



Jussi Saarinen
Jenna Jokirinta

Tekoälyn hyödyntäminen EKG:n tul- kinnassa akuuttihoiossa

Scoping-katsaus

Metropolia Ammattikorkeakoulu
Ensihoitaja (AMK)
Ensihoidon tutkinto-ohjelma
Opinnäytetyö
9.5.2025

Tiivistelmä

Tekijät:	Jussi Saarinen, Jenna Jokirinta
Otsikko:	Tekoälyn hyödyntäminen EKG:n tulkinnassa akuuttihoiossa
Sivumäärä:	21 sivua + 2 liitettä
Aika:	9.5.2025
Tutkinto:	Ensihoitaja (AMK)
Tutkinto-ohjelma:	Ensihoidon tutkinto-ohjelma
Ohjaaja:	Lehtori Eini Koskimies

Verenkiertoelimistön toimintaa heikentäviä sairauksia kutsutaan sydän- ja verisuonisairauksiksi. Sydän- ja verisuonisairauksien alkuvaiheen tutkimuksiin kuuluu EKG:n eli sydänfilmin ottaminen. EKG:llä saadaan runsaasti tietoa sydämen toiminnasta. Tekoälyä on käytetty terveydenhuollossa EKG:n analysoinnin apuna, jotta sydän- ja verisuonisairaudet havaittaisiin nopeammin. Tekoäly on tullut merkittäväksi osaksi lääketiedettä ja terveydenhuollon ammattilaisten tueksi potilaiden hoidonlaadun parantamisessa.

Halusimme lähteä keräämään tutkimustietoa tekoälyn hyödyntämisestä EKG:n tulkinnassa akuuttihoiossa, koska tekoäly tulee olemaan tulevaisuudessa isossa roolissa EKG:n tulkinnassa. Scoping-katsauksella lähdimme tarkastelemaan aihetta, koska tekoälymenetelmien käyttö EKG:n tulkinnassa on uutta ja tutkimuksia on julkaistu vielä rajallisesti. Katsaus pyrkii luomaan ymmärryksen kohteena olevasta käsitteestä, tutkittavasta ilmiöstä, olemassa olevan tiedon luonteesta ja keskeisistä lähteistä.

Opinnäytetyön tarkoituksena on kartoittaa ja kuvata, miten tekoälyä on hyödynnetty EKG:n tulkinnassa akuuttihoiossa. Tavoitteena on tuottaa uutta tietoa kootusti tarkasteltavaan aiheeseen liittyen. Tutkimuksien etsintään käytimme kolmea tietokantaa ja kahta ohjaavaa tutkimuskysymystä.

Tietokantahaku tuotti 243 tulosta kolmesta eri tietokannasta, joista lopullinen aineisto koostui seitsemästä artikkelista. Tutkimusartikkeleista vaadittiin ensihoidon, päivystysten, teho-osastojen ja yli 18-vuotiaita potilaita. Tutkimukset, jotka valikoituivat mukaan, oli toteutettu eri akuuttihoion yksiköissä. Katsaukseen otetut prospektiiviset tutkimukset olivat havainnollisia ja kokeellisia intervention sisältäviä tutkimuksia. Tutkimuksista kolme oli tehty yhdessä keskuksessa ja neljä oli tehty monessa keskuksessa.

Tutkimustulokset osoittivat, että tekoäly oli suoriutunut tulkinnasta jopa paremmin, kuin lääkärit. Nopealla havaitsemisella on nopeutettu potilaan hoitoon pääsyä. Rajoittavana tekijänä oli yhden diagnoosin tai riskin tunnistaminen. Tutkimuksia on vielä liian vähän, jotta tutkimustieto olisi tarpeeksi luotettavaa ja sen näyttö riittävän laaja-alaista. Tämän katsauksen näkökulma tekoälyn hyödyntämiseen akuuttihoiossa oli kapea, ja uusi laajempi ja syvällisempi katsaus aiheesta olisi tarpeellista tehdä lähitulevaisuudessa sitten, kun uutta tutkimusta on julkaistu lisää etenkin kokeellisista intervention sisältävistä tutkimuksista.

Avainsanat: tekoäly, ekg, akuuttihoito, scoping-katsaus

Tämän opinnäytetyön alkuperä on tarkastettu Turnitin Originality Check -ohjelmalla.

Abstract

Authors: Jussi Saarinen, Jenna Jokirinta
Title: The Usage of AI Assisted ECG Interpretation in Acute Care
Number of Pages: 21 pages + 2 appendices
Date: 9th May 2025

Degree: Bachelor of health care
Degree Programme: Emergency care
Instructor: Eini Koskimies, lecturer

Diseases that impair the function of the cardiovascular system are known as cardiovascular diseases (CVD). Electrocardiogram (ECG) registration is an essential part of the initial phase of diagnosis of CVDs. ECG gives abundant information about heart's function. Artificial intelligence (AI) has been used for assistance in ECG interpretation to detect CVDs faster. AI has become an important part of medicine and an important decision support for healthcare professionals in improving care quality.

We set out to collect research about ECG interpretation in acute care because AI will become an important part of ECG interpretation in the future. We selected scoping review as review method because the research field of AI assisted ECG interpretation is new, and availability of published research is limited. Scoping review aims to provide an understanding of the research subject and phenomenon, summarising available research knowledge and important information sources.

The purpose of this bachelor thesis is to map out and describe how AI assisted ECG interpretation has been used in acute care. The objective is to collect and summarise new research on the subject. Research was conducted in three databases, and it was directed by two research questions.

Database research provided 243 results out of three databases, out of which seven articles were selected for analysis. Articles were required to be conducted in emergency medical services (EMS), emergency departments or intensive care units on patients of 18 years age or older. The studies took place in different acute care units. All analysed studies were either observational or interventional prospective studies. Three of them were single center studies and four were multicenter.

Results indicated that AI can perform as good as or even better than practicing clinicians. Swift and correct ECG interpretation can expedite patients' care. Results were limited to detection of single diagnosis or risk factor. Available research is too limited for reliable and comprehensive research basis. This scoping review gives a limited perspective on AI assisted ECG interpretation in acute care, and broader and more profound review on this subject is called for in the future after more research on clinical interventions has been published.

