **5. RANNEMURTUMIEN RÖNTGENKUVADIAGNOSTIIKKA**

Tavanomainen röntgenkuvaus on yleensä riittävä rannemurtuman toteamisessa. Useimmiten AP- ja lateraaliprojektiot riittävät tarvittavan tiedon saamiseksi. Joskus on tarpeellista kuvata myös viistoprojektio (Levin ym. 2017). Erityisesti distaalisen radiuksen murtumissa voidaan arvioida lukuisia mittoja, joista yleisesti arvioitavia ovat mm. radiuksen inkliinaatio, korkeus ja volaarinen kallistuma (Porrino ym. 2014 & Levin ym. 2017).

Käytännössä distaalisen radiuksen röntgenkuvia arvioidessaan, radiologin tulisi Porrino ym. mukaan arvioida röntgen-kuvista erityisesti kliinisesti merkittäviä seikkoja ja vastata ainakin seuraaviin kysymyksiin: todetaanko osteopeniaa, onko viitteitä pehmytkudosvauriosta, onko murtuma pirstaleinen, affisioiko murtuma nivelrakoa, onko murtuma dislokoitunut, onko poikkeavaa volaarista tai dorsaalista kallistumaa, onko distaalisen radioulnaarinivelen dislokaatiota tai sublukaatiota, onko muita murtumia, kuten esimerkiksi ulnan processus styloideus murtunut (Porrino ym. 2014). Seuraavissa kappaleissa käydään läpi Porrino ym. julkaisussa esiteltyjä mittoja ja määritelmiä, jotka voidaan määrittää ranteen AP- ja lateraalikuvista.

### 5.1. AP-projektiosta arvioitavat mitat

AP-projektiosta määritetään radiuksen pituus (radial length), jonka avulla voidaan arvioida radiuksen lyhentymää murtuman seurauksena. Määrittäminen tapahtuu piirtämällä kaksi, radiuksen akseliin nähden kohtisuoraa viivaa, toinen radiuksen processus styloideuksen päähän ja toinen ulnan pään ja radiuksen nivelpinnan tasolle. Tämän pituus on normaalitilanteessa noin 12 mm (Porrino ym. 2014). Toinen AP-projektiosta määritettävä mitta on radiaalinen inkliinaatiokulma (radial inclination) (Porrino ym. 2014). Tällä tarkoitetaan kulmaa, joka muodostuu radiuksen nivelpinnan mukaan piirretyn viivan sekä ulnan pään ja radiuksen nivelpinnan tasolle piirretyn vaakausoran viivan välille. Radiaalinen inkliinaatiokulma on tavallisesti 13–30 astetta (Porrino ym. 2014). AP-kuvasta arvioidaan lisäksi ulnaarinen varianssi (ulnar variance). Se määritetään piirtämällä kaksi radiuksen akseliin nähden kohtisuoraa viivaa, joista toinen tulee ulnan pään tasolle ja toinen radiuksen sigmoid notchin tasolle. Viivojen avulla verrataan, projisoituuko ulna distaalisesti vai proksimaalisesti radiuksen nivelpintaan nähden. Tämän perusteella ulnaarinen varianssi arvioidaan neutraaliksi, negatiiviseksi tai positiiviseksi. Jos ulna on radiusta pidempi, ulnaarinen varianssi on positiivinen. Radiusen pään proksimaalinen siirtymä (Radial translation ratio) määritetään myös AP-kuvasta (Porrino ym. 2014).

### 5.2. Sivuprojektiosta arvioitavat mitat

Sivuprojektiosta arvioidaan volaarinen (volar tilt) ja dorsaalinen kallistuma. Nämä määritetään radiusen sentraalisen akselin suhteen kohtisuoran viivan ja radiusen distaalipään nivelpinnan suhteen kohtisuoran viivan välille muodostuvaksi kulmaksi. Normaalitilanteessa sivuprojektiossa nähdään suhteellista volaarista kallistumaa, noin 10–11 asteen verran (Käypähoito 2016, Porrino ym. 2014). Distaalisen radiusen murtumassa voidaan nähdä normaalin volaarisen kallistuman menetys ja voidaan nähdä lisääntyntä volaarista kallistumaa tai dorsaalista kallistumaa (Porrino ym. 2014). Sivuprojektiosta voidaan arvioida myös ns. Teardrop-kulma, joka määritetään piirtämällä radiusen akselin suhteen piirretyn viivan ja lunate facet -teardropin läpi viiva. Näiden välistä kulmaa sanotaan Teardrop-kulmaksi, joka on normaalisti noin 70 astetta (Porrino ym. 2014).

