

Opinnäytetyö (AMK)

Tieto- ja viestintäteknikka

2024

Sarianna Junnila

Koirien lonkkaniveldysplasian tunnistaminen ja luokittelu konvoluutioneuroverkon avulla

– kirjallisuuskatsaus



Opinnäytetyö (AMK) | Tiivistelmä

Turun ammattikorkeakoulu

Tieto- ja viestintäteknikka

2024 | 39 sivua

Sarianna Junnila

Koirien lonkkaniveldysplasian tunnistaminen ja luokittelu konvoluutioneuroverkon avulla

-- kirjallisuuskatsaus

Lonkkadysplasia on koirilla esiintyvä luuston kasvuhäiriö. Sitä pyritään ehkäisemään seulontamuotoisella röntgenkuvantamisella. Röntgenkuvan perusteella koiran lonkat arvioidaan ja niiden dysplasia-asteelle annetaan arvosana. Arvosanan antaa asiantuntija pohjautuen Kansainvälisen Koiranjalostusliiton määrittelemään asteikkoon. Koska nykyinen käytäntö on subjektiivinen ja sen teho lonkkaniveldysplasian vastustamisessa on ollut maltillista, on herännyt kiinnostus vaihtoehtoihin arvostelutapoihin.

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää, olisiko syväoppimiseen kuuluvaan konvoluutioneuroverkkoon pohjautuen mahdollista kehittää koirien lonkkaniveldysplasian tunnistamiseen sekä luokitteluun objektiivisempi työkalu. Opinnäytetyö toteutettiin kirjallisuuskatsauksena ja siinä tarkastellaan neljää aiheesta tehtyä tutkimusta.

Tulokseksi saatiin, että konvoluutioneuroverkkoa voidaan pitää kehityskelpoisena vaihtoehtona, sillä se pystyi kaikissa käsitellyissä tutkimuksissa erottamaan varsin luotettavasti dysplastisen nivelen terveestä. Valmiin lonkkalausunto-ohjelmiston kehittäminen vaatii kuitenkin vielä lisätutkimusta, sillä se ei vielä pysty vastaamaan kaikkiin haasteisiin, joita röntgenkuvien luotettava luokittelu asettaa.

Asiasanat:

konvoluutioneuroverkko, lonkkaniveldysplasia, syväoppiminen

Bachelor's Thesis | Abstract

Turku University of Applied Sciences

Information and Communications Technology

2024 | 39 pages

Sarianna Junnila

Identification and classification of Canine Hip Dysplasia using Convolutional Neural Networks

- - literature review

Canine Hip Dysplasia (CHD) is a developmental skeletal disease in dogs. The main strategy to reduce the prevalence of CHD is by radiographic screening of the dogs and excluding the affected individuals from breeding. The radiographs of the hips are assessed, and the degree of dysplasia is graded. In Europe, the grade is determined by an expert, based on criteria defined by the Fédération Cynologique Internationale. Due to the subjective nature of the current hip evaluation process and the moderate success rate in the prevention of CHD, the interest in alternative strategies has increased.

The aim of the thesis was to explore the possibility of developing a more objective tool for identifying and classifying CHD using Deep Learning, more specifically Convolutional Neural Networks (CNN). This thesis was carried out as a literature review and examined four studies on the subject.

The thesis concludes that CNN can be considered a viable alternative, as it was mostly successful in identifying dysplastic hip joints from healthy ones, in all the studies discussed. However, there is a need for further research because the current implementations cannot meet all the challenges posed by the development of a reliable automatic radiographic image classification.

Keywords: Convolutional Neural Networks, Deep Learning, Canine Hip Dysplasia

Sisältö

| | |
|--|-----------|
| Käytetyt lyhenteet | 6 |
| 1 Johdanto | 7 |
| 2 Koiran lonkkadysplasia | 8 |
| 2.1 Lonkkanivelen normaali rakenne | 8 |
| 2.2 Lonkkaniveldysplasia | 9 |
| 2.3 Perinnöllisyys | 9 |
| 2.4 Nykyiset lonkkaniveldysplasian vastustuskeinot koiranjalostuksessa | 10 |
| 2.4.1 Fenotyyppiin pohjautuva jalostus ja lonkkanivelten arviointi | 10 |
| 2.4.2 JTO ja PeViSa | 13 |
| 2.4.3 BLUP-indeksi | 13 |
| 2.4.4 PeViSa-ohjelman tulokset | 14 |
| 2.5 Röntgenkuvantamisen ja röntgenkuvien tulkinnan asettamat haasteet | 16 |
| 2.6 Arvosteluohjeen tulkinnan epäyhtenäisyys | 18 |
| 3 Konvoluutioneuroverkko | 20 |
| 4 Tutkimustuloksia | 23 |
| 4.1 Koiran lonkkaniveldysplasian konvoluutioneuroverkon avulla | 24 |
| 4.2 Syväsiirto-oppimisen käyttö lonkkanivelen tunnistamiseen ja luokitteluun | 25 |
| 4.3 Koiran lonkkadysplasian tietokoneavusteinen diagnosointi | 27 |
| 4.4 Syväoppimisen käyttö koirien lonkkaniveldysplasian ennustamisessa | 28 |
| 5 Keskeisiä haasteita kehitystyölle | 30 |
| 5.1 Lonkkaniveldysplasian arvosteluohjeen tulkintavaihtelu | 30 |
| 5.2 Röntgenkuvien teknisen laadun vaihtelu | 30 |
| 5.3 Koiran asettelu lonkkaröntgenkuvissa ja kuvan rajaaminen | 32 |
| 6 Pohdinta | 34 |
| 7 Lähdeluettelo | 35 |

Kuvat

- Kuva 1. Koiran lantion keskeiset rakenteet. 8
- Kuva 2. Esimerkkikuvat lonkkanivelistä, jotka on luokiteltu FCI-luokkiin A—C.
Virhe. Kirjanmerkkiä ei ole määritetty.
- Kuva 3. Esimerkkikuvat lonkkanivelistä, jotka on luokiteltu FCI-luokkiin D ja E.12
- Kuva 4. Koiran oikea asettelu röntgenkuvassa **Virhe. Kirjanmerkkiä ei ole määritetty.**
- Kuva 5. Esimerkkejä oikeasta ja väärästä kuvausasennosta. 17
- Kuva 6. Konvoluutioneuroverkon perusrakenne. 20
- Kuva 7. Konvoluutiokerroksessa suoritetaan arvojen välinen konvoluutio. 21
- Kuva 8. Pooli-ikkunan toiminta. 22
- Kuva 9. DYS4VET-ohjelmiston tunnistamat rakenteen piirteet. 23
- Kuva 10. CLAHE-tekniikalla käsitelty lonkkakuva. **Virhe. Kirjanmerkkiä ei ole määritetty.**
- Kuva 11. Laplace-suotimella käsitelty lonkkakuva. 32
- Kuva 12. Lonkkakuvan liiallinen rajaaminen piilottaa asentovirheitä. 33

Kuviot

- Kuvio 1. A—B lonkkaisien koirien osuus populaatiosta. 15
- Kuvio 2. A—B-lonkkaisten jalostuskoirien osuus kaikista jalostukseen käytetyistä koirista. 15

Taulukot

- Taulukko 1. FCI:n asettamat kriteerit lonkkanivelien luokitteluun. **Virhe. Kirjanmerkkiä ei ole määritetty.**

Käytetyt lyhenteet

| | |
|----------------|--|
| BLUP | Nest Linear Unbiased Prediction, paras lineaarinen harhaton ennuste |
| CHD | Canine Hip Dysplasia, lonkkaniveldysplasia |
| CLAHE | Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization, mukautuva histogrammin tasoitus, kuvankäsittelytekniikka |
| CNN | Convolutional Neural Network |
| FCI | Fédération Cynologique Internationale, Kansainvälinen koiranjalostusliitto |
| JTO | Jalostuksen tavoiteohjelma |
| KNV | Konvoluutioneuroverkko |
| PeViSa-ohjelma | Perinnöllisten vikojen ja sairauksien vastustusohjelma |
| RGB | Red Blue Green, väritila, jossa sekoitetaan punaista, sinistä ja vihreää |
| SKL | Suomen Kennelliitto |

1 Johdanto

Koirien lonkkaniveldysplasia on luuston kehityshäiriö. Sitä esiintyy laajasti eri roduissa ja se periytyy monigeenisesti (Helsingin yliopisto 2021). Sen torjunta perustuu seulontamuotoiseen röntgenkuvantamiseen ja nivelessä nähtävien dysplasian merkkien vakavuuden luokitteluun, jonka avulla rajataan sairaat yksilöt jalostuksen ulkopuolelle (Lappalainen 2023).

Lonkkaröntgenkuvien nykyinen tulkinta eli lausuminen on manuaalinen prosessi, ja eläinlääkärien, koirankasvattajien ja muutoin asiasta kiinnostuneiden koiraharrastajien kanssa käymissäni keskusteluissa, sitä on kritisoitu subjektiiviseksi. Esimerkiksi röntgenkuvien teknisen laadun pelätään vaikuttavan tulokseen vääristävästi. Onkin herännyt kysymys, olisiko mahdollista löytää objektiivisempi tapa mitata lonkkaniveldysplasian astetta ja voitaisiinko tämän avulla päästä parempiin jalostustuloksiin ja parantaa koirien terveystilannetta.

Konvoluutioneuroverkko (KNV, engl. Convolutional Neural Network) on yksi koneoppimisen (engl. machine learning) muodoista, ja sitä käytetään erityisesti kuvamuotoisen informaation prosessoinnissa ja luokittelussa. KNV on rakenteeltaan monikerroksinen ja se kykenee havaitsemaan kuvassa muotoja, joiden perusteella se pystyy tekemään arvion kuvan sisällöstä. (IBM 2024) KNV-pohjaisten sovelluksien suoriutumista on tutkittu esimerkiksi ihmiskeuhkoista otettujen röntgenkuvien tulkinnassa, ja tulokset ovat olleet lupaavia (Nabulsi 2021).

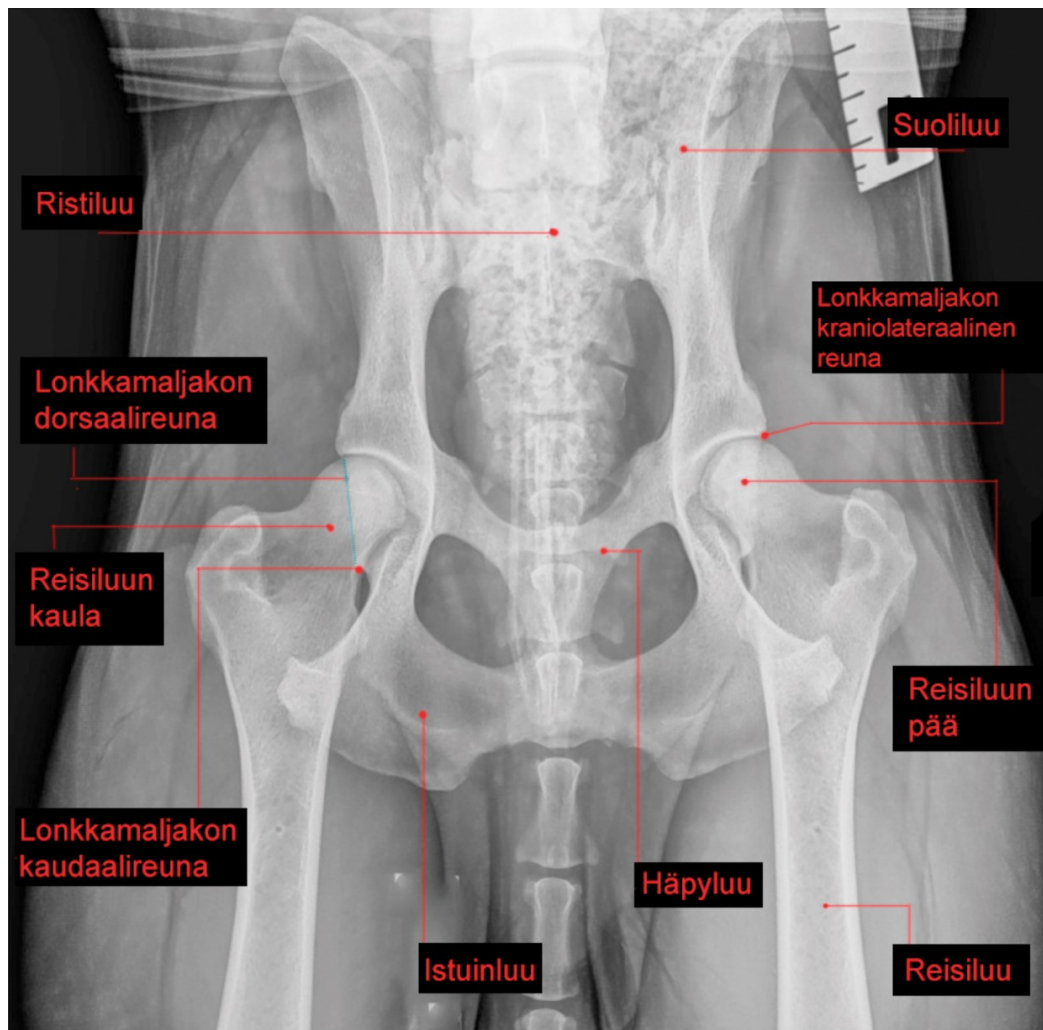
Konvoluutioneuroverkko voisi tarjota vaihtoehdon nykyiselle lonkkaniveliä arviointikäytännölle, ja aiheesta on tehty jo muutamia tutkimuksia. Tämän opinnäytetyön tarkoitus on kartoittaa, onko vuoden 2024 kevääseen mennessä aiheesta tehtyjen tutkimusten valossa mahdollista tai todennäköistä kehittää konvoluutioneuroverkkoon pohjautuva automaattinen luokittelija dysplasian asteelle koiran lonkkanivelessä.