Keywords: artificial intelligence, ecg, acute care, scoping review

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

Sisällys

1	Johdanto	1
2	Tietoperusta	2
2.1	Akuuttihoitotyö	2
2.2	EKG ja sen tulkinta	2
2.3	Tekoäly ja sen toimintaperiaatteet	4
2.4	Tekoälyn käyttö terveydenhuollossa	7
3	Opinnäytetyön tarkoitus, tavoite ja opinnäytetyötä ohjaavat kysymykset	7
4	Opinnäytetyön menetelmä	8
4.1	Tiedonhaku	8
4.2	Tutkimusaineiston valinta	10
5	Opinnäytetyön tulokset	11
5.1	Raportoidut tutkimukset	11
5.2	Keskeiset tulokset tekoälyn hyödyntämisestä EKG:n tulkinnassa	14
6	Pohdinta	15
6.1	Tulosten tarkastelu	15
6.2	Eettisyys ja luotettavuus	15
6.3	Johtopäätökset ja jatkotutkimusehdotukset	16
	Lähteet	19
	Liite 1: Tiedonhaun taulukko	
	Liite 2: Katsauksen aineisto	

1 Johdanto

Sydän ja verisuonisairaudet ovat Suomessa yksi suurimmista yksittäisistä kuolinsyistä. Sydän- ja verisuonitauteihin sairastuu keskimäärin yli 55- vuotiaat miehet ja yli 65-vuotiaat naiset. Sydän- ja verisuonitautien oikeanlainen sekä tarpeeksi aikaisessa vaiheessa aloitettu hoito parantaa elämänlaatua ja vähentää kuolleisuutta. (Mehiläinen Oy.) EKG on aina alkuvaiheen tutkimus sydänsairauksia tutkittaessa. Tekoälyn käyttäminen EKG:n tulkinnaissa parantaa mahdollisuutta diagnosoida sydän - ja verisuonitautia. EKG:n tekoälyllä tehtävästä tulkinnaista onkin tullut menestyksekkästä tieteellistä tutkimusta. Tekoäly pystyy analysoimaan suuria määriä EKG-dataa nopeasti ja sen avulla sydän- ja verisuonitautien ongelmien havaitseminen nopeutuu merkittävästi. (Di Costanzo & Spaccarotella & Esposito & Indolfi 2024: 13.)

Tutkimuksen mukaan tekoölyyn liittyy vielä puutteita ja vajavaisuuksia. Ne liittyvät tietojen luotettavuuteen sekä siihen, ettei ihmisen päätöksentekokykyä pystytä korvaamaan täysin koneellisesti. Tekoälyn käyttöön liittyy myös eettisiä haasteita: kuka on vastuussa, jos tekoäly tekee virheen? Kuinka voidaan varmistaa, ettei tekoälyn käyttämä data ole vinoutunut? Lääketieteen tulisi tulevaisuudessa tunnistaa ja päihittää nämä tekoälyn puutteet ja vajavuudet. Tekoäly on tietokoneohjelma, joka kykenee oppimaan. Sillä on kyky suoriutua haastavammista tehtävistä tavanomaisia ohjelmia paremmin. Tekoäly parantaakin suoritustaan kokemuksen kautta. Lääketieteessä tekoälyn tarkoituksena olisi tukea ihmisten päättelyä ja päätöksentekoa, ja vähentää virheiden määrää sekä parantaa diagnoosien tarkkuutta, joka vaikuttaa potilaiden ennusteisiin ja hoidon onnistumiseen. Tekoälyn käytön tultua osaksi lääketiedettä se on osoittautunut merkittäväksi tueksi terveydenhuollon ammattilaisille potilaiden hoidon laadun parantamisessa. (Di Costanzo ym. 2024.)

Tämän opinnäytteen tarkoituksena on kartoittaa ja kuvata tutkimustietoa tekoälyn käytöstä EKG:n tulkinnaissa akuuttihoidossa. Tavoitteena on koota yhteen uutta tietoa tarkasteltavaan aiheeseen liittyen.

2 Tietoperusta

2.1 Akuuttihoitotyö

Lääketieteessä sanalla "akuutti" tarkoitetaan äkillistä, lyhytkestoista, verrattuna pitkäkestoiseen eli krooniseen. Duodecimin Lääketieteen sanakirja määritteleeekin akuuttihoiton tarkoittavan hätätilojen diagnostiikkaa ja hoitoa sekä välitöntä hoitoa vaativien sairauksien tunnistamista ja hoitamista sekä kiireellisen jatkohoidon järjestämistä. Akuuttihoitoa toteutetaan erityisesti erilaisissa päivystävissä yksiköissä, kuten päivystyksissä sekä ensihoidon yksiköissä. (Duodecim Terveysportti.) Akuuttihoitossa potilaan hoito on lyhytaikaista. Akuuttihoitotyössä hoitotyötä toteutetaan usein kriittisessä tilassa oleville potilaille, jotka ovat hengenvaarallisessa tilassa äkillisen sairauden tai vamman vuoksi. Potilaan hoitoa toteutetaan tiiviisti moniammatillisena yhteistyönä. Akuuttihoitotyössä täytyy olla hyvä havainnointi- ja paineensietokyky, kyky ennakoida ja reagoida nopeasti hätätilanteissa sekä osaamista tunnistaa potilaan tilassa tapahtuvia muutoksia. Akuuttihoitotyötä toteuttavalla on oltava osaamista eri erikoisaloilta. (Shiftmed team 2022)

2.2 EKG ja sen tulkinta

Kuten muissakin elimistön lihassoluissa, myös sydänlihassoluissa lihaksen supistumisen aikaansaa aktiopotentiali. Solukalvojen läpi virtaavat ionit aiheuttavat jännitteitä ja sähkövirtoja. Koska ihmisen elimistö koostuu suurelta osin erilaisista nesteistä, leviävät nämä sähkövirrat lopulta myös sydämen ulkopuolelle elimistön muihin osiin. Kun tarpeeksi suuri määrä soluja aktivoituu, voidaan niiden aikaansaamat jännite-erot havaita myös ihon pinnalle kiinnitettyjen elektrodien avulla. Elektrokardiografiaksi eli EKG:ksi kutsutaan tätä sydänlihassolujen sähköisten jännitemuutosten havainnointitekniikkaa. (Sand & Sjaastad & Haug & Bjålie 2012: 274–277.)

EKG eli sydänfilmi on tutkimus, jolla voidaan tutkia sydämen toimintaa. Tutkimus toteutetaan laitteella, jonka kytkennät kiinnitetään raajoihin ja rintakehälle. Tutkimus voidaan toteuttaa tavallisena 12-kytkentäisenä, tai laajempaan 15-kytkentäisenä katsauksena. Sydänfilmi on vaaraton tutkimus potilaalle ja sen voi ottaa helposti ja nopeasti melkein missä vain, kunhan laite on lähellä. EKG-laite pystyy herkästi mittaamaan iholta heikot

sähkövirtauksset. Sydänfilmin valmistuttua tulosteeksi, näkyy tulostetussa nauhassa laitteen piirtämä sydänkäyrä, jossa näkyy mahdolliset rytmihäiriöt ja muut sydämen sairauksiin piirtyvät muutokset. (Eerola 2022.)