Taulukossa 1 on esitetty Suomalaisen käypähoito-suosituksen mukaisia radiologisesti arvioitavia hyväksyttävän tyypimurtuman raja-arvoja alle 65-vuotiaille potilaille rannemurtuman suhteen. Jos näitä tavoitteita ei saavuteta selvästi konservatiivisella hoidolla, tulee harkita operatiivisen hoidon tarvetta (Käypähoito 2016).

Taulukko 1: Värttinäluun alaosan (distaalinen radius) tyypimurtuman hyväksyttävän asennon kriteerit alle 65-vuotiailla (käypähoito 2016):

| Röntgenparametri           | Hyväksyttävän asennon raja-arvo |
|----------------------------|---------------------------------|
| Dorsaalinen kallistuskulma | $\leq 15^\circ$                 |
| Volaarinen kallistuskulma  | $\leq 20^\circ$                 |
| Värttinäluun lyhentymä     | $\leq 3$ mm                     |
| Pykälä nivelpinnassa       | $\leq 1$ mm                     |
| Rako nivelpinnassa         | $\leq 1$ mm                     |
| Inklinaatiokulma           | $\geq 15^\circ$                 |

## 6. TEKOÄLYN KÄYTTÖ RÖNTGENKUVADIAGNOSTIIKASSA

Tekoälyllä tarkoitetaan yleisesti tietokonealgoritmeja, jotka kykenevät suoriutumaan tyypillisesti ihmisellekin haastetta tuottavista tehtävistä. Koneoppiminen on taas tekoälyn alaluokka, jossa tekoälyalgoritmi kykenee muuttamaan toimintaansa reagoimalla sen saamaan dataan. Neuroverkot puolestaan ovat eräänlaisia koneoppimisalgoritmeja, joiden idea perustuu ihmisaivojen hermoston toimintaan.

Tekoälyä on tutkittu lääketieteen diagnostiikan ja hoidon apuna runsaasti viime vuosina. On havaittu, että koneoppiminen ja tekoäly voivat tuoda käänntekeviä muutoksia terveydenhuollon toimintaan muun muassa tukemalla klinikkujen hoitopäätöksiä, parantamalla diagnostiikan ja hoitopäätösten tarkkuutta ja tehokkuutta (Chang ym. 2020). Kvantamistutkimusten määrän edelleen lisääntyessä prosessien tehokkuuden parantaminen tekoälyn avulla on houkuttelevaa. Tekoälyn suoriutumista radiologisen diagnostiikan apuna on myös tutkittu paljon. Aiemmissä tutkimuksissa on havaittu, että tekoäly voi suoriutua joissain tehtävissä jopa radiologeja paremmin (Chang ym. 2020).

Kuviontunnistusta vaativissa lääketieteen sovelluksissa, eli muun muassa murtumia tunnistavissa tekoälypohjaisissa sovelluksissa, käytetään yleensä konvoluutioneuroverkkoja (Convolutional neural networks, CNN), tai syväoppivia konvoluutioneuroverkkoja (Deep convolutional neural networks, DCNN). Näiden kahden edellä mainitun erona on kerrosten (layers) määrä. Ne ovat koneoppimista hyödyntäviä tietokonealgoritmeja, jotka mallintavat ihmisen ongelmanratkaisuprosessia yleistetysti. Syväoppimista hyödyntävän neuroverkon nimitys tulee siitä,

että siinä on enemmän kerroksia. Tavanomaisessa CNN:ssa kerrosten lukumäärä on muutama, kun taas DCNN:ssa lukumäärä on huomattavasti suurempi.

Seuraavaksi tarkastelemme CNN toiminnan perusteita, yksinkertaistetusti, kuvantunnistuksen kannalta, viitaten artikkeleihin Albawi ym. ja O'Shea & Nash. CNN:n perusarkkitehtuuri koostuu erityyppisistä kerroksista. Kerrokset luokitellaan sisääntulokerrokseksi (input layer) ja ulostulokerrokseksi (output layer) sekä piilotetuiksi kerroksiksi, joihin kuuluvat konvoluutiokerrokset (convolution layers), näytteistyskerrokset (pooling layers), epälinearisointikerrokset (nonlinear layers) ja luokittelukerrokset (fully-connected layers).

Sisääntuloksi (input) CNN:lle annetaan kuvadata pikseliarvoisessa kolmiulotteisessa matriisissa. Eri kerrosten tehtävänä on muokata ja erotella CNN:lle syötetystä datasta erilaisia ominaisuuksia ulostuloksi (output), jonka perusteella päädytään päätöksentekoon (Albawi ym. 2017, O'Shea & Nash 2015).