Työ toteutetaan kirjallisuuskatsauksena ja tarkoitus on myös tarkastella, kuinka laajasti tutkimuksissa on otettu huomioon lonkkaniveldysplasian tunnistamiseen ja luokitteluun vaikuttavat tekijät kokonaisuutena, sekä miettiä kuinka aihetta voitaisiin tutkia tulevaisuudessa.

2 Koiran lonkkadysplasia

2.1 Lonkkanivelen normaali rakenne

Koiran lonkkanivel on rakenteeltaan pallonivel. Lonkkaalu on kolmen eri luun (suoli-, istuin- ja häpyluun) yhteen sulautunut rakenne. Näiden luiden rungot muodostavat lonkkamaljan, jossa reisiluu niveltyy lantioon. Lonkkamalja on sileäpintainen kuppirakenne, johon reisiluun pää toimii pallomaisena vastarakenteena. (Hooli 2020, 2) Keskeisiä rakenteita lonkkadysplasian asteen luokittelussa röntgenkuvasta on lonkkamaljakko (erityisesti lonkkamaljakon dorsaali-, kaudaali- ja kraniolateraalinen reuna), sekä reisiluun pää ja kaula (Kuva 1. Koiran lantion keskeiset rakenteet).



Kuva 1. Koiran lantion keskeiset rakenteet (König & Liebich, 2007, 220-221, 224). Röntgenkuva: Eläinsairaala Vettori

2.2 Lonkkaniveldysplasia

Kun normaalissa lonkkanivelen rakenteessa reisiluun pää ja lonkkamalja muodostavat tiiviin nivelrakenteen, lonkkaniveldysplasiassa tämä rakenne on löysä, jonka vuoksi reisiluun pään ja lonkkamaljan vastarakenteilla ei ole riittävästi kontaktipintaa. Tämä tekee nivelen toiminnasta epävakaa ja aiheuttaa epänormaalin määrän painetta kontaktipinnoille. Tämä voi altistaa mikromurtumiin luun pinnalla ja lonkkamaljan mataloitumiseen. (Lappalainen 2023)

Nuorella koiralla lonkkaniveldysplasia aiheuttaa esimerkiksi liikkumishaluttomuutta, lokahtelevia ääniä koiran liikkuessa ja koira voi myös liikkua epätyypillisellä tavalla. Ajan myötä dysplasiasta kärsiville koirille alkaa tyypillisesti muodostua lonkkaniveleen osteoatriittia eli nivelrikkoa. Nivelrikosta kärsivän koiran lonkkien nivelrusto rappeutuu ja niveleen tulee rakenteellisia muutoksia. Nivelrikko aiheuttaa koiralle kipua erityisesti sen liikkuessa ja se voi lisääntyä nivelrikon edetessä. Lonkkanivelen rakennetta ja sen aiheuttamia muutoksia voidaan tarkastella röntgenkuvantamisen avulla (Hooli 2020, 9, 18, 22).

2.3 Perinnöllisyys

Lonkkaniveldysplasian on todettu tutkimuksissa olevan monigeenisesti periytyvä ja sen periytyvyysaste (h^2 , engl. heritability) on välillä 0,11—0,68 asteikolla 0.0—1.0) eli kohtalaisesta (suurempi kuin 0.20) korkeaan (suurempi kuin 0.35) (Berg 2023, 3). Vian periytyvyyteen vaikuttaa ainakin 21 eri geenialuetta, joista suurin osa vaihtelee eri koirarotujen välillä (Mikkola ym. 2021, 1), joten esimerkiksi yksigeenisesti periytyvien sairauksien poissulkemiseen käytettyjä geenitutkimuksia ei voida käyttää sairaiden yksilöiden poissulkemiseen jalostuksesta. Lonkkaniveldysplasian syntyyn tiedetään vaikuttavan myös ulkoiset tekijät, kuten ravinto ja sen mahdollisesti aiheuttama ylipaino (Lappalainen 2023). Tämä vaikeuttaa periytyvyyden tutkimusta entisestään.

2.4 Nykyiset lonkkaniveldysplasian vastustuskeinot koiranjalostuksessa

2.4.1 Fenotyyppiin pohjautuva jalostus ja lonkkanivelten arviointi

Lonkkaniveldysplasian vastustukseen käytettävät keinot ovat tällä hetkellä hyvin rajalliset. Lonkkaniveldysplasian esiintymistä pyritään ehkäisemään ilmiasuun (fenotyyppiin) perustuvalla jalostusvalinnalla. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että jalostuskoiriksi aiottujen koirien lonkkanivelet röntgenkuvataan aikaisintaan vuoden ikäisenä. Ne koirat, joilla on huomattavia merkkejä lonkkadysplasiasta jätetään jalostuksen ulkopuolelle. Suomessa röntgenkuvantaminen tehdään Fédération Cynologique Internationalen (FCI) ohjeen mukaisesti Suomen Kennelliiton (SKL) hyväksymien lääkärien toimesta. (Suomen Kennelliitto 2024)

Kuvien ottamisen jälkeen, ne lähetetään SKL:ään, jossa ne arvioidaan keskitetysti lonkkaniveldysplasiaan perehtyneiden eläinlääkärien toimesta. (Suomen Kennelliitto, 2024) Lonkille annettava arvosana koostuu kahdesta kirjaimesta (esimerkiksi A/A), jossa ensimmäinen kirjain viittaa oikeanpuolisen ja toinen kirjain vasemmanpuoleisen lonkkanivelen dysplasia-astetta. Lonkkadysplasian eri asteita on FCI:n arvosteluohjeessa viisi (A—E) ja kullekin luokalle on määritelty omat kriteerinsä (Taulukko 1.) (Kuva 2.) (Kuva 3.) (Federation Cynologique Internationale 2022).

Vaikka kuvantamis- ja arvosteluohjeet ovat kaikissa FCI:n jäsenmaissa samat, arvioinnin suoritustapa ja arvosteluohjeen tulkinta vaihtelee maittain. Arvostelun epäyhtenäisyydestä on enemmän tämän työn luvussa 2.6.

Taulukko 1. FCI:n asettamat kriteerit lonkkanivelien luokitteluun (Federation Cynologique Internationale 2022)(Suomen Kennelliitto 2024).

| LUOKKA | KRITEERIT |
|--|---|
| A Ei muutoksia | Reisiluun pää ja lonkkamaljakko ovat yhdenmukaiset. Lonkkamaljakon kraniolateraalin reuna piiryy terävänä ja on lievästi pyöristynyt. Nivelrako on tiivis ja tasainen. Norbergin asteikko vetoasennossa noin 105° (suosituksena). |
| B Lähes normaali/ rajatapaus. | Reisiluun pää ja lonkkamaljakko ovat vähän epäyhdenmukaiset Norbergin asteikko vetoasennossa lähellä 105° tai reisiluun pään keskus on mediaalisesti lonkkamaljakon dorsaalireunaan nähden ja reisiluun pää ja lonkkamaljakko ovat yhdenmukaiset. |
| C Lievä dysplasia | Reisiluun pää ja lonkkamalja eivät ole yhdenmukaiset, Norbergin asteikko on noin 100° ja/tai lonkkamaljakon kraniolateraalin reuna on vähän mataloitunut. Epätasaisuutta tai korkeintaan lieviä nivelrikkomuutoksia lonkkamaljan kraniaali-, kaudaali- tai dorsaalireunassa tai reisiluun päässä tai kaulassa. |
| D Kohtalainen dysplasia. | Selvää epätasaisuutta reisiluun päässä ja lonkkamaljakossa, subluksaatio. Norbergin asteikko on suurempi kuin 90° (vain suosituksena). Lonkkamaljakon kraniolateraalin reuna tasaantunut ja/tai nivelrikon merkkejä. |
| E Vaikea dysplasia. | Esim. luksaatio tai selvä subluksaatio, Nordbergin asteikko alle 90°, selvä lonkkamaljakon kraniaalireunan tasaantuminen, reisiluun pään epämuotoisuus (sienimäinen, tasaantunut) tai muut nivelrikkomuutokset. |



Kuva 2. Esimerkkikuvat lonkkanivelistä, jotka on luokiteltu FCI-luokkiin A—C. Röntgenkuvat: Eläinsairaala Vettori (1a, 1b, 2a ja 2b) ja Joensuun kaupungin eläinklinikka (3a ja 3b)



Kuva 3. Esimerkkikuvat lonkkanivelistä, jotka on luokiteltu FCI-luokkiin D ja E. Röntgenkuvat: Lillvet Tampere (4a ja 4b) ja Itavet Pieneläinklinikka (5a ja 5b)

2.4.2 JTO ja PeViSa

Kunkin rodun rotujärjestö määrittelee rodulle Jalostuksen tavoiteohjelman (JTO), jonka SKL hyväksyy. JTO sisältää tietoa rodusta, kuten sen luonteesta, terveystilanteesta ja jalostuksesta. Siinä määritellään myös rodulle asetetut jalostustavoitteet ja -suositukset, sekä kerrotaan mitä asioita on syytä pitää silmällä rotua kasvattaessa. (Suomen Kennelliitto n.d.)

Osalle roduista on asetettu SKL:n (Suomen Kennelliitto) ja rotujärjestön toimesta PeViSa-ohjelma (Perinnöllisten vikojen ja sairauksien vastustusohjelma), joka perustuu JTO:ssa esitettyyn tietoon rodusta. Yksi PeViSan tarkoituksista on estää rodussa esiintyvien perinnöllisten sairauksien lisääntyminen (Suomen Kennelliitto 2024). Se määrittelee vähimmäisrajat muun muassa lonkkaniveldysplasian asteesta jalostuskoirille niissä roduissa, joissa sairauden on katsottu olevan merkittävä ongelma.