Sydämen sähköisessä toiminnassa P-aalto kuvaa sydämen eteisten supistamista. P-aallosta tulkitaan sen kesto, korkeus ja muoto. P-aallon ollessa pidentynyt se saattaa johtua eteiskuormituksesta tai eteisvärinästä. P-aallon alusta alkaa PQ-aika, joka päättyy QRS-heilahduksen alkuun. PQ-aika kuvaa sähköisen aktivaation kulkemista eteisistä kammiosolmukkeeseen. QRS-kompleksi taas näyttää sydämen kammiodien sähköisen toiminnan. QRS-heilahdus voi olla pidentynyt, jos on kyseessä esim. haarakatkos tai delta-aalto. QRS-heilahduksen jälkeen tulee ST-väli ja T-aalto, joka kuvastaa sydämen sähköisen toiminnan palautumista lepotilaan. T-aalto on yleisimmin samansuuntainen QRS-heilahduksen kanssa. T-aallon ollessa poikkeava voi sen poikkeavuus johtua elektrolyyttihäiriöstä, eräistä lääkkeitä, kammiohypertrofiasta tai iskemiasta. Normaalisissa EKG:ssä ST-väli on tasainen. Jos ST-välissä ilmenee nousua, se on erityisen tärkeää huomata ajoissa akuutin sydäninfarktin havaitsemiseksi. ST-nousun mitaus aloitetaan QRS-kompleksin loputtua ST-välin heilahduksesta J-pisteestä alkaen. ST-välin muutoksen havaittaessa tulee tarkastella myös muita kytkentöjä, jotta sydäninfarktin sijainti selviää. ST-välin laskun syynä saattaa olla kardiomyopatia, iskeeminen sydänsairaus, vasemman kammion hypertrofia tai lääkkeen vaikutus. T-aallon jälkeen saattaa melko harvoin ilmentyä pienempi aalto eli U-aalto, joka on harvinaisempi löydös. U-aalto voi viitata esim. rytmihäiriöalttiuteen, iskemiaan, hypertrofiaan tai elektrolyyttihäiriöön. QT-aika kuvaa sydämen supistumisen jälkeistä palautumista ja se mitataan QRS-kompleksin alusta T-aallon loppuun. Sydämen rytmin ollessa nopea QT-aika on lyhyt ja rytmin ollessa hidas QT-aika pitenee. Pidentynyt QT-aika voi johtua esim. antibiootista, rytmihäiriölääkkeestä, tai antihistamiinista. QT-aika on riski rytmihäiriöille. (Raatikainen & Mäkijärvi & Parikka 2005.)

EKG:n tulkintaan käytetään systemaattista menetelmää. Järjestelmällisellä tulkinnalla vähennetään virheellisiä tuloksia. Yleissilmäyksessä pyritään saamaan nopeasti käsitys potilaan rytmistä, eteis-kammiojohtumisesta, kammioheilahduksen muodosta ja ST-T-muutoksista. Rintakivusta kärsivän potilaan EKG:ssä huomio kiinnitetään iskemiaa kuvastaviin ST-välin ja T-aallon muutoksiin. Rytmihäiriöpotilaalla huomio kiinnitetään QRS-heilahduksen muotoon ja kammiotaajuuteen. (Raatikainen & Parikka 2022.) Rytmin tarkastelussa tulee ottaa huomioon, että syketaajuuden tulisi olla 600 jaettuna

QRS-kompleksien väliin jäävillä ruuduilla 50 mm/s, onko rytmi säännöllinen/ epäsäännöllinen, löytyykö P-aalto, onko PQ- aika normaali (0,12-0,2s/ 1,2-2 ruutua), seuraako P-aaltoa QRS ja onko QRS-kompleksin leveys kapea (alle 0,120 s). ST-segmenttistä määritetään, onko ST-nousua tai laskua sekä miltä T-aalto näyttää eli onko T-aalto esimerkiksi piikkimäinen tai invertoitunut. Viimeisenä tehdään työdiagnoosi rytmin, iskemiamuutosten, kytkennoissä näkyvien muutosten, peilikuvamuutosten ja iskemia-alueen mukaan ja vertaamalla EKG:n tulkintaa potilaan muuhun kliiniseen kuvaan. Työdiagnoosi muodostuu siten kokonaisuudesta. (Jormakka & Kettunen 2019.)

Moderneissa monitoridefibrillaattoreissa on myös automaattinen EKG:n tulkinta. Nykyiset laitteet tekevät EKG:n tulkintaa mm. rytmistä, johtumishäiriöistä, iskemiasta tai infarktista. Näissä kliinisessä käytössä olevissa tietokonetulkinnoissa on kuitenkin ongelmia tarkkuudessa, ja virhetulkintoja tapahtuu. Tietokonetulkinta ottaa lisäksi huomioon vain EKG:n, eivätkä ne arvioi potilaan kliinisen kuvan kokonaisuutta. Automaattitulkinnan lisäksi tarvitaan edelleen ihmisen tekemää kokonaisvaltaista EKG:n tulkintaa ja potilaan kliinistä arviota. (Jormakka & Kettunen 2019: 16)

2.3 Tekoäly ja sen toimintaperiaatteet

Tekoälyllä (*artificial intelligence*, AI) ei ole vakiintunutta määritelmää. Määritelmä myös elää ajassa, kun eri tekoälyn menetelmät kehittyvät, niitä keksitään uusia ja aiemmin älykkäinä pidetyt järjestelmät arkipäiväistyvät. Yleisesti voidaan todeta, että tekoälyä on koneen kyky jäljitellä ihmisälykkyyttä. (Kolari & Kallio 2023: Osa 1.) Tekoälyyn liitetään usein myös kyky oppia, eli järjestelmä kykenee saamansa palautteen ja siihen syötetyn tiedon perusteella parantamaan toimintaansa (Tuominen 2019: 11.)

Kehitysasteeltaan tekoäly on jaettavissa heikkoon ja vahvaan tekoälyyn. Nykyiset tekoälysovellukset ovat kehitysasteeltaan heikkoja tekoälyjä (*weak artificial intelligence*), eli sovellukset toimivat järkevästi tai älykkäästi. Vahvaa tekoälyä (*strong artificial intelligence*) ei ole toistaiseksi vielä onnistuttu kehittämään. Vahvan tekoälyn sovellusten tulisi kyetä älykkääseen ihmisen kaltaiseen ajatteluun ja jonkinlaiseen tietoisuuteen. Näistä kategorioista voidaan käyttää myös vaihtoehtoisia termejä kapea tekoäly (*narrow AI*) ja yleinen tekoäly (*general AI* tai *broad AI*), joskin määritelmässä on pieni viivahde-ero. Näiden kehityskategorioiden lisäksi puhutaan supertekoälystä (*super AI* tai *superhuman AI*), jossa tekoälyn suorituskyky ylittää ihmisen suorituskyvyn kaikissa

suhteissa. (Ailisto (toim.) & Heikkilä & Helaakoski & Neuvonen & Seppälä 2018: 52–53.)