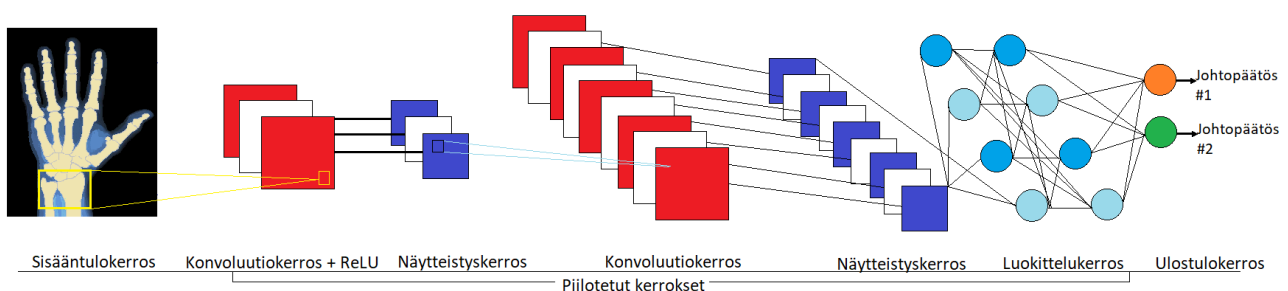
CNN:n tärkeimpiä elementtejä ovat konvoluutiokerrokset, joilla tapahtuu suurin osa laskennasta ja ne mahdollistavat kuvion tunnistuksen. Konvoluutiokerroksilla on neuroneita, jotka vastaanottavat dataa ja muokkaavat sitä matemaattisilla operaatioilla. Kerroksen jokaisella neuronilla käytetään suodattimia (kernel), jotka voidaan ajatella pieninä matriiseina, joiden alkioilla on tietyt arvot saava suodatin. Suodattimet liu'utetaan, konvoluutio-operaatiota käyttämällä, sisään syötetyn kuvadatan (pituus- ja leveys-elementtien) läpi ja saadaan aktivaatiovektoreita (activation map). Tässä suodattimen (esimerkiksi 3x3 matriisi) pistetulo lasketaan vastaavankokoisen kuvadatan osan kanssa ja tästä saatava skalaariarvo tallennetaan uuteen matriisiin. Koko kuvadata käydään läpi suodattimella ja saadaan uusi matriisi, joka lähetetään edelleen eteenpäin seuraavan kerroksen jokaiselle neuronille (Albawi ym. 2017, O'Shea & Nash 2015). Koska kullakin konvoluutiokerroksella on useita neuroneita, joilla jokaisella on oma tietyt arvot saava suodatin, saadaan lukuisia erilaisia matriiseja edellä mainitun prosessin seurauksena. Yleensä ylimmillä konvoluutiokerroksilla on yksinkertaisempia suodattimia (esimerkiksi reunojen tunnistukseen kykeneviä), kun taas alempien kerrosten suodattimet kykenevät hyvinkin tarkkoihin kuvioiden tunnistamisiin (esimerkiksi murtumat) (Albawi ym. 2017, O'Shea & Nash 2015).

Konvoluutiokerrosten jälkeen data siirtyy epälinearisointikerrokselle, jossa matriisia muokataan epälinearisoidulla se useimmiten erityistä tasasuuntausfunktiota (Rectified Linear Unit, ReLU) käyttämällä (O'Shea & Nash 2015). Tämän seurauksena dataa saadaan käyttökelpoisempaan muotoon tekoälyn oppimisen kannalta.

Näytteistyskerroksilla datan määrää pienennetään, kuitenkin siten, ettei oppimisprosessi merkittävästi kärsi. Tämä prosessi voidaan ajatella resoluution pienentämisellä ja sen tarkoituksena on helpottaa laskentaa seuraaville kerroksille (O'Shea & Nash 2015). Näytteistykseen on käytössä useita erilaisia menetelmiä. Kun kuvadata on käsitelty muiden kerrosten läpi, se siirtyy luokittelukerrokseen, josta se siirtyy edelleen ulostuloon, jossa päädytään tiettyyn lopputulokseen (Albawi ym. 2017, O'Shea & Nash 2015).

Data siirtyy siis CNN:ssä sisääntulokerrokselta ulostulokerrokseen, läpikäyden lukuisia piilotettuja kerroksia, joilla dataa muokataan. Muokatun datan perusteella CNN päätyy tiettyyn johtopäätökseen (Albawi ym 2017). CNN:ssä piilotettujen kerrosten keskinäinen arkkitehtuuri voi vaihdella. Usein käytettyjä CNN arkkitehtuureja ovat Lenet ja Alexnet (Albawi ym. 2017).

Kuvadatasta haluttujen ominaisuuksien tunnistamiseen CNN opetetaan valvotusti käyttämällä riittävää määrää opetusdataa. CNN tuottaa lopputulokseksi johtopäätöksiä kuvadatasta. Johtopäätökset tarkastetaan, ja mikäli CNN tuottaa virheellisen johtopäätöksen, tähän reagoidaan ja CNN muuttaa konvoluutiokerrosten suodattimien arvoja. Prosessia toistetaan ja lopulta CNN kykenee tunnistamaan sisään syötetystä datasta haluttuja ominaisuuksia. Tätä sanotaan neuroverkon oppimisprosessiksi.