Rotukohtaisessa PeViSa-ohjelmassa on määritelty raja-arvo, jonka jalostukseen käytettävän koiran tulee täyttää. Esimerkiksi kultaisellenoutajalle raja-arvoksi on asetettu aste C (lievä dysplasia). Lisäksi PeViSa voi määritellä, miten tietyn tuloksen saaneita koiria voidaan käyttää jalostukseen. Esimerkiksi kultaisellanoutajalla on määritelty, että lonkkaluokitusasteen C saanut koira voidaan parittaa vain kumppanin kanssa, jonka lonkiltaan terve (aste A). (Suomen Kennelliitto 2024)

2.4.3 BLUP-indeksi

Joidenkin rotujen kohdalla koirayksilöille voidaan myös laskea niin kutsuttu BLUP-indeksi (Best Linear Unbiased Prediction, paras lineaarinen harhaton ennuste), jolla pyritään antamaan laskennallinen arvo koiran jalostusarvosta tietyn ominaisuuden suhteen. Suomalaisten jalostuskoirien BLUP-indeksit lasketaan SKL:n jalostustietokannasta saatavan datan perusteella. Käytännössä sillä pyritään antamaan odotusarvo sille, kuinka todennäköisesti esimerkiksi lonkkaniveldysplasia periytyy yksilön jälkeläisille. (Suomen Kennelliitto 2024)

Laskettuun indeksilukuun vaikuttaa koiran oman lonkkatuloksen lisäksi sen sukulaisten lonkkatulokset ja ulkoiset tekijät kuten koiran ikä, sukupuoli,

syntymävuosi sekä lonkkalausunnon antaja. Indeksiluku 100 edustaa rodun keskitasoa (SKL:ään rekisteröidyistä koirista), ja yhdistelmän vanhempien BLUP-indeksien keskiarvon ylittäessä indeksiarvon 100, odotetaan jälkeläisille rodun keskitasoa parempaa lonkkatulosta. Vastaavasti, kun keskiarvoinen BLUP-indeksi alittaa lukeman 100, odotetaan jälkeläisille rodun keskitasoa huonompaa tulosta. (Suomen Kennelliitto 2024)

BLUP-indeksin laskeminen on valitettavasti mahdollista vain roduille, joiden luustoltaan tutkittujen yksilöiden määrä on riittävän suuri, joten se on käytössä tällä hetkellä vain 17 rodulla 320 FCI:n hyväksymästä rodusta, joiden yksilöitä on rekisteröity SKL:ään. (Mäki 2006)

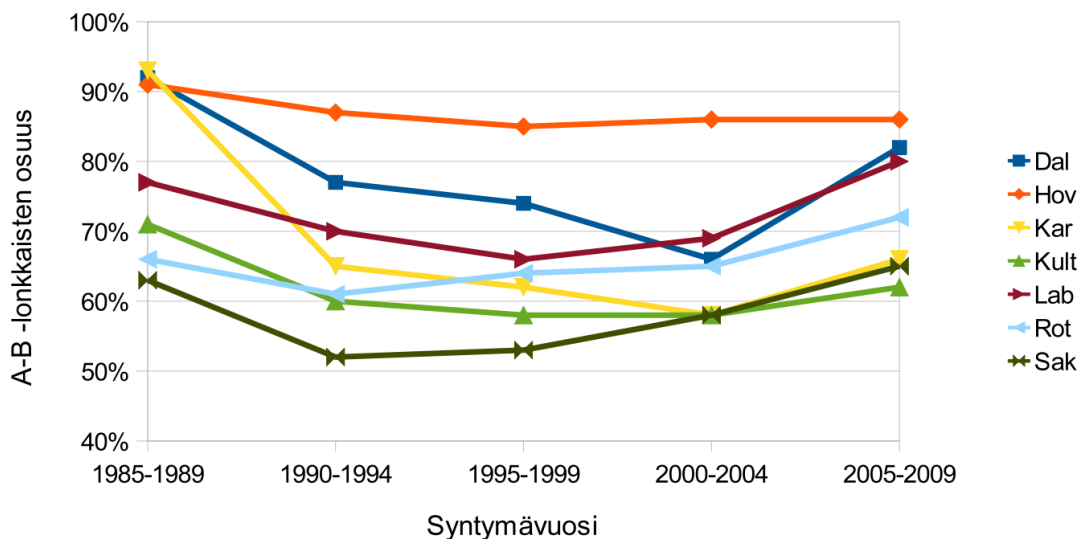
2.4.4 PeViSa-ohjelman tulokset

Fenotyyppiin perustuvan jalostusvalinnan ja siihen pohjautuvien jalostuksen työkalujen vaikutuksia koirapopulaation lonkkaterveyteen on tarkasteltava kokonaisuutena, sillä yksittäisten keinojen vaikutuksista tilanteeseen ei ole tehty tutkimusta tai ainakaan tuloksia ei ole julkistettu. On myös huomioitava, että tuloksia on tarkasteltava maakohtaisella tasolla, sillä huolimatta yhteisistä arvostelukriteereistä, FCI:n alaisten maiden sairauksia ehkäisevissä strategioissa on eroja. Tämän opinnäytetyön puitteissa tarkastellaan siis Suomessa käytössä olevan PeViSa-ohjelman vaikutuksia.

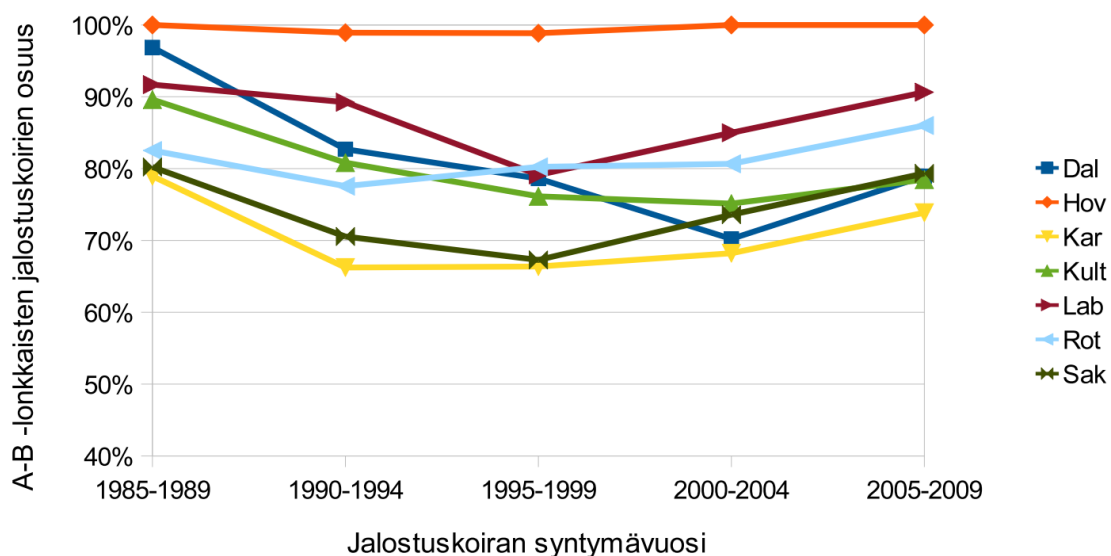
Fenotyyppiin perustuvaa jalostusvalintaa on ollut käytössä joillakin roduilla jo liki 30 vuoden ajan. Ensimmäiset PeViSa-ohjelmat otettiin käyttöön kultaisennoutajalle ja labradorinnoutajalle jo vuonna 1984, ja niiden esimerkkiä seurasi pian myös saksanpaimenkoira (1986), rottweiler sekä hovawart (1994). Osan näiden rotujen luustoterveyttä tutkittiin melko kattavasti (vuositasolla 30 % — 48 % rekisteröidyistä koirista) jo ennen PeViSa-ohjelmien voimaantuloa. (Mäki 2011, 1,3)

Tarkastellessa edellä mainittujen rotujen tuloksia (Kuvio 1. A-B lonkkaisien koirien osuus populaatiosta. Dal: dalmatiankoira, Hov: hovawart, Kar: Karjalankarhukoira, Kult: kultainennoutaja, Lab:labradorinnoutaja, Rot:rottweiler, Sak: saksanpaimenkoira.), voidaan nähdä, että tervelonkkaisien koirien osuus koko SKL:ään rekisteröidystä koirakannasta on ollut nousujohteinen, mutta samalla on huomioitava, että rodun keskiarvoinen tulos on myötäillyt käytettyjen jalostuskoirien tasoa (Kuvio 2. A—B-lonkkaisten jalostuskoirien osuus kaikista

jalostukseen käytetyistä koirista.) eli mitä enemmän tervelonkkaisia vanhempia on ollut, sitä enemmän on ollut myös terveitä jälkeläisiä. Hovawartin kohdalla tulos on pysynyt melko tasaisena, sillä niiden terveystulosvaatimukset ovat olleet korkeat jo ennen PeViSa:n asettamista. (Mäki 2011, 3,4)



Kuvio 1. A-B lonkkaisien koirien osuus populaatiosta. Dal: dalmatiankoira, Hov: hovawart, Kar: Karjalankarhukoira, Kult: kultainennotaja, Lab:labradorinnoutaja, Rot:rottweiler, Sak: saksanpaimenkoira. (Mäki 2011)



Kuvio 2. A—B-lonkkaisten jalostuskoirien osuus kaikista jalostukseen käytetyistä koirista. (Mäki 2011)

2.5 Röntgenkuvantamisen ja röntgenkuvien tulkinnan asettamat haasteet

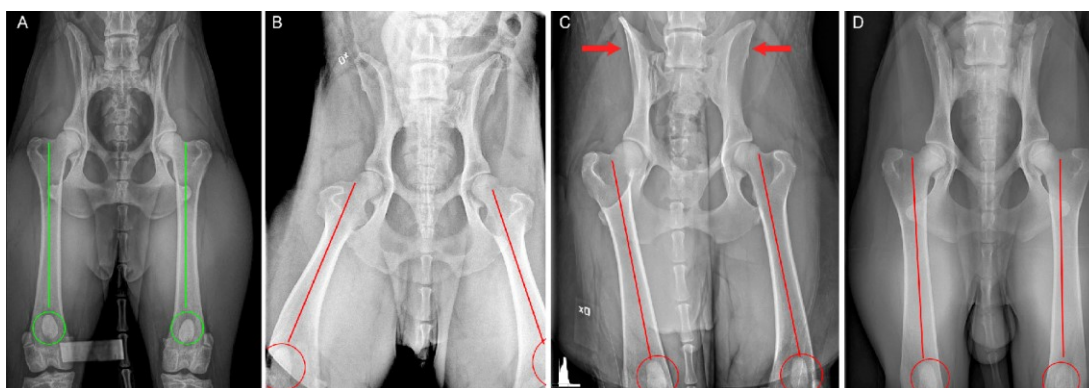
Koiran lonkkien röntgenkuvantamiseen liittyy myös teknisiä vaatimuksia ja niistä poikkeaminen voi lisätä virheellisten lonkkalausuntojen riskiä. Nykyinen käytäntö on, että lonkkanivelet arvioidaan asiantuntevien eläinlääkärien toimesta (Suomen Kennelliitto, 2024). Vuoden 2024 keväällä lausuntoja antavia eläinlääkäreitä on viisi (Suomen Kennelliitto). Lonkkalausunto on yhdistelmä erinäisiä mitattavia arvoja, kuten Norbergin asteluku, ja lausujan tulkinta FCI:n arvosteluohjeesta. Koska arviointi on manuaalinen prosessi, on mahdollista, että inhimilliset tekijät, kuten lausujan väsymyksestä johtuva alentunut tarkkaavaisuus, voivat vaikuttaa myös asiantuntijoiden lausuntotarkkuuteen.

Keskeistä röntgenkuvien ottamisen suhteen on koiran asettelu ohjeiden mukaisesti kuvantamisen aikana. Koiran tulee olla vahvasti rauhoitettu, jotta sen asettelu röntgenkuvaa varten onnistuu ohjeiden mukaisesti, eikä lihaksien jännittäminen anna väärää kuvaa lonkkaniveliä löysyysasteesta. Koiran tulee maata kuvauspöydällä selällään siten, että sen lantio on suorassa sekä pituus- että sivuttaissuunnassa. Takaraajat tulee vetää suoraan taakse siten, että ne ovat suorassa linjassa ja symmetrisesti keskenään. Polvilumpioiden tulee olla keskellä reisiluuta. (Suomen Kennelliitto n.d.) **(Virhe. Viitteen lähde ei löytnyt.)**



Kuva 4. Koiran oikea asettelu röntgenkuvassa. Kuvat: Suvi Lehto

Mikäli koira on kuvattu edellä kuvatusta poikkeavalla tavalla, voi lonkkanivelen rakenne ja löysyysaste näyttäytyä hyvin erilaisena verrattuna oikein aseteltuun kuvaan. Tyypillisiä asettelusta johtuvia vääristymiä ovat mm. nivelen löysyyden ali- tai ylikorostuminen (reisiluut eivät ole suorassa linjassa ja toisiinsa nähden yhdenmukaisesti aseteltu, takaraajoja ei ole venytetty riittävästi tai polvet ovat kiertyneet ulospäin), sekä lonkkamaljan todellisen syvyyden vääristyminen (lantio on kallistunut jompaankumpaan suuntaan) (Suomen Kennelliitto n.d.) (Kuva 5. Esimerkkejä oikeasta ja väärästä kuvausasennosta. A: Oikea kuvausasettelu, B: Takaraajat liian levällään ja kohollaan, ja polvilumpiot osoittavat ulospäin. C: Lantio kiertynyt, takaraajat eivät suorassa. D: Reisiluita kierretty hieman liikaa sisäänpäin.)