Tekoälymalli tai AI-malli pohjautuu koneoppimiseen ja algoritmeihin. Mallilla pyritään suorittamaan jokin toiminto tai tehtävä automaattisesti. Tällaisia tehtäviä voivat olla esim. puheen tai kuvan tunnistus, robotin ohjaus tai jonkun ongelman ratkaisu, kuten tulevan kehityksen ennustaminen. Esimerkiksi GPT-3 tekoälymalli kykenee ymmärtämään kysymyksiä sekä puhetta ja tuottamaan vastauksia saamiinsa kysymyksiin sekä tuottamaan monenlaisia tekstejä. (Kolari & Kallio 2023: Osa 1.)

Algoritmit ovat oleellinen osa tekoälyä. Jyväskylän yliopiston ”Tekoäly ja terveydenhuolto Suomessa” -raportissa algoritmi määritellään seuraavasti: ”Algoritmi on täsmällinen matemaattinen kuvaus tai opas siitä, mitä tietokonejärjestelmän tai -laitteiston pitää tehdä jonkin ongelman ratkaisemiseksi tai tehtävän hoitamiseksi” (Tuominen 2019: 18).

Data-analyysissä pyritään käsittelemään ja analysoimaan isoja tietomääriä. Data-analyysin vaiheita ovat tietojen keräys, tietojen esikäsittely, tietojen varsinainen käsittely sekä tietojen analysointi. Datan käsittelyyn ja analysointiin käytetään erilaisia matemaattisia menetelmiä ja malleja sekä tietojenkäsittelyteorian menetelmiä. Raaka data saattaa vaatia runsastakin esikäsittelyä, varsinkin jos data ei ole valmiiksi rakenteellista. Big data on nimensä mukaisesti todella suurten massiivisten ja usein jatkuvasti kasvavien datamäärien käsittelyä ja analysointia. (Tuominen 2019: 13–14.)

Hahmontunnistus on koneoppimisen osa-alue. Hahmontunnistuksessa pyritään tunnistamaan datasta kaavoja tai malleja. Hahmontunnistuksen sovellusaloja ovat esimerkiksi puheentunnistus, konenäkö, kasvojentunnistus sekä esimerkiksi roskapostin tunnistaminen. Hahmontunnistusta voidaan tehdä joko tilastollisesti, syntaksisesti tai neuronisesti. (Tuominen 2019: 14.)

Konenäössä pyritään hahmontunnistuksen menetelmin automaattisesti analysoimaan kuvia. Konenäkö soveltuu erityisesti nopeutta vaativien rutiininomaisten tehtävien tekemiseen kuvankäsittelyssä. Siksi sitä sovelletaan esimerkiksi prosessiteollisuudessa liukuhihnoilla. Tietokonenäkö on kehittyneempää konenäköä, joka kykenee ymmärtämään kuvia ja videota. Kuvantunnistuksella tarkoitetaan konenäön kykyä erottaa saastaan kuvainformaatiosta esineitä, paikkoja sekä ihmisiä ja kirjoitusta. (Tuominen

2019: 15–16.) Puheentunnistuksessa on kyse hahmontunnistuksen menetelmin tapahtuvasta puheentunnistuksesta, jossa kone analysoi ja ymmärtää puhetta tai esimerkiksi muuttaa puhetta tekstimuotoon (Tuominen 2019: 16).

Koneoppiminen on tekoälyn jatkuvaa omaa toimintansa kehittämistä. Koneoppimisessa tekoäly kykenee kehittämään omaa toimintaansa jatkuvasti saamansa uuden tiedon sekä käyttäjän palautteen perusteella ilman, että tekoäly varsinaisesti opetettaisiin. Koneoppimisen osa-alueet ovat ohjattu oppiminen, ohjaamaton oppiminen sekä vahvistettu oppiminen. (Tuominen 2019: 15–16.) Ohjatussa koneoppimisessa tekoälylle syötetään oikea vastaus, ohjaamattomassa sitä ei syötetä, vaan kone pääättelee vastauksen itse ja vahvistetussa koneoppimisessa kone saa palautetta omasta oppimisestaan (Kolari & Kallio 2023: Osa 1).

Neuroverkot ovat laskennallisia malleja, jotka ovat saaneet ideansa ihmisten neuronien toiminnasta. Niin kuin ihmisen hermosto, myös neuroverkot koostuvat yksittäisistä neuroneista. (Kolari & Kallio 2023: Osa 1). Neuroverkoissa on syötekerros, piilokerrokset ja ulostulokerros, joista piilokerroksessa tapahtuu varsinainen laskenta. Syväoppimisesta on kyse, kun neuroverkossa on monia piilokerroksia. Syväoppivien neuroverkkojen kouluttaminen vaatii todella suuria datamääriä, sillä muuten ne helposti ylioppivat, eli tekevät yleistyksiä, jotka eivät enää pädekään ennalta kohtaamattomiin havaintoihin. (Tuominen 2019: 16–17).

Myös robotiikkaa voidaan pitää tekoälyn omana osa-alueena tai tekoälyyn kiinteästi liittyvänä alueena. Valtioneuvoston ”Tekoälyn kokonaiskuva ja osaamiskartoitus” -julkaisussa (2018) käytetään Russellin ja Norvigin (2014) seuraavaa määritelmää roboteista: ”Roboteilla tarkoitetaan laitteita, jotka kykenevät vaikuttamaan fyysiseen ympäristöönsä esimerkiksi tarttujan, käsivarren, pyörien tai jalkojen avulla” (Ailisto ym. 2018: 19). Roboteilla voi olla myös aisteja, kuten tunto- ja näköaisteja. Siten robotiikkaan liittyy myös muita tekoälyn osa-alueita, kuten hahmontunnistusta, konenäköä ja kuvantunnistusta. (Ailisto ym. 2018: 19.) Robotteja voidaan jaotella esim. niiden kyvykkyyksien mukaan automaattisiin ja autonomisiin roboteihin. Correlin (2016) mukaan automaattiset robotit pystyvät tekemään itsenäisesti ennalta määrättyjä tehtäviä tunnetussa ympäristössä ja autonomisen robotit taas kykenevät tekemään itsenäisesti päätöksiä muuttuvassa ympäristössä reagoiden sen muutoksiin suorittaakseen robotille määrätyn tehtävän (Ailisto

ym. 2018: 20–21.) Rullesin ja Norvigin (2014) mukaan robotit voidaan jakaa käyttötarkoituksensa mukaan seuraavasti: paikallaan oleviin manipulaattoreihin, liikkuviin robotteihin sekä liikkuviin manipulaattoreihin (Ailisto ym. 2018: 21.)