Kuva 5 Kaavakuva CNN yleisesti arkkitehtuurista

Ensimmäiset CNN:t kehitettiin 1990-luvulla. Tuolloin konvoluutioneuroverkoja käytettiin esineiden ja kasvojen tunnistukseen onnistuneesti (LeCun ym. 1990). Ensimmäistä kertaa raportoitiin CNN tutkimuksista röntgenkuvien diagnostiikassa vuonna 1993 (Lo ym. 1993).

Tekoälyn riittävän toiminnan takaamiseksi tarvitaan suuria määriä kuvadataa, usein ainakin 1000 kuvaa (Oka ym. 2021). Kun riittävän suuri määrä dataa kerätään neuroverkolle, se pystyy automaattisesti tunnistamaan haluttuja ominaisuuksia kuvista. Haluttuja ominaisuuksia ei tarvitse

osoittaa tekoälylle manuaalisesti, vaan se oppii tunnistamaan poikkeavuudet, kun sille annetaan riittävän suuri opetusaineisto. Neuroverkon opetus tapahtuu automaattisen prosessin kautta (Chang ym. 2020). Mikäli koulutukseen käytetty datamäärä on riittävän suuri, CNN oppii tunnistamaan poikkeavuudet tehokkaammin kuin tekoäly, jolle on manuaalisesti opetettu poikkeavuuksien tunnistus (Chang ym. 2020).

## **7. AIEMMAT RANNEMURTUMIEN HAVAITSEMISEEN KEHITETYT TEKOÄLYSOVELLUKSET**

Distaalisen radiuksen murtuman saaneet potilaat hakeutuvat yleensä päivystykselliseen lääkärin arvioon. Näissä tilanteissa ei usein radiologin välitöntä arviota ole saatavilla. Kliinikon virheellinen tulkinta röntgenkuvasta voi aiheuttaa potilaalle hoidon viivästymistä tai väärän diagnoosin (Tobler ym. 2021). Oka ym. tutkimuksessa todetaan, että nykyaikainen tekoäly toteaa murtumia ortopedejä paremmin (Oka ym. 2021) ja Gan ym. tutkimuksessa tekoäly saavutti paremman diagnostisen tarkkuuden kuin kolmen radiologin ryhmä (Gan ym. 2019).

Useat tutkimusryhmät ovat kehittäneet tekoälypohjaisia sovelluksia rannemurtumien tunnistamiseen ja arvioineet niiden toimivuutta. Tässä osiossa käydään lyhyesti läpi aiempien tutkimusten tuloksia tekoälyn suoriutumisesta rannemurtumien tunnistuksessa (Tobler ym. 2021, Oka ym. 2021, Gan ym. 2019).

Oka ym. 2021 tutkimuksessa käytettiin VGG16 konvoluutioneuroverkkoa toteamaan rannemurtumia. Kuva-aineistona käytettiin sekä vasemman että oikean ranteen röntgenkuvia ja vasemman ranteen kuvat käännettiin, jotta ne vastasivat oikean ranteen kuvia. Aineistoksi tekoälylle kerättiin 369 AP- ja 360 lateraalista rannemurtumakuvaa ja lisäksi 129 AP - ja 125 lateraalista ranteen röntgenkuvaa ilman murtumaa. Tutkimuksessa kerättiin aineistoksi myös kyynärluun puikkolisäkkeen murtumista 189 AP röntgenkuvaa ja 302 kuvaa, jossa puikkolisäke oli ehyt. Distaalisen radiuksen murtuma määritettiin siten, että ranteen AP- kuva syötettiin Digital Imaging and Communications in Medicine (DICOM)-muodossa tekoälylle. Jos siinä todettiin murtuma, diagnoosiksi asetettiin murtuma. Jos taas AP-kuvassa ei todettu murtumaa, ranteen lateraalinen röntgenkuva syötettiin tekoälylle. Jos siinä todettiin murtuma, diagnoosiksi asetettiin murtuma. Jos myös lateraalinen kuva todettiin normaaliksi, lopulliseksi diagnoosiksi asetettiin normaali ranne.



Tutkimuksessa saatiin hyvä diagnostinen onnistumisprosentti, vaikkakin aineistoa pidettiin suhteellisen pienenä (Oka ym. 2021). Tutkimuksessa tekoälyn diagnostista tarkkuutta ei verrattu radiologien tai kliinikoiden diagnostiseen tarkkuuteen.