Kuva 5. Esimerkkejä oikeasta ja väärästä kuvausasennosta. A: Oikea kuvausasettelu, B: Takaraajat liian levällään ja kohollaan, ja polvilumpiot osoittavat ulospäin. C: Lantio kiertynyt, takaraajat eivät suorassa. D: Reisiluita kierretty hieman liikaa sisäänpäin. Röntgenkuvat: Eläinlääkäriasema Peninkulma(A), Eläinsairaala Vettori (C), Helsingin Yliopistollinen Eläinsairaala (D)

Pieniä virheitä asettelussa lausuntoja annettaessa sallitaan, mutta huomattavasti vinossa tai muutoin huonosti asetellusta koirasta otetuista röntgenkuvista ei anneta lausuntoa. Poikkeuksena vakavat lonkkadysplasiatapaukset, jotka voidaan havaita myös heikompilaatuisista kuvista. (Suomen Kennelliitto 2023) Heikompilaatuisten kuvien jättäminen arvostelun ulkopuolelle takaa luotettavamman ja kaikille yhtenäisemmän arvostelun. Tämä on erityisen tärkeää, koska useassa tapauksessa kasvatuksessa tehtävät jalostusvalinnat perustuvat ainakin osin terveystuloksiin ja todenmukaiset lausunnot tekevät rotujen tilanteen kartoittamisesta sekä tarkkailusta helpompaa.

2.6 Arvosteluohjeen tulkinnan epäyhtenäisyys

FCI:n kuvantamis- ja arvosteluohje on käytössä yli 80 maassa, joista suuri osa sijaitsee Euroopassa ja lisäksi Etelä-Amerikassa, Aasiassa ja Venäjällä. On kuitenkin huomionarvoista, että röntgenkuvien tulkinta tapahtuu koulutukseltaan hyvin eritasoisten henkilöiden toimesta, sillä FCI ei säätele lausunnon antajan ammatillista pätevyys- tai koulutustasoa. Esimerkiksi Saksassa jokaisella rotujärjestöllä on nimetty henkilö, joka saa antaa lausuntoja kyseiselle rodulle. Tämä henkilö voi olla täysin itseoppinut tai korkeasti koulutettu eläinlääkäri. Yhdellä rodulla voi olla samassa maassa myös useita rotujärjestöjä, joilla kullakin on omat lausujat, joka puolestaan voi aiheuttaa epätasaisuutta lausunnoissa jo yhden rodun sisällä. (Flückiger 2007, 135, 137)

Vaikka FCI on määritellyt lonkkaniveldysplasian luokitteluun asteikon, sen tulkinta vaihtelee varsin merkittävästi. Ruotsin Käyttökoirakerho (Svenska Brukshundklubben) teetätti selvityksen, jossa haluttiin verrata ruotsalaisia lonkkaniveldysplasialausuntoja kolmen eri maan (ei Pohjoismaan) lausuntoihin samoista röntgenkuvista. Aineisto kattoi noin 300 röntgenkuvaa, jotka lausuttiin neljässä maassa (Ruotsi, Italia, Hollanti ja Saksa). Vertailussa kävi ilmi, että kaikissa kolmessa muussa maassa lausunnot poikkesivat ruotsalaisista lausunnoista (noin 50 % koirista sai eri lausunnon) ja useimmissa tapauksissa lausunto oli kokonaisen asteen parempi kuin ruotsalaisessa lausunnossa. (Svenska Brukshundklubben 2023, 1-2)

Arvosteluohjeen tulkinnan epäyhtenäisyys näkyy myös eri arvostelijoiden välillä. Vuonna 2007 julkaistu tutkielma selvitti lausujien keskinäistä samanmielisyyttä lonkkaniveldysplasian diagnosoinnissa ja luokittelussa FCI:n arvosteluohjeen mukaisesti. Tutkimusryhmä pyysi arvion 30 eri lausujalta 25 eri koirasta otetuista lonkkakuvista. Jokaisesta koirasta oli otettu kaksi eri röntgenkuvaa, joissa koiran asettelu tai valotus vaihteli. Jokaista lausujaa pyydettiin antamaan kustakin kuvasta lausunto. He eivät tienneet, että kuvissa esiintyi samoja koiria. Lausujien tuli antaa kaikille lonkkanivelille arvosana (A—E) ja myös arvioida oliko röntgenkuva tekniseltä tasoltaan riittävä. (Verhoeven ym. 2007, 389)

Tutkimuksesta kävi ilmi, että kun lausunnot jaettiin kahteen luokkaan (terveet ja dysplastiset lonkkanivelet), arvostelijat olivat samaa mieltä tuloksesta 72-prosenttisesti. Kun lonkkia luokiteltiin FCI:n ohjeen mukaan, arvostelijat olivat samaa mieltä vain 43,6-prosenttisesti. (Verhoeven ym. 2007, 389)

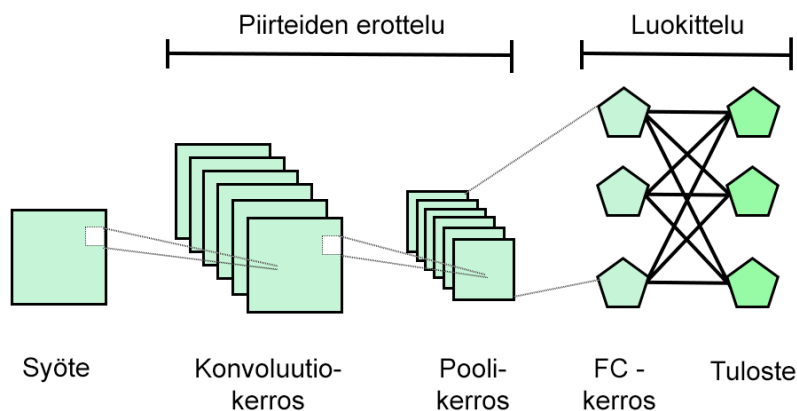
Tutkimuksen tulos vahvistaa käsitystä arvostelun subjektiivisesta luonteesta ja herättää kysymyksiä järjestelmän toimivuudesta. Tämänkin takia on syytä etsiä keinoja arvioida lonkkia luotettavammin.

3 Konvoluutioneuroverkko

Konvoluutioneuroverkko (engl. Convolutional Neural Network, CNN) on syväoppimisen (engl. Deep Learning) algoritmi ja sitä hyödynnetään kuvamuotoisen informaation luokitteluun. Algoritmi voidaan opettaa tunnistamaan erilaisia muotoja kuvista ja näiden perusteella tekemään arvioin kuvan sisällöstä. (Zaccone & Karim 2018, 139-140) Algoritmi voidaan esimerkiksi opettaa etsimään kuvia sisältävistä tietoaaineistoista ne kuvat, joissa on kissa. Algoritmi analysoi kuvat ja sen perusteella, löytääkö se kuvista tiettyjä ennalta opittuja muotoja, se arvioi onko kuvassa kissa vai ei.

Digitaalinen kuva muodostuu pikseleistä (kuvapiste) ja jokainen pikseli on yksivärinen. Kun kuvaa tarkastellaan riittävän kaukaa, yksittäiset pikselit muodostavat kokonaisuuden eli kuvan. Jokaisella värillä on RGB-arvo (lyhenne muodostuu sanoista red (punainen), green (vihreä) ja blue (sininen)), joka kertoo, kuinka paljon kutakin kolmesta väristä on sekoitettu juuri tässä pikselissä. Pienin arvo 0 edustaa mustaa ja suurin arvo 255 edustaa valkoista. (Zaccone & Karim 2018, 140)

Konvoluutioneuroverkko koostuu kerroksista (engl. layers), jotka käsittelevät syötettyä tietoa. Näitä kerroksia on useita, mutta ne jaetaan karkeasti kolmeen eri tyyppiin: konvoluutiokerros (engl. convolution layer), poolikerros (engl. pooling layer) ja täysin yhdistetty kerros (engl. fully connected layer, FC layer). (Zaccone & Karim 2018, 142-143) (Kuva 6. Konvoluutioneuroverkon perusrakenne (IBM, 2024).) Konvoluutioneuroverkossa voi olla myös muita kerroksia, mutta tämän työn yhteydessä keskitymme vain niistä keskeisimpiin.



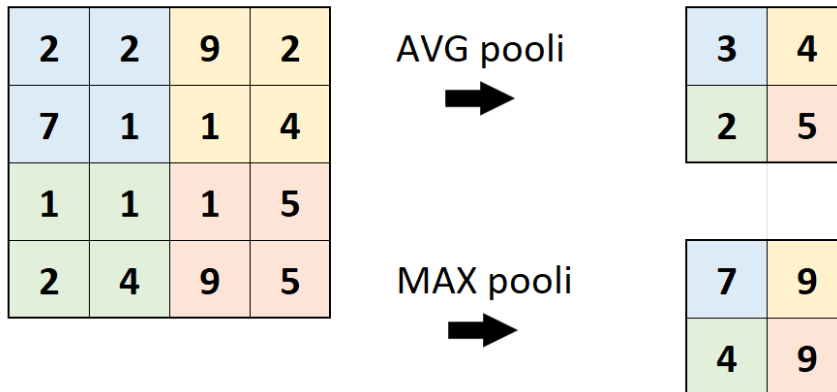
Kuva 6. Konvoluutioneuroverkon perusrakenne (IBM, 2024).

Konvoluutiokerroksessa kuvaa tarkastellaan matriisien eli suotimien (engl. kernel filter) avulla, joihin on ennalta syötetty tietty painotus eli RGB-arvoja erilaisissa muodostelmissa. Erilaiset arvojen muodostelemat muokkaavat syötettyä kuvaa eri tavalla. Syötetystä kuvasta käsitellään tämän suotimen kokoinen alue ja syötekuvan alueen sisältämien RGB-arvojen ja suotimen arvojen välillä suoritetaan konvoluutio (Kuva 7. Konvoluutiokerroksessa suoritetaan arvojen välinen konvoluutio (IBM, 2024). Kuva käsitellään askel (engl. stride) kerrallaan edeten ja tulokset muodostavat uuden kuvan eli piirrekartan (engl. feature map). Suotimia on kerroksessa useita ja näiden tuottamat piirrekartat lähetetään algoritmin seuraaviin kerroksiin. Konvoluutiokerroksia vaaditaan yleensä useita ja jokainen suodin etsii kuvasta erilaisia piirteitä. (Zaccone & Karim 2018, 141-143). Yksi suodin voi esimerkiksi etsiä kuvasta pysty- tai vaakasuuntaisia raja-alueita.

| Syötekuva | x | Suodin (3x3) | = | Piirrekartta | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|---|--------------|---|--------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|--|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|--|--|--|--|--|--|--|--|
| <table border="1" style="border-collapse: collapse; text-align: center;"> <tr><td>5</td><td>1</td><td>3</td><td>3</td><td>2</td></tr> <tr><td>7</td><td>5</td><td>1</td><td>2</td><td>7</td></tr> <tr><td>9</td><td>3</td><td>5</td><td>2</td><td>0</td></tr> <tr><td>1</td><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>9</td></tr> <tr><td>2</td><td>6</td><td>8</td><td>0</td><td>4</td></tr> </table> | 5 | 1 | 3 | 3 | 2 | 7 | 5 | 1 | 2 | 7 | 9 | 3 | 5 | 2 | 0 | 1 | 1 | 2 | 3 | 9 | 2 | 6 | 8 | 0 | 4 | x | <table border="1" style="border-collapse: collapse; text-align: center;"> <tr><td>2</td><td>0</td><td>1</td></tr> <tr><td>1</td><td>2</td><td>5</td></tr> <tr><td>1</td><td>0</td><td>2</td></tr> </table> | 2 | 0 | 1 | 1 | 2 | 5 | 1 | 0 | 2 | = | <table border="1" style="border-collapse: collapse; text-align: center;"> <tr><td>46</td><td></td><td></td></tr> <tr><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td></td><td></td><td></td></tr> </table> | 46 | | | | | | | | |
| 5 | 1 | 3 | 3 | 2 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 7 | 5 | 1 | 2 | 7 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 9 | 3 | 5 | 2 | 0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1 | 1 | 2 | 3 | 9 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2 | 6 | 8 | 0 | 4 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2 | 0 | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1 | 2 | 5 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1 | 0 | 2 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 46 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

Kuva 7. Konvoluutiokerroksessa suoritetaan arvojen välinen konvoluutio (IBM, 2024).