2.4 Tekoälyn käyttö terveydenhuollossa

Tekoälyä on jo pyritty hyödyntämään terveydenhuollossa monissa erilaisissa tilanteissa. Valtioneuvoston katsauksessa Ailisto ym. (2018) kertovat esimerkkejä erilaisista tekoälyn sovelluksista terveydenhuollossa. Esimerkiksi lääketutkimuksen puolella tekoälyä on hyödynnetty mm. uusien lääkeaineiden kehittämisen alkuvaiheessa käyttämällä koneoppimista uusien lääkeaineiden löytämiseen. (ks. Ailisto ym. 2018: 20.) Tekoälyä ja koneoppimista on hyödynnetty myös mm. diagnoosien tekemiseen ihomuutosten valokuvista. Tekoälystä onkin pyritty tekemään työkalu, joka auttaa diagnoosien tekemisissä. (ks. Ailisto ym. 2018: 19.) Tekoälyä on hyödynnetty mm. unihäiriöiden tutkimuksessa ja diagnosoinnissa (ks. Ailisto ym. 2018: 27).

Myös sydän- ja verisuonisairauksien hoidossa on hyödynnetty tekoälyä. Ailiston ym. (2018) katsauksen mukaan tekoälyä on kardiologian puolella hyödynnetty mm. potilaiden monitoroinnissa, päätöksenteontukijärjestelmissä, sairauksien vakavuusasteen diagnosoinnissa, seulonnoissa sekä sairastuneiden eliniän ennusteissa (ks. Ailisto ym. 2018: 35). Tekoälyn käyttö tulee kasvamaan lääketieteellisessä diagnostisessa tulkitsemisessä ja ohjelmissa. Esimerkiksi päivystyksessä lääkärit pystyvät vähentämään tällä kognitiivista kuormitusta, jotta EKG:n tulkinta ja potilaan hoidon eteneminen olisi nopeampaa ja sujuvampaa. EKG:n tulkinnan työkalujen odotetaan paranevan ajan myötä. (Bradshaw & Nagourney & Warshel & Weygandt 2025.)

3 Opinnäytetyön tarkoitus, tavoite ja opinnäytetyötä ohjaavat kysymykset

Opinnäytetyön tarkoituksena on kartoittaa ja kuvata, miten tekoälyä on hyödynnetty EKG:n tulkinnassa akuuttihoiossa. Tavoitteena on tuottaa kootusti uutta tietoa tarkasteltavaan aiheeseen liittyen. Opinnäytetyötä ohjaavat kysymykset ovat:

- 1 Minkälaista tutkimusta on raportoitu tekoälyn hyödyntämisestä EKG:n tulkinnassa akuuttihoiossa

- 2 Minkälaisia tuloksia on saatu tekoälyn hyödyntämisestä EKG:n tulkinnan osalta akuuttihoitossa?