Tutkimuksessaan Tobler ym. 2021 käyttivät DCNN distaalisen radiuksen murtumisen tunnistamiseen ja luokittamiseen. Tutkijat keräsivät yhteensä 15775 rannekuvaa (AP- ja lateraaliprojektioita) ja opettivat CNN:n tunnistamaan rannemurtumia ja luokittamaan niitä. Tutkimuksessa arvioitiin myös tekoälyn opetukseen käytettävän kuvamäärän vaikutusta tekoälyn suoriutumiseen. Havaittiin, että mitä suurempaa opetusdataa tekoälylle käytettiin, sitä paremmin muutoksia pystyttiin havainnoimaan. Ainoastaan nivelaffisioon opetusdatan koolla ei ollut selvää vaikutusta (Tobler ym. 2021). Tässäkään tutkimuksessa tekoälyn diagnostista tarkkuutta ei verrattu radiologien tai kliinikoiden tarkkuuteen.

Gan ym. vertasivat tutkimuksessaan konvoluutioneuroverkon suoriutumista kolmen ortopedin ja kolmen radiologin ryhmiin. Jokaisella ortopedien ryhmäläisellä oli vähintään 5 vuotta kliinistä kokemusta ja jokaisella radiologien ryhmästä oli vähintään 3 vuotta. Molemmat ryhmät tekivät päätöksen (murtuma tai ei murtumaa) ryhmän enemmistön mielipiteen perusteella. Opetusdatana tekoälylle käytettiin 2340 ranteen AP-röntgenkuvaa, jotka määriteltiin retrospektiivisesti joko murtumakuvaksi tai ei-murtumakuvaksi kolmen kokeneen ortopedin toimesta. Näistä 1491 kuvassa todettiin rannemurtuma ja 849 oli normaaleja. Testidatana käytettiin 300 ranteen röntgenkuvaa, joista 150 oli normaaleja ja 150 oli murtuma. Tutkimuksessa tekoäly saavutti paremman diagnostisen tarkkuuden rannemurtumien tunnistuksessa kuin tutkimuksessa mukana ollut kolmen radiologin ryhmä ja samankaltaisen tarkkuuden kuin tutkimuksessa mukana olleiden ortopedien ryhmä. Tutkimuksen heikkoutena oli, että käytettiin ainoastaan AP-projektioita (Gan ym. 2019).

## **8. OMAN TUTKIMUKSEN LÄPIKÄYNTI**

Tutkimuksessamme (Raisuddin ym. 2021) testasimme tekoälypohjaista algoritmia, jonka tarkoituksena oli tunnistaa distaalisen radiuksen murtumat. Tavoitteena oli selvittää, kykeneekö tekoäly tunnistamaan vaikeammin havaittavia rannemurtumia.

Tekoäly oli jo ennen tutkimuksen toteutusta valmiiksi kehitetty ja koulutettu. Kaikki tutkimukseen käytetty kuvadata kerättiin retrospektiivisesti Oulun Yliopistollisen sairaalan röntgenkuva-arkistosta ja potilaiden henkilöllisyystiedot pseudonymisoitiin. Tekoälyn koulutukseen oli käytetty 1946

ranteen röntgenkuva, joista 993 oli rannemurtumakuvia ja 953 normaaleja ranteen röntgenkuvia. Koulutusdatan ranteen röntgenkuvat sisälsivät aina AP- ja lateraaliprojektion, joten erillisiä kuvia oli yhteensä 3873. Häiriöitä sisältävät kuvat poistettiin aineistosta edeltävästi. Koulutusdata sisälsi lähinnä yleisiä rannemurtumia, jotka oli todettu jo natiivikuvan perusteella eivätkä siten vaatineet TT-kuvausta murtuman tarkempaa selvittelyä varten.

Tekoälyn toiminnan arvioimiseksi keräsimme kaksi erillistä testiaineistoa. Halusimme mukaan myös haastavammin tulkittavia murtumakuvia. Näiden valikoimiseksi käytimme ranteen röntgenkuvia potilaista, joille oli tehty myös kartiokeilatografia murtuman selvittelyksi.

Ensimmäisen testiaineiston kooksi tuli 207 kuvaa, joista 78 oli normaaleja kuvia ja 129 murtumakuvia. Toinen testiaineisto sisälsi haastavammin tulkittavia ranteen röntgenkuvia. Tähän valikoitui 105 kuvaa, joista 85 oli normaaleja ja 20 sisälsi rannemurtuman.

Tutkimuksessa käytimme koulutusdatalla koulutettua DeepWrist tekoälyä, joka oli CNN pohjainen ohjelmisto. Tekoälylle syötettiin rannekuva, jonka jälkeen rannekuvasta määritettiin automaattisesti region of interest (ROI). ROI tarkoittaa tässä rajattua aluetta rannekuvasta, jonka sisällä murtuman kannalta oleellisen tiedon ajatellaan olevan. ROI siirtyy seuraavaan vaiheeseen, jonka jälkeen tekoäly päättyy joko normaaliin rannekuvaan tai murtumakuvaan.