Poolikerros rajaa konvoluutiokerroksessa saatujen parametrien määrää, jotta prosessointiaikaa saataisiin lyhennettyä. Ennalta määritellään matriisin koko eli ns. pooli-ikkuna, joka on resoluutioltaan pienempi kuin parametrina saatu syöte. Esimerkiksi jos konvoluutiokerroksesta saatu matriisi on kooltaan 4x4, pooli-ikkuna voi olla 2x2. Riippuen valitusta tavasta suodattaa tietoa, tuloksena on yleensä 2x2 matriisi, jossa on kunkin käsitellyn alueen maksimi-, minimi- tai keskiarvo. (IBM 2024) (Kuva 8. Pooli-ikkunan toiminta. Tuloksena tässä tapauksessa joko alueen keskiarvo tai maksimiarvo (Hasan, n.d.).

Syöte

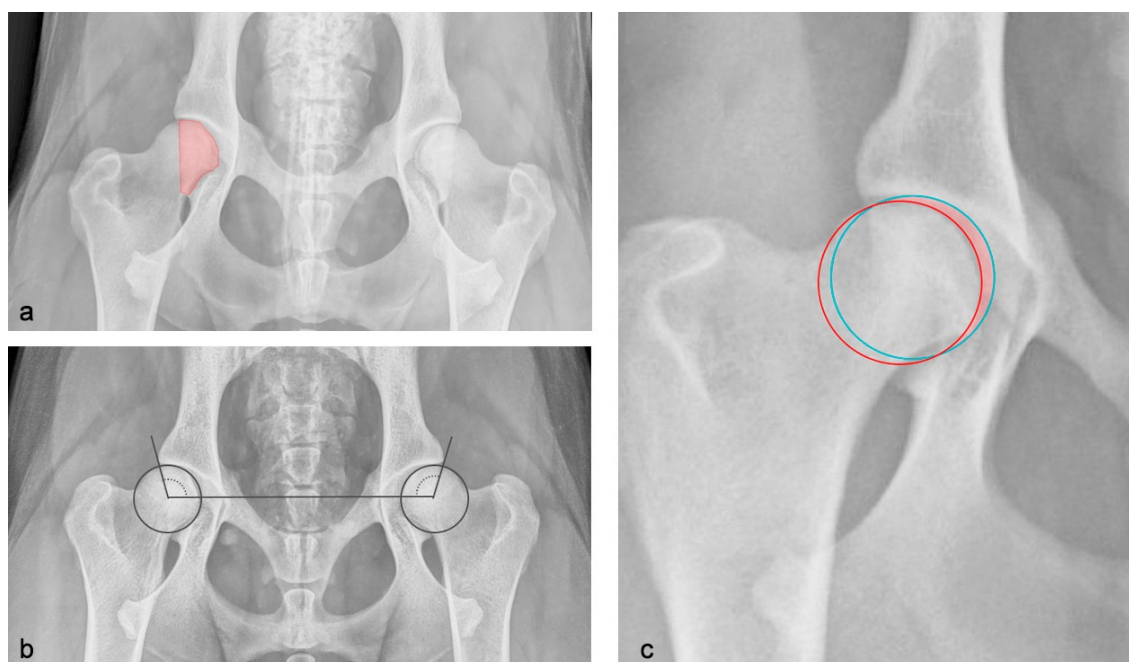
Kuva 8. Pooli-ikkunan toiminta. Tuloksena tässä tapauksessa joko alueen keskiarvo tai maksimiarvo (Hasan, n.d.).

Viimeiset kerrokset ovat niin kutsuttuja täysin yhdistettyjä kerroksia (engl. fully connected layer), joita kutsutaan myös FC-kerroksiksi. FC-kerroksia on yleensä useita ja niissä arvioidaan kuvan todennäköisyys kuulua johonkin ennalta määritetyistä luokista. Arvio perustuu aiemmista kerroksista saatujen piirrekarttojen yhdistelmästä. (IBM 2024)

4 Tutkimustuloksia

Konvoluutioneuroverkon hyödyntämistä koirien lonkkadysplasian tunnistamisessa ja asteen luokittelussa on selvitetty ainakin neljässä tutkimuksessa, joista yksi on toteutettu Suomessa. Tulokset kaikissa tapauksissa ovat olleet lupaavia, mutta ainakaan huhtikuuhun 2024 mennessä ei tietääkseni ole kehitetty täysin automatisoitua KNV-pohjaista ohjelmistoa, joka kykenisi antamaan luokan lonkkaniveldysplasian vakavuudelle.

Markkinoilla on kuitenkin olemassa KNV-pohjainen DYS4VET-ohjelmisto, joka pystyy mittaamaan lonkkanivelen yhdenmukaisuusaste (engl. Hip Congruency Index, HCI), reisiluunpään peittoalueen prosenttiosuus (Kuva 9a.), Nordbergin asteluku (asteluku, joka mitataan kummallekin lonkkanivelelle erikseen vetämällä viiva reisiluiden päiden keskikohdan välille ja toiset viivat reisiluun päistä lonkkamaljojen ulkoreunoihin) (Kuva 9b.), löysyysaste (engl. Distraction Index, DI) (Kuva 9c.) (DYS4VET 2024).



Kuva 9. DYS4VET-ohjelmiston tunnistamat rakenteen piirteet (Dysvet 2024). Röntgenkuvat: Eläinsairaala Vettori (a ja b) ja Kari Ventelä (c).

Koska näiden rakenteellisten piirteiden sekä mahdollisten nivelrikkohavaintojen perusteella annetaan lonkkanivelille myös FCI-lonkkaluokitus (A—E), ei ohjelmiston edelleenkehitys koiranjalostuksen työkaluksi ole lainkaan mahdoton

ajatus. Ohjelmisto on kuitenkin kehitetty eläinlääkärien apuvälineeksi helpottamaan röntgenkuvien tulkintaa lonkkadysplasian diagnosoinnissa, ei lonkkaluokituksen arvioimiseen. Luokittelua ajatellen DYS4VET-ohjelmiston keskeiset puutteet ovat sen kyvyttömyys havaita ja tulkita röntgenkuvissa näkyviä nivelrikkomuutoksia, sekä arvioida koiran asettelun oikeellisuutta.

4.1 Koiran lonkkaniveldysplasian konvoluutioneuroverkon avulla

Alex Talvion (2022) pro gradu-tutkielma *Koiran lonkkaniveldysplasian diagnosointi konvoluutioneuroverkkoa hyödyntäen* on vuoden 2024 keväällä ainoa Suomessa ja suomeksi toteutettu tutkielma aiheesta. Talvion tutkielma on mielenkiintoinen, koska sen luokittelun pohjana on FCI:n arviointiohjeen lisäksi SKL:n alaisten lausujien tulkinta kyseisestä ohjeesta ja tutkielmassa käytetty röntgenkuva-aineisto on peräisin Suomen Kennelliitolta. Suomessa lonkkaniveldysplasian lausunta on keskitettyä ja tämän vuoksi lonkkien luokittelu on varsin yhdenmukaista, joka tekee myös algoritmin opetusaineistoista tasalaatuisempaa.

Talvion käyttämä aineisto käsitti yli 100 000 lonkkakuvaa ja niiden SKL:ssä annetut lausunnot. Aineisto sisälsi Suomen 20 suosituimman rodun lonkkakuvia. Aineistossa oli vinoumaa, sillä melkein 50 % kuvista oli A-lonkkia (normaali), hieman alle 30 % B-lonkkia (lähes normaali), reilu 15 % C-lonkkia (lievä dysplasia) ja loput D- ja E-lonkkia (kohtalainen ja vaikea dysplasia). (Talvio 2022, 13,42) (Esimerkkikuvat lonkista: Kuva 2 ja Kuva 3)

Ensimmäisessä vaiheessa Talvio hyödynsi Mask R-CNN-hahmontunnistusalgoritmia lonkkaniveliä tunnistamiseen ja rajaamiseen röntgenkuvista. Lopullinen malli pystyi tunnistamaan lonkkanivelet kuvista 99,5 % todennäköisyydellä. (Talvio 2022, 37,40)

Seuraavassa vaiheessa Talvio keskittyi automaattisen lonkkalausujan kehittämiseen eli hän opetti algoritmia tunnistamaan eriasteiset lonkat annetusta aineistosta. Hän päätyi käyttämään EfficientNetB2-konvoluutioarkkitehtuuria erilaisilla luokkapainoilla (arvo, jolla voidaan korjata vinoutunutta aineistoa) ja minimitodennäköisyyksillä (mikä on pienin hyväksytty todennäköisyys kuvan kuulua johonkin luokkaan). Suurimmat haasteet algoritmeilla oli A- ja B-luokkien lonkkien erottamisessa keskenään. B-lonkkien onnistunut luokitus nousi 50 % vasta, kun minimitodennäköisyys laskettiin 70

prosenttiin. Vertailuksi, A-lonkkien oikea luokitus onnistui 100 % oikein minimitodennäköisyyden ollessa 95 %. (Talvio 2022, 53)

Tutkielman tulokset ovat lupaavia, joskin Talvio toteaa, että luokat B—E vaativat vielä työstämistä, jotta niiden luokittelun tarkkuutta saadaan nostettua. Hänen näkemyksensä mukaan luontevin jatkumo kehitystyössä olisi yhdistelmäoppiminen (engl. ensemble learning), eli syötteen ajaminen useamman eri mallin läpi ja niiden antamien tulosten keskiarvoa voitaisiin käyttää lopullisena tuloksena. (Talvio 2022, 54)

Lonkkalausuntojen täysi automatisointi ei Talvion mukaan ole todennäköistä, koska joissain rajatapauksissa luokituksen antaminen on koulutetulle radiologillekin haastavaa. Lisäksi haasteena on kuvien laadullinen yhdenmukaisuus, sekä asettelun, että kuvalaadun suhteen. Mallia voitaisiin kuitenkin hyödyntää esimerkiksi vain A-lonkkien lausuntaan, mikäli mallin arvioisi antamansa tuloksen varmaksi. (Talvio 2022, 54-55)

4.2 Syväsiirto-oppimisen käyttö lonkkanivelen tunnistamiseen ja luokitteluun

Tanskalaisen työryhmän tutkimus (2021) *Syväsiirto-oppimista voidaan käyttää lonkkanivelen tunnistamiseen ja niiden lonkkaniveldysplasiatilien luokitteluun* (alkuperäinen englanninkielinen otsikko *Deep transfer learning can be used for the detection of hip joints in pelvis radiographs and the classification of their hip dysplasia status*) tarkastelee siirto-oppimisen mahdollisuuksia lonkkanivelen tunnistuksessa ja lonkkaniveldysplasian asteen luokittelussa röntgenkuvista. (McEvoy ym. 2021, 388)

Tutkijaryhmällä oli käytössään Tanskan Kennelliiton tarjoamat 11 759 röntgenkuvaa (eli 23 518 yksittäistä lonkkaniveltä) 128 eri rodusta ja niiden FCI:n mukainen luokitus. Aineisto luokiteltiin kahteen ryhmään eli lonkkaniveeliin, jossa ei ole havaittavissa merkittäviä lonkkaniveldysplasian merkkejä (arvosteltu luokkiin A tai B), sekä niihin, joissa oli merkkejä lonkkadysplasiasta (arvosteltu luokkiin C, D tai E). Myös tässä tutkimuksessa aineisto oli vinoutunut siten, että eli 87 % lonkkakuvista edusti joko luokkaa A tai B. (McEvoy ym. 2021, 388-389)

Myös tässä tutkimuksessa prosessi jakautui kahteen vaiheeseen: ensimmäisenä vaiheena lonkkanivelen tunnistus röntgenkuvasta ja täsmällisen kehikon (engl. bounding box) rajaaminen kuvasta, sekä toisena vaiheena

lonkkanivelen tunnistamiseen sekä binääriseen luokitteluun joko dysplastiseksi tai terveeksi. (McEvoy ym. 2021, 388)

Lonkkaniveliä tunnistukseen ensimmäisessä vaiheessa käytettiin hahmotunnistusalgoritmia nimeltä YOLO v3 – Tiny ConvNet, jota koulutettiin rajaamaan oikea alue röntgenkuvasta kehikoksi. Algoritmi pystyi tunnistamaan lonkkanivelet 96 % syötetyistä kuvista. (McEvoy ym. 2021, 390)