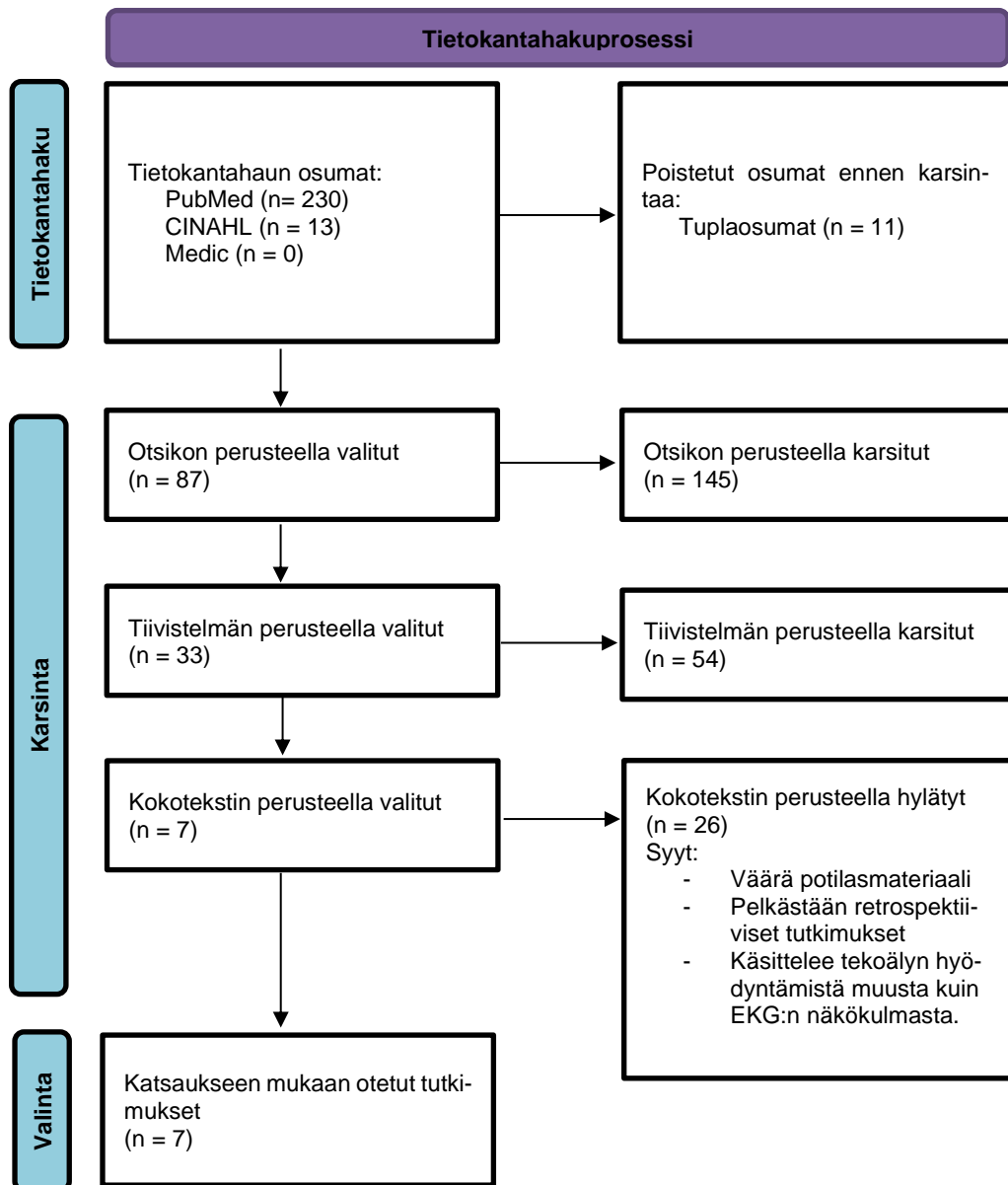
4 Opinnäytetyön menetelmä

Tämä opinnäytetyö toteutettiin scoping-katsauksena. Vaikka tietokonepohjaista tulkintaa on hyödynnetty EKG:n tulkinnassa aiemminkin, on uusien koneoppivien ja syväoppivien tekoälymenetelmien käyttö EKG:n tulkinnassa hyvin uutta, ja näiden kehittyneiden menetelmien kliinisestä käytöstä akuuttihoitossa on vasta vähän tutkimusta. Nämä syyt puolsivat scoping-katsauksen valintaa tutkimusmenetelmäksi. Scoping-katsauksen menetelmällä haemme tieteellisiä tutkimuksia, jotka soveltuvat opinnäytetyön aiheeseen ja vastaa tutkimuskysymykseen.

Scoping-katsaus luo käsityksen tutkijoille aihealueeseen kohdistuneen tutkimuksen laadusta, tarkastelun näkökulmasta ja määrästä. Katsaus pyrkii tarkastelemaan kaikkea olemassa olevaa kohdealueen tutkimusta huolimatta siitä, millaisia tutkimusasetelmia on käytetty. Scoping-katsaus pyrkii luomaan ymmärryksen kohteena olevasta käsitteestä ja tutkittavasta ilmiöstä, keskeisistä lähteistä sekä olemassa olevan tiedon luonteesta. (Stolt & Axelin & Suhonen 2016: 10–11.)

4.1 Tiedonhaku

Systemaattisen haun avulla pyritään löytämään kaikki kelpoisuuskaiteerit täyttävät tutkimukset. Tutkimuskysymysten asettelun jälkeen kelpoisuuskaiteerien määrittäminen tarkoittaa katsaukseen valittavien tutkimusten mukaanotto- ja poissulkukaiteerien peruste-luja, niiden määrittämiä ja valintojen tekemistä systemaattisesti vaihe vaiheelta. Katsauksen kelpoisuuskaiteerit kohdistuvat kielellisiin, julkaisukanavaisiin ja julkaisuaikaan liittyviin valintoihin. (Stolt ym. 2016: 56–61.) Tiedonhaun tulee kohdistua tutkimuskysymysten luonteen mukaisesti relevantteihin tietokantoihin ja artikkeleihin (Johansson ym. 2007: 59).



Kuvio 1. Tietokantahaun prosessi

Kattavan aineiston löytämiseksi tehtiin alustavia hakuja. Tutkimuksien hakeminen koitui haastavaksi rajallisen ajan ja artikkeleiden suuren määrän vuoksi. Hakemalla pelkillä tekoälyn ja EKG:n hakusanoilla viiden viimeisen vuoden aikana julkaistuja artikkeleita löytyi esimerkiksi PubMed-tietokannasta yli 1700 hakutulosta, joiden rajaaminen pelkkien mukaanotto ja poissulkukriteerien avulla osoittautui liian haastavaksi. Siksi päädyimmekin kohdentamaan vielä aihetta ja hakuja akuuttihoidon käsitteillä. Valitsimme kolme tietokantaa, jotta haku olisi riittävän kattava ja relevantit artikkelit tulaisiin huomaamaan laajemmasta otannasta kuin mitä mikään yksittäinen tietokanta pystyisi tarjoamaan.

Päädyimme käyttämään katsauksen tiedonhaussa seuraavia kotimaisia ja kansainvälisiä sähköisiä tietokantoja: PubMed, CINAHL ja Medic (Kuvio 1 ja Liite 1). Tietokantojen hakurajauksina oli julkaisuvuosi 5 vuoden sisällä (2019–2024) ja kielirajaus englanti.

Hakulausekkeena päädyimme käyttämään seuraavaa lauseketta:

(AI OR "artificial intelligence") AND ECG AND ("emergency medical transport" OR "emergency medical service" OR "emergency care" OR "emergency medicine" OR "emergency department" OR "acute care" OR "acute medicine" OR "intensive care" OR "critical care" OR "pre-hospital" OR "prehospital" OR "out of hospital" OR "out-of-hospital" OR ambulance)

Taulukko 1. Mukaanotto- ja poissulkukriteerit

Sisäänottokriteerit	Poissulkukriteerit
<ul style="list-style-type: none"> - Alkuperäiset tutkimusartikkelit - Tutkimus koskee ainakin osin ensihoidon, päivystysten ja/tai tehosastojen 18-vuotta täyttäneitä potilaita - Osin tai kokoaan prospektiiviset kokeelliset tai havainnoivat tutkimukset - Artikkelit käsittelee tekoälyn hyödyntämistä EKG tulkinnan näkökulmasta. 	<ul style="list-style-type: none"> - Opinnäytetyöt, ammattilehtijulkaisut, asiantuntija-artikkelit, kirjallisuuskatsaukset, mielipideartikkelit, pääkirjoitukset, konferenssipaperit. - Pelkästään retrospektiiviset tutkimukset - Tutkimus koskee pelkästään muita kuin ensihoidon, päivystysten ja/tai tehosastojen potilaita tai koskee alle 18-vuotiaita potilaita - Artikkelit käsittelee tekoälyn hyödyntämistä muusta, kuin EKG:n näkökulmasta. - Tutkimukset, joiden tuloksia ei vielä ole raportoitu.

4.2 Tutkimusaineiston valinta

Tiedonhaun ja aineiston valinnan toteutti kaksi tutkijaa. Molemmat tutkijat tekivät itsenäisesti hakua tietokannoista ja valitsivat relevanteimpia artikkeleita mukaan. Varsinaista artikkeleiden luotettavuuden arviointia emme tehneet, koska sitä ei tyypillisesti tehdä scoping-katsausten yhteydessä (ks. Stolt, ym. 2016: 10–11).