Tekoälyn suoriutumista rannemurtumien toteamisessa eri testiaineistoissa verrattiin kahden radiologian erikoislääkärin, erikoistuvan radiologin sekä kahden perusterveydenhuollon lääkärin suoriutumiseen. Tarkastelimme, miten kukin näistä ryhmistä tunnisti murtuman AP-kuvasta, sivukuvasta ja molemmista sekä AP- että sivukuvasta.

Vertailussa käytimme yleisesti lääketieteellisessä kirjallisuudessa diagnostista menetelmää kuvaavia parametrejä, kuten mm. herkkyyttä (sensitivity), tarkkuutta (specificity) ja sisäistä tarkkuutta (precision). Käytimme myös yleisesti tekoälyn suoriutumista lääketieteellisessä diagnostiikassa kuvaavia tunnuslukuja, kuten AUROC (Area under receiver operating characteristic) ja AUPR (Area under the precision-recall). Lisäksi käytimme Cohenin kappa-kerrointa ( $\kappa$ ) vertailijoiden välisessä analyysissä, jonka avulla vertailtiin kahden eri tahon arvioita samasta tapauksesta. Kaikki edellä mainitut tunnusluvut määritettiin 95 % luottamusvälillä.

## Tulokset:

Tutkimuksessa analysoimme tekoälyn tarkkuutta distaalisen radiuksen murtumien tunnistamisessa.

Havaittiin, että tekoäly tunnisti testiaineiston 1 (helpommat tapaukset) hyvin, kun taas testiaineiston 2 (hankalammin havaittavat tapaukset) se tunnisti heikommin. Testiaineistossa 1 tekoälyn herkkyys oli 0.97 PA-, sivukuville sekä näille molemmille yhdessä. Tarkkuus aineistossa 1 oli 0.88 (PA-), 0.91 (sivuprojektio) ja 0.87 (molemmat yhdessä). Testiaineistossa 2 puolestaan tekoälyn herkkyys oli PA- sekä sivukuvalle 0.5 ja näille molemmille yhdessä 0.6. Tarkkuus puolestaan oli 0.89 (PA-), 0.94 (sivukuva) ja 0.92 (molemmat yhdessä).

Taulukossa 2 on vertailtu kahden radiologin, erikoistuvan radiologin, kahden perusterveydenhuollon lääkärin, sekä tekoälyn tilastollisia tunnuslukuja diagnostiikasta suoriutumisessa testiaineistossa 1. Taulukossa 3 on vertailtu radiologien, kahden perusterveydenhuollon lääkärin, sekä tekoälyn tilastollisia tunnuslukuja diagnostiikasta suoriutumisessa testiaineistossa 2. Nähdään, että kaikki tahot suoriutuivat selvästi heikommin vaikeammassa aineistossa.

Taulukko 2: Eri tahojen suoriutuminen testiaineistosta 1 (95 % luottamusvälillä):

|                                  | herkkyys         | tarkkuus         | sisäinen tarkkuus |
|----------------------------------|------------------|------------------|-------------------|
| Radiologi #1                     | 1.00 (1.00–1.00) | 0.97 (0.93–1.00) | 0.98 (0.96–1.00)  |
| Radiologi #2                     | 0.99 (0.97–1.00) | 1.00 (1.00–1.00) | 1.00 (1.00–1.00)  |
| Erikoistuva radiologi            | 0.98 (0.97–1.00) | 0.93 (0.87–0.98) | 0.96 (0.92–0.99)  |
| perusterveydenhuollon lääkäri #1 | 0.99 (0.97–1.00) | 0.73 (0.62–0.82) | 0.85 (0.81–0.90)  |
| perusterveydenhuollon lääkäri #2 | 0.92 (0.87–0.96) | 0.97 (0.93–1.00) | 0.98 (0.95–1.00)  |
| DeepWrist-tekoäly                | 0.97 (0.94–1.00) | 0.87 (0.79–0.93) | 0.92 (0.88–0.96)  |