Samaa algoritmia käytettiin myös luokitteluvaiheessa. Sille tarjottiin 2682 testikuvaa, joista se luokitteli 92 %, luottamuskynnyksen (arvo, joka määrittelee vähimmäisloukkutason, jolloin luokitus hyväksytään) ollessa 0,5. FCI-luokittain se tunnistoi terveen lonkkanivelen dysplastisesta siten, että 92 % luokan A ja 83 % luokan B lonkkanivelistä luokiteltiin oikeaan luokkaan (ei osoita merkkejä dysplasiasta), sekä 31 % luokan C, 75 % luokan D ja 92 % luokan E lonkkanivelistä oikeaan luokkaan (osoittaa merkkejä dysplasiasta). (McEvoy ym. 2021, 390-391)

Tutkijaryhmän mukaan tutkimus osoittaa, että koneoppimista voidaan soveltaa eläinlääketieteellisiin kuviin. Se pystyy havaitsemaan oleellisia rakenteita ja luokittelemaan lonkkaniveleitä. Tutkimuksesta saatettiin kuitenkin havaita, että lonkkaniveldysplasian kohdalla luokkaan C kuuluvien lonkkien luokittelu oli selkeästi muita luokkia haastavampaa, ainakin tutkimuksessa käytetyn aineiston kanssa. (McEvoy ym. 2021, 391)

Tutkijaryhmän mukaan tässä vaiheessa ei vielä voida mallia viedä kliiniseen käyttöön, sillä sen tarkkuus ei ole nykyisellään riittävä. He arvelivat, että tarvittaisiin merkittävästi enemmän röntgenkuvia, jotta tarkkuutta saataisiin lisättyä. Koska FCI on kansainvälinen järjestö ja sen lonkkadysplasian arvosteluohjetta käyttää liki sata jäsen- ja sopimusmaata, voitaisiin tulevaisuudessa mahdollisesti hyödyntää useiden maiden eri aineistoja. Tätä tukee myös se, että tutkimuksessa ei havaittu merkittävää eroa suorituksessa, vaikka röntgenkuvien tekninen laatu saattoikin vaihdella. Suurin haaste toimivan ja kansainvälisesti käyttökelpoisen mallin kehittämiseen on kuitenkin erot luokitteluohjeen tulokinnassa ja näin ollen luokittelun tuloksissa. (McEvoy ym. 2021, 392)

Myös vinoutuneella aineistolla katsottiin olevan negatiivisia vaikutuksia mallin suorituskykyyn. Tätä voitaisiin kuitenkin korjata tulevissa kokeiluissa tasapainottamalla tutkimusaineistoa siten, että osa A ja B luokitetuista kuvista

jätetään aineiston ulkopuolelle, jotta eri luokat olisivat tasaisemmin edustettuna mallin opetukseen käytettävässä aineistossa. (McEvoy ym. 2021, 392)

4.3 Koiran lonkkadysplasian tietokoneavusteinen diagnosointi

Algerialaiskanadalainen tutkimusartikkeli (2023) otsikolla *Koiran lonkkadysplasian tietokoneavusteinen diagnoosi käyttämällä syväoppimista uudessa röntgenkuvatietojoukossa* (alkuperäinen englanninkielinen otsikko *Computer-aided diagnosis of Canine Hip Dysplasia using deep learning approach in a novel X-ray image dataset*), jossa tutkijaryhmä tutki konvoluutioneuroverkon mahdollisuuksia lonkkaniveldysplasian diagnosoinnissa. (Boufenar ym. 2023, 1)

Poiketen edellä käsitellyistä kahdesta tutkimuksesta, tässä tutkimuksessa kerättiin röntgenkuvat ja niiden lausunnot suoraan eläinlääkäreiltä, eikä paikalliselta kenneljärjestöltä. Kuvia saatiin tähän tutkimukseen 487 kappaletta, mikä on merkittävästi pienempi määrä kuin aiemmin mainituissa kahdessa tutkimuksessa (Boufenar ym. 2023, 2).

Tässäkin tutkimuksessa alkuperäisistä röntgenkuvista rajattiin vain lonkkanivelen alue ja kummatkin lonkkanivelet käännettiin samansuuntaisiksi, siten että oikeanpuoleiset lonkkanivelet käännettiin vaakasuunnassa peilikuviksi. Lonkkanivelet rajattiin manuaalisesti. Myös röntgenkuvien kontrastia säädettiin, jotta ne olisivat keskenään mahdollisimman yhdenmukaisia. (Boufenar ym. 2023, 3-5)

Koska alkuperäisessä aineistossa luokat A (hieman alle 26 % kuvista) ja E (hieman yli 35 % kuvista) olivat ylikorostuneet, tasoitettiin opetusaineiston luokkia siten, että olemassa olevia kuvia muokattiin kallistamalla kuvaa 0—10 astetta tai rajaamalla niitä tiiviimmin. Lopullisesta aineisto 70 % käytettiin mallin opettamiseen ja 15 % sekä testaukseen että tuloksen vahvistamiseen. (Boufenar ym. 2023, 5-6)

Ryhmä kokeili useita eri konvoluutioneuroverkon malleja, joista parhaiten suoriutuivat VGG16 ja DenseNet201. Viimeiseen näistä malleista valikoitui VGG16, jonka luotettavuus saatiin mm. keinotekoisella aineistomäärän lisäyksellä (engl. data augmentation) hiottua vielä paremmaksi. Mallin kokonaistasmällisyydeksi (engl. accuracy) saatiin k-parametrin arvolla 5 98,32

%. Dysplasialuokittain tarkkuudeksi (engl. precision) saatiin 0,97 (A), 0,99 (B), 0,98 (C), 0,97 (D) ja 1 (E). (Boufenar ym. 2023, 6,8)

Ryhmä arvio tässä tutkimuksessa esitetyn mallin kykenevän likimain ihmisen tarkkuuteen lonkkaniveldysplasian luokittelussa. He huomauttavat kuitenkin, että malli vaatii vielä kehitystyötä. Koska käytettävissä oli hyvin rajattu määrä kuva-aineistoa, voi tämän mallin soveltuvuus erilaisille aineistolle olla rajattua. Lisäksi on huomioitava, että kuvien alkuperäisiä luokituksia ei tehty asiantuntijan toimesta, joka olisi erityisen tärkeää luotettavan mallin kehittämisessä. Käytettävissä ollut ollut laitteisto rajasi myös mahdollisuuksia tutkia laajempien ja monimutkaisempien mallien suoriutumista tässä tutkimuksessa. (Boufenar ym. 2023, 9)

Tulevaisuudessa ryhmän on tarkoitus arvioida mallin luotettavuutta lisäämällä aineistoon kohinaa ja automatisoida röntgenkuvien rajausprosessi. Tämän lisäksi ryhmä haluaa lisätä aineiston monipuolisuutta ja tasapainoisuutta, sekä välttää ylisovitusongelmaa käyttämällä GAN (Generative Adversarial Networks) -malleja, sekä ottaa tulevaisuudessa tutkimuksissaan huomioon myös muita lonkkaniveldysplasian diagnosoinnissa keskeisiä seikkoja. (Boufenar ym. 2023, 9)

4.4 Syväoppimisen käyttö koirien lonkkaniveldysplasian ennustamisessa

Portugalilaisen työryhmän (2021) julkaisema tutkielma *Koirien lonkkaniveldysplasian ennustaminen röntgenkuvista syväoppimista käyttäen* (alkuperäinen englanninkielinen otsikko *Predicting Canine Hip Dysplasia in X-Ray Images Using Deep Learning*) selvitti mahdollisuuksia luokitella konvoluutioneuroverkon avulla tavanomaisen lonkkaniveldysplasian luokittelua röntgenkuvista FCI:n kriteerien mukaisesti. Tarkoitus oli mitata mallin tarkkuutta normaalien ja epänormaalien lonkkanivelien luokittelussa käytettäessä pientä aineistoa mallin opetukseen. (Gomes ym. 2021, 395)

Tutkijaryhmä valitsi esiopetetun Googlen Inception-V3 mallin, jossa on valmiiksi 48 konvoluutiokerrosta. Tietoaineisto sisälsi 225 röntgenkuvaa koirien lonkkanivelistä, jotka oli saatu Tràs-os-Montesin ja Alto Douron yliopiston eläinlääketieteelliseltä osastolta. Aineistossa oli 125 röntgenkuvaa, jotka sisälsivät merkkejä lonkkaniveldysplasiasta ja 100 röntgenkuvaa, joissa ei havaittu dysplasialle tyypillisiä muutoksia. Koko aineisto jaettiin siten, että 165

(73 %) kuvaa käytettiin mallin opettamiseen ja loput 60 (27 %) sen testaamiseen. (Gomes ym. 2021, 395-396)

Siirto-oppimistekniikkaa sovellettiin konvoluutioneuroverkkoon käyttäen Tensorflow-syväoppimiskehystä ja ohjelmointikielenä Pythonia. Opetusprosessin onnistumisen mittareina käytettiin opetustarkkuutta, validointitarkkuutta ja ristientropiaa. (Gomes ym. 2021, 396)

Opetustarkkuudeksi saatiin 100 % eli malli onnistui luokittelemaan kaikki opetuksessa käytetyt kuvat oikeaan kategoriaan. Ristientropian eli arvo, jolla tarkoitetaan kokonaishäviön minimointia opetusprosessin aikana, pienin saavutettu minimin arvo oli 0,038072. Validointitarkkuudella tarkoitetaan prosenttiosuutta kuvista, joita ei ole käytetty opetuksessa ja jotka olivat oikein luokiteltu. Saavutettu validointitarkkuus opetuksen aikana oli parhaimmillaan 83,8 %. (Gomes ym. 2021, 396-397)

Kun mallia testattiin testiaineistona olevilla 60 kuvalla, malli pystyi luokittelemaan 31:stä dysplastisen koiran lonkkakuvista oikein 26 ja 29:stä terveeseen koiran lonkkakuvasta se luokitteli oikein 19. Näin ollen mallin tarkkuudeksi saatiin 75 %. (Gomes ym. 2021, 397-398)

Tutkimuksen johtopäätöksissä kerrotaan esiopetetun mallin suoriutuneen hyvin binäärisestä luokittelutehtävästään pienellä aineistolla. Huomionarvoista on, että vain 40 kappaletta aineiston kuvista saatiin digitaalisessa muodossa ja loput 185 perinteisenä filmiröntgenkuvana, jotka muunnettiin digitaaliseen muotoon. Ryhmä arvelee tarkkuuden parantuvan suuremmalla opetusaineistolla ja mallia voidaan parantaa jakamalla lonkat useampiin alaluokkiin, kuvia rajaamalla ja arvioimalla lonkkanivelet yksi kerrallaan. Tätä tutkimustulosta voitaisiin vielä jalostaa käyttämällä tuoreempia konvoluutioneuroverkon arkkitehtuureja ja vertailemalla niiden suorituskykyä keskenään. (Gomes ym. 2021, 398-399)

5 Keskeisiä haasteita kehitystyölle

Vaikka tässä opinnäytetyössä esitellyt tutkimukset antavat vahvoja viitteitä siitä, että konvoluutioneuroverkko kykenee luotettavasti suoriutumaan lonkkaniveldysplasian asteen määrittelemisestä röntgenkuvan perusteella, on muutamia keskeisiä haasteita, jotka voivat hidastaa mallin kehittämistä. Nämä ovat epäyhdenmukaisuus lonkkaniveldysplasiaohjeen tulkinnassa, teknisen röntgenkuvalaadun epäyhdenmukaisuus ja koiran kuvausasettelun vaikutus erityisesti käytettäessä lonkkanivelen röntgenkuvasta rajaavaa esikäsittelyä.

5.1 Lonkkaniveldysplasian arvosteluohjeen tulkintavaihtelu

Epäyhtenäisyys lonkkaniveldysplasian lausunto-ohjeen tulkinnassa (luku 2.6) vaikeuttaa luotettavan lausujan kehittämistä. Jotta automaattinen lausunto-ohjelmisto saavuttaisi korkean käyttöasteen, on FCI:n ohjeen tulkintaa saatava yhdenmukaistettua kaikkien ohjetta käyttävien maiden kesken. On tärkeää, että käyttäjät kokevat saamansa lausunnon totuudenmukaiseksi ja mikäli se poikkeaa voimakkaasti maan totutusta tasosta, herättää se väistämättä epäluuloa automaattisen lausunnon luotettavuutta kohtaan. Koska automaattisen lausujan suurin hyöty on mahdollistaa objektiivinen lausunto röntgenkuvasta, tulisi sen käyttöasteen olla melko tasaista kaikissa FCI:n ohjetta noudattavissa maissa. Näin sillä olisi todellinen mahdollisuus myötävaikuttaa positiivisesti koirarotujen lonkkaterveystilanteen kohentumiseen.