Lopullinen tietokantahaku tuotti yhteensä 243 hakuosumaa kolmesta eri tietokannasta (Kuvio 1 ja Liite 1). Tuplaosumien poistamisen sekä otsikkovalinnan jälkeen jäljelle jäi 87 tutkimusta. Tiivistelmien läpikäynnin jälkeen jäljelle jäi 33 artikkelia, joista kokotekstin läpikäynnin jälkeen jäljelle jäi 7 artikkelia. (Kuvio 1 ja Liite 1.) Näistä katsaukseen valitusta seitsemästä artikkelista koostuu lopullinen katsaus, ja ne on listattu liitteessä

2. Aineiston valinnassa hyödynnettiin erikseen määriteltyjä mukaanotto- ja poissulkukriteereitä (taulukko 1). Katsaukseen otettiin mukaan vain alkuperäisiä tutkimusartikkeleita, jotka käsittelivät tekoälyn hyödyntämistä EKG:n tulkinnan näkökulmasta. Mukaan otetuissa artikkeleissa tutkimusmateriaalina käytettiin ainakin osin ensihoidon, päivystysten tai teho-osastojen yli 18-vuotiaita potilaita. Tutkimusten tuli myös olla ainakin osittain prospektiivisiä kokeellisia tai havainnoivia tutkimuksia. Katsauksesta jätettiin pois muut julkaisut kuin alkuperäiset tutkimusartikkelit sekä pelkästään retrospektiiviset tutkimusartikkelit. Pois suljettiin myös muita kuin päivystysten, teho-osastojen ja ensihoidon potilaita koskevat tutkimukset sekä ne tutkimukset, jotka käsittelivät tekoälyn käyttöä muusta kuin EKG:n näkökulmasta. Myös tutkimukset, joiden tuloksia ei vielä ole raportoitu, jätettiin pois katsauksesta. (Taulukko 1.)

4.3 Tutkimusaineiston analyysi

Aineiston analyysissä menetelmänä käytettiin taulukointia (Arksey & O'Malley 2005: 26–27). Opinnäytetyötä ohjaaviin kysymyksiin pohjaten taulukoimme tutkimusartikkeleiden keskeisiä ominaisuuksia seuraavasti:

- Tekijät
- Maa
- Vuosi
- Tutkimuksen nimi
- Tutkimukset aihe
- Otoksen koko sekä sen ominaisuudet
- Tutkimussuunnitelma, metodit, käytetty tekoälymenetelmä, vertailuryhmät, tekoälyn toimintaa avaavat menetelmät, analyysi
- Tutkimuksen keskeiset tulokset ja johtopäätökset
- Tutkimuksen rajoitukset

Taulukoinnin jälkeen suoritetaan analyysin tulosten koonti, vertailu, referointi ja raportointi (Arksey & O'Malley 2005: 27–28). Tätä käsitellään seuraavassa luvussa.

5 Opinnäytetyön tulokset

5.1 Raportoidut tutkimukset

Tekoälyn hyödyntäminen EKG:n tulkinnassa on vielä suhteellisen uusi tutkimusaihe, eikä kirjallisuushaussa löytynyt vielä kovinkaan montaa prospektiivisistä tutkimuksista

kertovaa artikkelia. Lopullinen aineistomme koostui lopulta seitsemästä tutkimusartikkelista (Liite 2). Tutkimukset oli tehty Yhdysvalloissa (Al-Zaiti ym. 2023; Bouzid ym. 2023), Taiwanissa (Lin ym. 2024; Liu ym. 2021; Wang ym. 2022; Chen ym. 2022) ja Suomessa (Santala ym. 2021). Tutkimuksista kolme oli tehty yhdessä keskuksessa (Liu ym. 2021; Santala ym. 2021; Wang ym. 2022) ja neljä taas monessa keskuksessa (Al-Zaiti ym. 2023; Lin ym. 2024, Chen ym. 2022; Bouzid ym. 2023).

Katsauksen artikkeleiden tutkimusaiheissa korostuivat akuutit koronaarisyndroomat (*acute coronary syndrome*, ACS), seitsemästä tutkimuksesta peräti viisi kohdistui juuri ACS:ään. Al-Zaiti ym. (2023) tutkivat tekoälyn hyödyntämistä sellaisten sydäninfarktien tunnistamisessa, joissa sepelvaltimoissa on joko täydellinen tai lähes täydellinen tukkeuma (*occlusion myocardial infarction*, OMI), mutta jotka eivät ilmene EKG:ssä täydellisille sepelvaltimotukoksille tyypillisesti ST-välin nousuina. Myös Bouzid ym. (2023) raportoi tutkimuksestaan, jossa yritettiin tunnistaa tekoälyn avulla sydäninfarkteja ilman ST-välin nousuja EKG:ssä. Tutkimuksessa myös verrattiin sairaalan ulkopuolella ja sairaan päivystyksessä otettujen EKG:en hyödyllisyyttä diagnoosin tekemisessä tekoälyn avulla yhdessä ja erikseen (Bouzid ym. 2023). Liu ym. (2021) tutkimuksessa pyrittiin hyödyntämään tekoälyä sekä STEMI:en (*ST elevation myocardial infarction*) että NSTEMI:en (*non-ST elevataion myocardial infarction*) tunnistamisessa. Tutkimuksessa myös pyrittiin rakentamaan hälytysjärjestelmä, joka hälyttäisi hoitavat lääkärit tekoälyn tekemistä löydöksistä ja siten lyhentäisi sairaalan ovelta potilaan tukkeutuneen sepelvaltimon pallolaajennukseen kuluvaan aikaa (*Door to Balloon Time* tai *DtoB time*) (Liu ym. 2021). Chen ym. (2022) ja Wang ym. (2022) tutkimuksissa puolestaan keskityttiin nimenomaan EKG:ssä ST-välin nousuja aiheuttaviin infarktien tunnistamiseen ja potilaiden hoidon saannin nopeuttamiseen. Viiden ACS:ää käsittelevän artikkelin lisäksi katsaukseen otettiin mukaan kaksi muuta artikkelia. Toisessa niistä Lin ym. (2024) tutkivat tekoälyn hyödyntämistä tunnistamaan korkeassa kuolemanriskissä olevat potilaat. Toisessa taas Santalan ym. (2021) tutkimusaiheena oli eteisvärinäjaksojen tunnistaminen tekoälyn avulla rytmiseurannassa 24-tunnin aikana hyödyntäen sekä perinteistä 3-kytkennän holter-laitetta että yhden kytkennän puettavaa vyötä.

Tutkimukset olivat toteutettu monipuolisesti eri akuuttihoidon yksiköissä. Vaikka tutkimuksia oli raportoitu vain vähän, hieman yllättäen jopa kaksi tutkimuksista oli toteutettu nimenomaan ensihoidossa (Al-Zaiti ym. 2023; Chen ym. 2022). Neljä muuta tutkimusta

oli tehty päivystyksissä (Bouزيد ym. 2023; Liu ym. 2021; Santala ym. 2021; Wang ym. 2022), ja yksi oli toteutettu sekä päivystysten että vuodeosastojen potilailla (Lin ym. 2024). Yksikään tutkimuksista ei ollut toteutettu teho- tai valvontaosastoilla, tosin Lin ym. (2024) tutkimuksessa potilaista osa päätyi seurantajaksolla teho- tai valvontahoitoon. Tutkimusten otokset vaihtelivat suuresti. Isoin otos oli Liu ym. (2021). tutkimuksessa, jossa tekoälyn kehitettiin 25 002 päivystyskäyntiä kattavalla potilasryhmällä ja validoitiin 14 296 potilaan ryhmällä (yhteensä siis 39 298 päivystyskäyntiä). Pienin otos oli taas Santalan ym. (2021) tutkimuksessa, johon osallistui vain 159 päivystyspotilasta.