Taulukko 3: Eri tahojen suoriutuminen testiaineistosta 2 (95 % luottamusvälillä):

|                                  | herkkyys         | tarkkuus         | sisäinen tarkkuus |
|----------------------------------|------------------|------------------|-------------------|
| radiologi #1                     | 0.40 (0.20–0.60) | 0.95 (0.90–0.98) | 0.66 (0.41–0.91)  |
| radiologi #2                     | 0.40 (0.20–0.60) | 0.96 (0.91–1.00) | 0.72 (0.50–1.00)  |
| erikoistuva radiologi            | -                | -                | -                 |
| perusterveydenhuollon lääkäri #1 | 0.50 (0.30–0.70) | 0.80 (0.71–0.88) | 0.37 (0.23–0.52)  |
| perusterveydenhuollon lääkäri #2 | 0.60 (0.40–0.80) | 0.64 (0.54–0.74) | 0.28 (0.19–0.38)  |
| DeepWrist-tekoäly                | 0.60 (0.40–0.80) | 0.92 (0.87–0.97) | 0.66 (0.48–0.87)  |

AUROC ja AUPR analyseissä todettiin, että tekoäly oli hyvin lähellä täydellistä luokittelijaa helpommissa tapauksissa, kun taas hankalammissa tapauksissa tekoälyn suoriutuminen heikkeni selvästi.

Vertailimme lisäksi Cohenin kappa-arvojen avulla eri tahojen erimielisyyksiä. Tässä havaittiin, että testiaineistossa 1 radiologeilla oli suurin  $\kappa$ -arvo (0.93) (olivat eniten samaa mieltä keskenään) ja perusterveydenhuollon lääkäreillä pienin ( $\kappa=0.67$ ) (olivat eniten eri mieltä keskenään).

## 9. JOHTOPÄÄTÖKSET

Johtopäätöksenä voidaan todeta, että tekoölyavusteiset sovellukset voivat merkittävästi parantaa perusterveydenhuollossa tapahtuvaa rannekuvien tulkinnan tarkkuutta. Tekoölyn suoriutuminen oli tutkimuksessamme kohtuullisen hyvää, erityisesti helpommissa kuvissa. Kuo ym. (Kuo ym 2022) totesivat 42 tutkimusta sisältävässä systemaattisessa katsausartikkelissaan, että tekoöly kykenee suoriutumaan murtumien tunnistamisessa klinikoiden veroisesti. Tekoölyn avulla voitaisiinkin tulevaisuudessa tehostaa radiologien työskentelyä, esimerkiksi mahdollistamalla radiologien työpanoksen painottuminen oleellisempiin alueisiin, priorisoinnin helpottamiseen ja diagnostisen tarkkuuden parantamiseen. Artikkelissaan Kuo ym. (Kuo ym. 2022) ehdottavatkin, että tekoöly voisi toimia toisena tulkitsijana radiologin jälkeen, jolloin klinikko voisi arvioida tilannetta tarvittaessa uudemman kerran. Artikkelissa ehdotettiin myös, että tekoölysovellukset voisivat ilmoittaa radiologille erityistä huomiota vaativat alueet kuvassa.

Nykyiset tekoölysovellukset on kehitetty ja koulutettu hyvin tarkasti määritettyihin tehtäviin. Tämä tarkoittaa sitä, että uuden tekoölysovelluksen kehittäminen vaatii tekoölytutkijoiden ja lääketieteen ammattilaisten välistä yhteistyötä. Tekoölysovellusten käyttöönotto vaatisi, että kuvia tulkitsevat tahot ymmärtäisivät tekoölyn toiminnan periaatteet. Tärkeää on huomioida, että nykytekoölyt ovat pohjimmiltaan tietokonealgoritmeja, joiden päätöksenteko poikkeaa ihmisen päätöksenteosta. Tekoölyn esittäessä arvio, tulisi osata kriittisesti arvioida tulosta. Tekoölyä voitaisiin käyttää ilmoittamaan arvio röntgenkuvasta klinikolle, jolloin klinikon oma kriittinen arvio tulkinnasta on keskeisessä roolissa. Pohdintaa herättää myös se, ovatko tekoölyn tekemät tulkintavirheet tekoölyn kehittäjien vastuulla vai klinikon vastuulla.

Tekoölyn käyttöä radiologisen diagnostiikan tukena tulee kuitenkin vielä perusteellisemmin tutkia ennen laajempaa käyttöönottoa. Tulevaisuudessa tekoölysovelluksilla on mahdollista toimia niin klinikoiden kuin radiologienkin hyödyllisenä apuvälineenä.