Epäyhtenäisyys muodostaa myös haasteen opetusaineiston luotettavuudelle, sillä opetettavasta mallista tulee juuri niin luotettava kuin aineistosta, jota sen opetukseen käytetään. Toisin sanoen, jos aineistossa olevien röntgenkuvien lausunnot eivät ole todenmukaisia, ei sitä ole myöskään algoritmin antamat lausunnot.

5.2 Röntgenkuvien teknisen laadun vaihtelu

Röntgenkuvien teknisessä laadussa voi olla paljonkin vaihtelua. Samoin kuin valokuvissa, röntgenkuva voi olla esimerkiksi yli- tai alivalottunut, mikäli kuvauslaite on asetettu väärin arvoihin. Jotta röntgenkuva hyväksytään lausuttavaksi SKL:ssä, sen on oltava riittävän hyvälaatuinen. Muun muassa

lonkkamaljan dorsaalireunan on erotuttava reisiluun pään alta. Tämä voi jäädä täyttymättä, jos kuva on esimerkiksi alivalottunut ja siinä on paljon kohinaa. (Suomen Kennelliitto n.d.) Laatuvaatimus rajaa röntgenkuvista pois kaikkein epäonnistuneimmat, mutta vaihtelua kuvien välille voi silti jäädä, joka saattaa puolestaan aiheuttaa tarvetta kuvien esikäsittelylle ennen luokittelijalle syöttämistä.

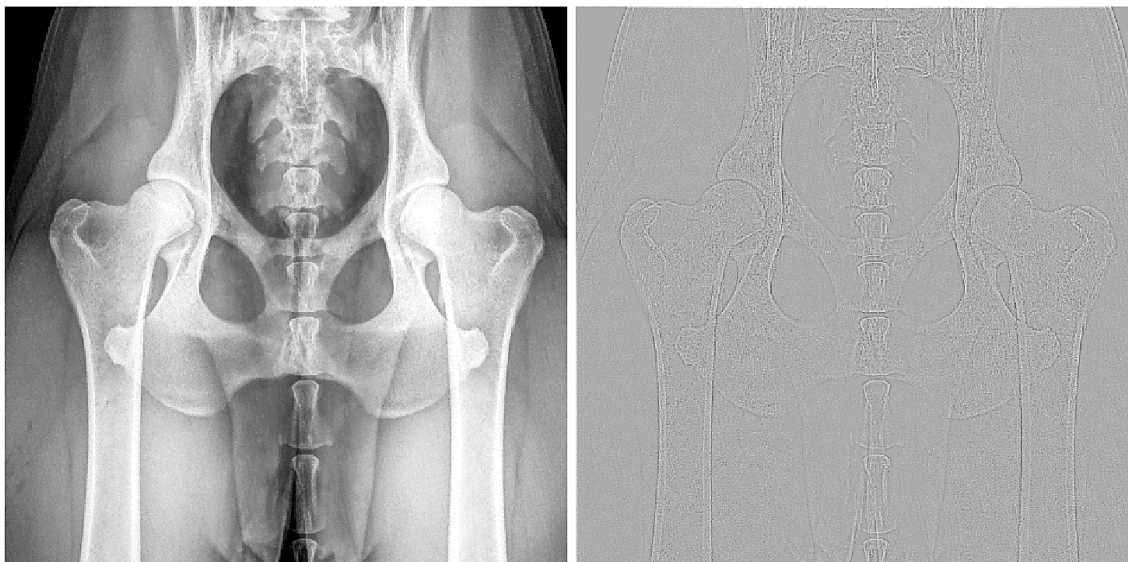
Tässä työssä läpikäydyistä tutkimuksista kahdessa, Talvion (luku 4.1) ja algerialaiskanadalaisessa (luku 4.3), säädettiin röntgenkuvien kuvalaatuja. Kummassakin työssä aineistoa pyrittiin normalisoimaan *Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization* (CLAHE)-tekniikalla (**Virhe. Viitteen lähde ei löytynyt**). Talvio ei ota kantaa siihen, kuinka suuri vaikutus tällä työvaiheella oli ja algerialaiskanadalaisessa tutkimuksessa sillä ei koettu olevan juuri merkitystä algoritmin suorituskykyyn. CLAHE-tekniikalla voidaan parantaa kuvan kontrastia ilman, että se aiheuttaa liiallista kohinan lisääntymistä kuvassa. (Rubini & Pavithra 2019)



Kuva 10. CLAHE-tekniikalla käsitelty lonkkakuva. Alkuperäinen röntgenkuva: Eläinsairaala Vettori

Joillain kuvien esikäsittelymenetelmillä on kuitenkin huomattu olevan positiivista vaikutusta mallien suoriutumiseen. Esimerkiksi vuonna 2019 Xiaoran Chenin tekemässä tutkimuksessa havaittiin, että käyttämällä toisen asteen differentiaaliyhtälöön perustuvaa Laplace-suodinta ihmisten rintakehästä otettujen röntgenkuvien esikäsittelyssä, saatiin KNV-algoritmin herkkyyttä (engl. recall) merkittävästi nostettua (Chen 2019, 33). Laplace-suotimella voidaan tunnistaa ja korostaa kuvassa löytyviä reuna-alueita harmaasävykuvissa (Kuva 11. Laplace-suotimella käsitelty lonkkakuva.). Lonkkaröntgenkuvat ovat

erinomainen käyttökohde Laplace-muuntille, sillä ne ovat lähtökohtaisesti harmaansävyisiä ja Laplacen avulla voidaan niistä poistaa epäolennaista taustamelua, kuten lihaksiston ääriviivoja. On mahdollista, että käyttämällä tätä tekniikkaa voitaisiin vähentää röntgenkuvien kuvausteknisestä epätasalaatuisuudesta aiheutuvia ongelmia.



Kuva 11. Laplace-suotimella käsitelty lonkkakuva. Alkuperäinen röntgenkuva: Eläinlääkäriasema Peninkulma

5.3 Koiran asettelu lonkkaröntgenkuvissa ja kuvan rajaaminen

Lonkkaniveliä rajaamista röntgenkuvista käytettiin kolmessa neljästä tässä työssä läpi käydystä tutkimuksessa. Talvion (luku 4.1) ja tanskalaisen tutkijaryhmän tutkimuksissa (luku 4.2) kuvat käyvät läpi erillisen automatisoidun vaiheen, jossa nivelten alue rajataan kuvasta erillisellä KNV-kuvantunnistusalgoritmilla. Kolmannessa, algerialaiskanadalaisessa tutkimuksessa (luku 4.3), tämä vaihe tehtiin manuaalisesti. Rajauksen perusteena on oppimisen keskittäminen olennaiseen alueeseen kuvassa ja lisäksi tällä pyritään parantamaan mallin tarkkuutta sekä suorituskykyä.

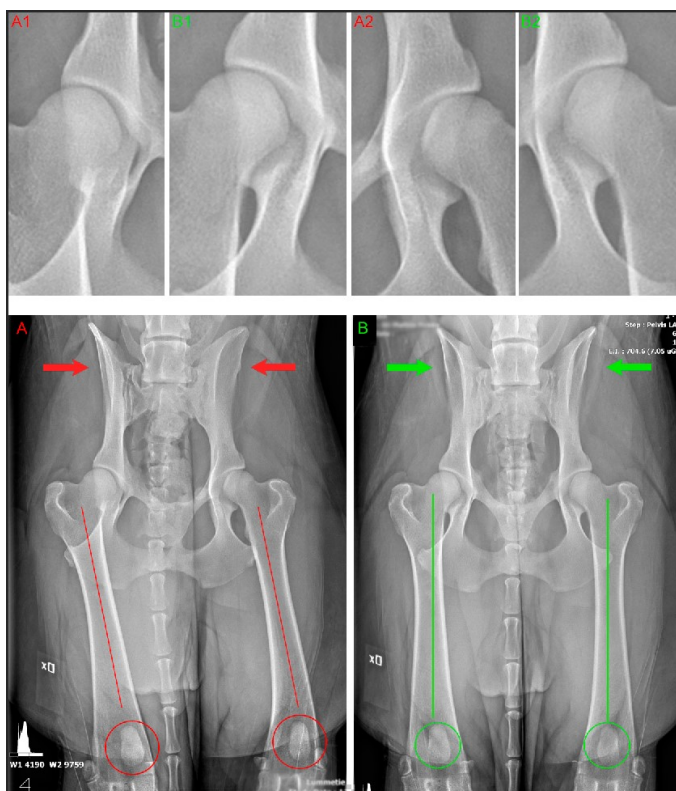
Lonkkaniveldysplasian diagnosoinnin kannalta kuvien rajaaminen voi kuitenkin olla luotettavuuden näkökulmasta huono ajatus. Tämä johtuu siitä, että lonkkaniveltien röntgenkuvauksessa koiran asettelulla on keskeinen rooli totuudenmukaisen tuloksen saamiseksi.

SKL:n kuvausohjeen mukaisesti on lonkkakuvassa oltava näkyvissä koko

ristiluu ja vähintään polvilumpioiden yläosa. Lisäksi polvilumpioiden pitää olla samalla tasolla ja reisiluiden pitää olla aseteltuna suoraan. Poikkeaminen tästä ohjeesta voi saada lonkkanivelen näyttämään paremmalta tai huonommalta kuin se todellisuudessa on. (Kuva 12. Lonkkakuvan liiallinen rajaaminen piilottaa asentovirheitä (Suomen Kennelliitto n.d.).) (Suomen Kennelliitto n.d.)

Mikäli röntgenkuvaa rajataan liian tiukasti ennen koneellista luokittelua, voi virheellisestä asettelusta aiheutuva vääristymä jäädä arvostelun ulkopuolelle. Harjaantunut radiologiaan perehtynyt eläinlääkäri kykenee tulkitsemaan lonkkakuvia pienestä asentovirheestä huolimatta ja jättää myös kuvan arvostelematta, mikäli poikkeama on riittävän suuri.

Käsitellyissä tutkimuksissa ei otettu huomioon koiran asettelun oikeellisuuteen röntgenkuvissa. Ainostaan Talvio mainitsee tutkielmansa lopussa, että prosessiin tarvittaisiin erillinen vaihe, joka tarkastelisi onko koira aseteltu kuvaan ohjeiden mukaisesti (Talvio 2022, 55). Luotettavaa KNV-pohjaista automaattista lonkkalausujaa kehiteltäessä olisi erittäin tärkeää, että se pystyisi arvioimaan lonkkakuvia kokonaisuutena ja luokittelussa pystyttäisiin huomioimaan myös lonkkanivelen ulkopuolinen alue.



Kuva 12. Lonkkakuvan liiallinen rajaaminen piilottaa asentovirheitä (Suomen Kennelliitto n.d.). Röntgenkuvat: Eläinsairaala Vettori

6 Pohdinta

Opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää, voidaanko konvoluutioneuroverkkoon pohjautuen kehittää objektiivinen tapa tunnistaa ja luokitella koiran lonkkadysplasian aste röntgenkuvasta. Tarkasteltaessa käsiteltyjä tutkimuksia, voidaan havaita, että KNV-pohjaisilla koneoppimismalleilla on saatu lupaavia tuloksia dysplasian asteen luokittelussa. Vaikuttaisi siltä niillä pystytään vähintäänkin luokittelemaan röntgenkuvat binäärisesti, eli terveisiin ja niihin, joissa havaitaan lonkkaniveldysplasian merkkejä. FCI:n kriteeristön mukaisen viiden dysplasia-asteen (A—E) luokittelussa huomataan kuitenkin, että täysin luotettavaa mallia ei vielä ole saavutettu.

Tutkimusasetelmat, aineistojen koko ja normalisointi sekä tulosten mittaustavat vaihtelivat käsiteltyjen tutkimuksien välillä melko paljon. Lisäksi tutkimuksissa ei otettu juuri huomioon seikkoja, kuten koiran asettelu röntgenkuvassa tai eroja lausunto-ohjeen tulkinnassa, jotka ovat keskeisiä haasteita myös nykyisessä manuaalisessa lausuntoprosessissa.

Löydösten perusteella ei pystytä vielä varmasti vastaamaan kysymykseen, onko automaattisen ja luotettavan KNV-pohjaisen lonkkalausujan kehittäminen todennäköistä. Vaikka aihe vaatii vielä jatkotutkimusta, voidaan kuitenkin melko varmasti todeta, että mikäli kehitystyö tehdään huolellisesti ja kokonaisuus mielessä pitäen, KNV:n avulla kehitys olisi kuitenkin mahdollista.

Tutkimuksien perusteella arvelen, että paras lähestymistapa lonkkalausujan kehittämiseen olisi yhdistelmäoppiminen. Toisin sanoen tehtävä voitaisiin jakaa useammalle eri mallille. Jaetut tehtävät voisivat olla lonkkakuvan laadun varmistus (asettelu ja kuvalaatu), lonkkaniveliä rajaaminen kuvasta, binäärinen luokittelu (terve—dysplastinen) ja tämän tuloksen perusteella luokittelu joko A- tai B-luokkaan, tai C-, D- tai E-luokkaan kahden erikoistuneen mallin toimesta. Tutkimus olisi hyvä tehdä yhteistyössä eläinlääkärien kanssa, jotta saavutetut tulokset olisivat mahdollisimman uskottavia.

Opinnäytetyön tuloksia voidaan hyödyntää mahdollisten jatkotutkimusten suunnittelussa ja tutkimustavoitteiden asettelussa. Mainittujen kehityskohteiden huomioimisen lisäksi, kattavampi selvitys röntgenkuvien esikäsittelyn vaikutuksesta mallin suorituskykyyn sekä eri käsittelytekniikoiden vaikutuksien vertailu, olisivat näkemykseni mukaan kannattavia tutkimuskohteita.

7 Lähdeluettelo

- Berg, F. (2023). Lonkkakuvaustilos, kliiniset oireet ja lonkkadysplasiaan liittyvät hoitomuodot saksanpaimenkoirilla. Noudettu osoitteesta <https://helda.helsinki.fi/items/4a979438-5254-441b-bb4e-045baea6e214>
- Boufenar, C.; Logovi, T. E.; Samir, D.; & Lassakeur, I. E. (2. marraskuu 2023). Computer-aided diagnosis of Canine Hip Dysplasia using deep learning approach in a novel X-ray image dataset. Noudettu osoitteesta <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/21681163.2023.2274947?srsc=>
- Chen, X. (kesäkuu 2019). Image enhancement effect on the performance of convolutional neural network. Noudettu osoitteesta <https://typeset.io/papers/image-enhancement-effect-on-the-performance-of-convolutional-2u0mvlbhw3>
- DYS4VET. (2024). AI-Assisted Hip Canine Dysplasia Diagnostic Software for Veterinary Professionals. Haettu 3. maaliskuuta 2024 osoitteesta <https://dys4vet.com/>
- Federation Cynologique Internationale. (22. marraskuu 2022). FCI Hip dysplasia classification. Noudettu osoitteesta <https://www.kennelliitto.fi/files/fci-hip-dysplasia-classification-0>
- Flückiger, M. (2007). Scoring radiographs for canine Hip Dysplasia - The big three organisations in the world. Noudettu osoitteesta https://www.dysplasie-schweiz.unibe.ch/unibe/portal/fak_vetmedizin/micro_dysplasie/content/e332465/e406506/e406508/Scoring_radiographs_ger.pdf
- Gomes, D. A.; Alves-Pimenta, M. S.; Ginja, M.; & Filipe, V. (2021). Predicting Canine Hip Dysplasia in X-Ray Images Using Deep Learning. *Optimization, Learning Algorithms and Applications, Predicting Canine Hip Dysplasia in X-Ray Images Using Deep Learning*. Noudettu osoitteesta https://oa.mg/work/10.1007/978-3-030-91885-9_29
- Hasan, F. (ei pvm). What are some deep details about pooling layers in CNN? Educative. Haettu 24. huhtikuuta 2024 osoitteesta <https://www.educative.io/answers/what-are-some-deep-details-about-pooling-layers-in-cnn>
- Helsingin yliopisto. (4. helmikuu 2021). 1 600 koiran tutkimus: Koirien lonkkaniveldysplasiaan liittyy yli 20 geenialuetta. Noudettu osoitteesta

<https://www.helsinki.fi/fi/uutiset/terveempi-maailma/1-600-koiran-tutkimus-koirien-lonkkaniveldysplasiaan-liittyy-yli-20-geenialuetta>

- Hooli, E. A. (huhtikuu 2020). Koiran lonkkanivelen kasvuhäiriö - kirjallisuuskatsaus. Noudettu osoitteesta https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/318847/KOIRAN%20LONKANIVELEN%20KASVUH%20C3%84IRI%20C3%96_Amanda.Hooli.pdf?sequence=2&isAllowed=y
- IBM. (2024). What are convolutional neural networks? Haettu 16. helmikuu 2024 osoitteesta <https://www.ibm.com/topics/convolutional-neural-networks>
- König, H. E.;& Liebich, H.-G. (2007). Veterinary Anatomy of Domestic Mammals Textbook and Colour Atlas. (3. Edition). Noudettu osoitteesta https://books.google.fi/books?id=QoXiBjSp368C&printsec=frontcover&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false
- Lappalainen, A. (25. toukokuu 2023). Lonkkanivelen kasvuhäiriö. Suomen Kennelliitto. Haettu 16. helmikuu 2024 osoitteesta <https://www.kennelliitto.fi/kasvatus-ja-terveys/koiran-terveys/perinnolliset-sairaudet-ja-koiran-hyvinvointi/lonkkanivelen-kasvuhairio>
- McEvoy, F. J.;Proschowsky, H. F.;Müller, A. F.;Lilah, M.;Bender-Koch, J.;Svalastoga, E. L.;. . . Nielsen, D. H. (heinäkuu 2021). Deep transfer learning can be used for the detection of hip joints in pelvis radiographs and the classification of their hip dysplasia status. Noudettu osoitteesta <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33818829/>
- Mikkola, L.;Kyöstillä, K.;Donner, J.;Lappalainen, A. K.;Hytönen, M. K.;Lohi, H.;& Iivanainen, A. (2021). An across-breed validation study of 46 genetic markers in canine hip dysplasia. BMC Genomics. Noudettu osoitteesta <file:///C:/Users/Sarkku/Downloads/s12864-021-07375-x.pdf>
- Mäki, K. (2006). BLUP-indeksejä lasketaan jo 17 rodulle. Haettu 16. helmikuu 2024 osoitteesta <https://asiakas.kotisivukone.com/files/heti.tarjoaa.fi/tiedostot/artikkelit/indeksit.pdf>
- Mäki, K. (2011). Vastustettu jalostuksella jo 25 vuotta - väheneekö lonkkavika? Haettu 16. helmikuu 2024 osoitteesta https://asiakas.kotisivukone.com/files/heti.tarjoaa.fi/tiedostot/artikkelit/2011/edistyminen_lonkat.pdf
- Mäki, K. (ei pvm). BLUP-indeksejä lasketaan jo 17 rodulle. Haettu 16. helmikuu 2024 osoitteesta

<https://asiakas.kotisivukone.com/files/heti.tarjoaa.fi/tiedostot/artikkelit/indexsit.pdf>

Nabulsi, Z. (9. helmikuu 2021). Detecting Abnormal Chest X-rays using Deep Learning. Noudettu osoitteesta <https://blog.research.google/2021/09/detecting-abnormal-chest-x-rays-using.html>

Rubini, C.; & Pavithra, N. (joulukuu 2019). Contrast Enhancement of MRI Images using AHE and CLAHE Techniques. Noudettu osoitteesta <https://www.ijitee.org/wp-content/uploads/papers/v9i2/B7017129219.pdf>

Seppälä, J. (tammikuu 2014). Koiran nivelrikko ja ravintolisän käyttö sen hoidossa - pilottitutkimus. Noudettu osoitteesta <https://helda.helsinki.fi/server/api/core/bitstreams/a0eae4c-1e11-4745-ab32-f2cedbdbda20/content>

Suomen Kennelliitto. (7. joulukuu 2023). Ohje lonkkanivelen kasvuhäiriön röntgenkuvauksista ja luokituksesta. Noudettu osoitteesta <https://www.kennelliitto.fi/lomakkeet/lonkkanivelen-kasvuhairioohje-1>

Suomen Kennelliitto. (2024). Lonkka- ja kyynärvellausunnot annetaan röntgenkuvista. Haettu 16. helmikuu 2024 osoitteesta <https://www.kennelliitto.fi/kasvatus-ja-terveys/koiran-terveys/koiran-terveystutkimukset/lonkka-ja-kyynarnivellausunnot-annetaan-rontgenkuvista>

Suomen Kennelliitto. (2024). Mikä on BLUP-indeksi? Haettu 16. helmikuu 2024 osoitteesta <https://www.kennelliitto.fi/kasvatus-ja-terveys/koiran-jalostus/tietoa-jalostuksen-tueksi/mika-blup-indeksi>

Suomen Kennelliitto. (2024). *Pevisa ja rotukohtaiset erityisehdot*. Haettu 16. helmikuu 2024 osoitteesta <https://www.kennelliitto.fi/kasvatus-ja-terveys/koiran-jalostus/pevisa-ja-rotukohtaiset-erityisehdot>

Suomen Kennelliitto. (15. maaliskuu 2024). Vastauksia yleisimpiin röntgenlausuntoja koskeviin kysymyksiin. Noudettu osoitteesta <https://www.kennelliitto.fi/kasvatus-ja-terveys/koiran-terveys/koiran-terveystutkimukset/vastauksia-yleisimpiin-rontgenlausuntoja-koskeviin-kysymyksiin>

Suomen Kennelliitto. (ei pvm). Kennelliiton luustolausuntoja antavat eläinlääkärit. Haettu 15. maaliskuu 2024 osoitteesta <https://www.kennelliitto.fi/yhteystiedot/terveystutkimuselainlaakarit/kennelliiton-luustolausuntoja-antavat-elainlaakarit>

- Suomen Kennelliitto. (n.d.). Eläinten hyvinvointilaki turvaa koirien hyvää elämää. Haettu 7. huhtikuu 2024 osoitteesta <https://www.kennelliitto.fi/koiran-omistaminen/koiriin-liittyvalainsaadanto/elainten-hyvinvointilaki-turvaa-koirien-hyvaa-elamaa>
- Suomen Kennelliitto. (n.d.). Jalostuksen tavoiteohjelma on tietopaketti rodun ominaisuuksista ja jalostuksesta. Haettu 17. maaliskuu 2024 osoitteesta <https://www.kennelliitto.fi/kasvatus-ja-terveys/koiran-jalostus/jalostuksen-tavoiteohjelma-tietopaketti-rodun-ominaisuuksista-ja-jalostuksesta>
- Suomen Kennelliitto. (n.d.). Lonkkaniveldysplasian tutkimusohje eläinlääkäreille. Haettu 21. helmikuu 2024 osoitteesta <https://www.kennelliitto.fi/lonkkanivelen-kasvuhairion-rontgentutkimusohje-elainlaakareille>
- Svenska Brukshundklubben. (30. Lokakuu 2023). *HD på kennelfullmäktige 2019*.
- Talvio, A. (tammikuu 2022). Koiran lonkkaniveldysplasian diagnosointi konvoluutioneuroverkkoa hyödyntäen. Noudettu osoitteesta <https://trepo.tuni.fi/bitstream/handle/10024/137602/TalvioAlex.pdf?sequence=2>
- Verhoeven, G.;Coopman, F.;Duchateau, L.;Saunders, H.;van Russen, B.;& van Bree, H. (heinäkuu 2007). Interobserver agreement in the diagnosis of canine hip dysplasia using the standard ventrodorsal hip-extended radiographic method. *Journal of Small Animal Practice*. Noudettu osoitteesta <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/17610468/>
- Zaccone, G.;& Karim, R. (2018). *Deep Learning with TensorFlow: Explore Neural Networks and Build Intelligent Systems with Python*. Packt Publishing, Limited. Noudettu osoitteesta <https://ebookcentral.proquest.com/lib/turkuamk-ebooks/detail.action?docID=5340529>