## LÄHDELUETTELO

- Johnson N & Dias J (2019). The current evidence-based management of distal radial fractures: UK perspectives. *Journal of Hand Surgery (European Volume)* 44(5):450-455.
- Porrino J, Maloney E, Scherer K, Mulcahy H, Ha A ja Allan C (2014). Fracture of the distal radius: epidemiology and premanagement radiographic characterization. *American Journal of Roentgenology* 203(3):551-9.
- Øyen J, Diamantopoulos AP, Haugeberg G (2014). Mortality after distal radius fracture in men and women aged 50 years and older in southern Norway. *PloS one* 9(11):e112098.
- Lichman D, Bindra R, Boyer M, Putnam M, Ring D, Slutsky D ym. (2010). Treatment of distal radius fractures. *Journal of the American Academy of Orthopaedic Surgeons* 18(3):180-9.
- Rundgren J, Bojan A, Navarro CM & Enocson A (2020). Epidemiology, classification, treatment and mortality of distal radius fractures in adults: an observational study of 23,394 fractures from the national Swedish fracture register. *BMC Musculoskeletal Disorders* 21(1):88.
- Tobler P, Cyriac J, Kovacs BK, Hofmann V, Sexauer R, Fabiano P ym. (2021). AI-based detection and classification of distal radius fractures using low-effort data labeling: evaluation of applicability and effect of training set size. *European Radiology* 31(9):6816-6824.
- Oka K, Shiode R, Yoshii Y, Tanaka H, Iwahashi T & Murase T (2021). Artificial intelligence to diagnosis distal radius fracture using biplane plain X-rays. *Journal of orthopaedic surgery and research* 16(1):694.
- Bentohami A, de Korte N, Sosef N, Goslings JC, Bijlsma T & Schep N ym. (2014). Study protocol: non-displaced distal radial fractures in adult patients: three weeks vs. five weeks of cast immobilization: a randomized trial. *BMC Musculoskeletal Disorders* 15:24.
- Abbaszadegan H, Conradi P & Jonsson U (1989). Fixation not needed for undisplaced Colles' fracture. *Acta Orthopaedic Surgery* 60(1):60-2.
- Dias JJ, Wray CC, Jones JM & Gregg PJ (1987). The value of early mobilisation in the treatment of Colles' fractures. *The Journal of Bone and Joint Surgery. British volume* 69(3):463-7.
- Jupiter JB & Fernandez DL (1997). Comparative classification for fractures of the distal end of the radius. *Journal of Hand Surgery* 22(4):563-71.
- Court-Brown CM, Caesar B (2006). Epidemiology of adult fractures, A review. *Injury* 37(8):691-7.
- Meinberg EG, Agel J, Roberts CS, Karam MD & Kellam JF (2018). Fracture and Dislocation Classification Compendium. *Journal of Orthopaedic Trauma* 32 Suppl 1
- Vaghela KR, Velazquez-Pimentel D, Ahluwalia AK, Choraria A & Hunter A (2020). Distal Radius Fractures *British Journal of Hospital Medicine* 81(6):1-8.
- Dua K, Abzug JM, Bauer AS, Cornwall R & Wyrick TO (2017). Pediatric Distal Radius Fractures. *Instructional Course Lectures* 66:447-460.
- Levin LS, Rozell JC & Pulos N (2017). Distal Radius Fractures in the Elderly. *The Journal of American Academy of Orthopaedic surgeons* 25(3):179-187.

- Colles A & Green S (1814). The Classic: On the Fracture of the Carpal Extremity of Radius. *Clinical orthopaedics and related research* 83:3-5.
- Chang H-P, Samala R, Hadjiiski LM & Zhou C (2020). Deep Learning in Medical Image Analysis. *Advances in experimental medicine and biology* 1213:3-21.
- LeCun Y, Boser B, Denker J, Donnie H, Howard R, Hubbard W ym. (1990). Handwritten digit recognition with a back-propagation network. *Advances in Neural Information Processing Systems*
- Lo SCB, Lin JS, Freedman MT & Mun SK (1993). Computer-assisted diagnosis of lung nodule detection using artificial convolution neural network. *Proceedings of SPIE* 1898:859–869.
- Suomalaisen Lääkäriseura Duodecimin, Suomen Fysioteriayhdistys ry:n, Suomen Käsikirurgiyhdistys ry:n ja Suomen Ortopediayhdistys ry:n asettama työryhmä (2016). Värttinäluun alaosan murtuma (rannemurtuma). Käypähoito-suositus. Luettu 12.2.2022
- Albawi S, Mohammed TA, Al-Zawi S (2017). Understanding of a convolutional neural network. *Conference on Engineering and Technology (ICET)*.
- O'Shea K ja Nash R (2015). *An Introduction to Convolutional Neural Networks*. Google Scholar
- Gan K, Xu D, Lin Y, Shen Y, Zhang T, Hu K ym. (2019). Artificial intelligence detection of distal radius fractures: a comparison between the convolutional neural network and professional assessments. *Acta orthopaedica* 90(4):394–400.
- Raisuddin AM, Vaattovaara E, Nikki M, Järvenpää E, Makkonen K ym. (2021). Critical evaluation of deep neural networks for wrist fracture detection. *Scientific reports* 11(1):6006
- Kuo RYL, Harrison C, Curran T-A, Jones B, Freethy A, Cussons D ym. (2022). Artificial intelligence in fracture detection: A systematic review and meta-analysis.