Katsaukseen päätyneet prospektiiviset tutkimuksista osa oli havainnoivia ja osa kokeellisia, intervention sisältäviä tutkimuksia. Al-Zaitin ym. (2023) sekä Bouزيد ym. (2023) olivat molemmat havainnoivia tutkimuksia, jotka oli tehty prospektiivisilla potilasryhmillä. Molemmat tutkimuksista olivat vain havainnoivia, eikä niihin sisältynyt kliinistä interventiota. Kliinisen intervention sisältävistä tutkimuksista Lin ym. (2024) raportoima tutkimus oli menetelmänsä laadultaan korkeimman tasoinen ollen ainoa katsauksessa oleva satunnaistettu kontrolloitu tutkimus. Muut intervention sisältävät tutkimukset eivät olleet menetelmiltään yhtä korkealaatuisia. Liu ym. (2021) raportoivat tutkimuksestaan, jossa tekoäly oli koulutettu retrospektiivisesti, mutta testattu prospektiivisesti ennen ja jälkeen -tutkimuksessa. Myös Wang ym. (2022) olivat tutkimuksessaan testanneet tekoälyn käyttöä peräkkäisillä potilasryhmillä, joista toinen ryhmä sai tavanomaista hoitoja ja toinen kohdalla hyödynnettiin tekoälyä. Chen ym. (2022) olivat taas tehneet kliinisen tutkimuksen, jossa oli verrattu interventoryhmää ajallisesti samanaikaiseen verrokkiryhmään. Santala ym. (2021) tekemässä tutkimuksessa oli myös verrattu kahta ajallisesti samanaikaista potilasryhmää, josta toisen kohdalla oli hyödynnetty tekoälyä ja toisen kohdalla ei.

Tutkimuksissa pyrittiin hyödyntämään erilaisia kehittyneitä ja syväoppivia tekoälymallia. Kahdessa tutkimuksessa tekoälymallina oli käytetty satunnaismetsiä (*Random Forest*) (Al-Zaiti ym. 2023; Bouزيد ym. 2023). Yhdessä tutkimuksista oli hyödynnet konvoluutioneuroverkkoa (*convolutional neural network, CNN*) (Lin ym. 2024). Wang ym. (2022) tutkivat kaksisuuntaista *long-short term memory* (LSTM) syväoppivaa tekoälymallia. Eri tekoälymalleja myös yhdisteltiin samassa tekoälyssä. Chen ym. (2022) käyttivätkin CNN:n ja LSTM:n yhdistelmää tutkimuksessaan. Liu ym. (2021) eivät raportoineet

tutkimuksessaan käyttämästään tekoälymallista muuta kuin, että se oli syväoppiva tekoäly. Santala ym. (2021) käyttivät kaupallista Awario AI rytmintunnistusjärjestelmää, jonka käyttämästä tekoälymallista ei tutkimusartikkelissa kerrottu tarkemmin.

Kehittyneiden tekoälyn toiminta on monelta osin vielä mysteeri, ja niiden toimintaa pystytään selittämään vain osin. Tästä huolimatta osassa tutkimuksista pyrittiin myös löytämään selitys tekoälyn tekemille ratkaisuille. Satunnaismetsää hyödyntävissä tutkimuksissa pyrittiin selittämään tekoälyn toimintaa mallille soveltuvilla tilastollisilla menetelmillä. Al-Zaiti ym. (2023) hyödynsivät TreeSHAP-algoritmeilla saatuja SHAP-arvoja selvittääkseen, mitkä EKG:n ominaisuudet vaikuttivat tekoälyn tulkintaan eniten. Bouzid ym. (2023) taas hyödynsi *radom forest permutational ranking* -menetelmää selittämään eroa sairaalan ulkopuolella otetun ja sairaalassa otetun EKG:n välillä diagnoosin tekemisessä. Muissa tutkimuksissa tyydyttiin analysoimaan tekoälyn tekemiä virheellisiä tulkin-toja (Liu ym. 2021) tai tekoälyn toimintaa ei pyritty selittämään mitenkään.

5.2 Keskeiset tulokset tekoälyn hyödyntämisestä EKG:n tulkinnassa

Tuloksiin vaikutti potilaiden ikä, sukupuoli, sairaudet sekä aikaisemmat sairaustilat. Tekoälyn tuottama EKG:n tulkinta on ollut nopeampaa verrattuna lääkäreiden tekemiin tulkintoihin (Chen ym. 2022). Tekoälyn tulkittua EKG:n järjestelmä lähetti lääkärille ja kardiologille ilmoituksen löydöksestä, jolloin lääkäri pystyi tekemään varmennuksen diagnoosiin. Tällöin nopealla havaitsemisella on pystytty nopeuttamaan potilaan hoitoon pääsyä. (Wang ym. 2022.) Tulokset osoittivat, että tekoälymalli oli suoriutunut jopa paremmin kuin asiantuntijat (Al-Zaiti ym. 2023; Bouzid ym. 2023). Tekoälymalli oli vii-veetön, tarkka ja automaattinen järjestelmä, joka helpotti henkilökunnan kuormitusta. Tekoälymalli on pystynyt tunnistamaan EKG:stä hienovaraisia muutoksia ja tulkitsemaan niitä, jopa tarkemmin kuin ihminen pystyy tulkitsemaan. Tutkimuksessa, jossa oli esimerkiksi tutkittu 159 eteisvärinäpotilaan analyysia, tekoäly oli tunnistanut kaikki eteisvärinäjaksot oikein ja tehnyt vain neljä väärää positiivista eteisvärinädiagnoosia (Santala ym. 2021). Tutkimuksessa tuloksiin vaikutti myös se, että osa tutkimuksia oli tehty yhdessä keskuksessa. Tällöin tutkimuksen potilasryhmä ei ollut niin kattava kuin monen keskuksen tutkimuksissa, joiden tutkimustulokset ovat laajemman potilasryh-män vuoksi parempia. Tuloksissa tuli myös ilmi, että mahdollisia sekoittavia muuttujia saattaa olla vanhat sydäninfarktit tai sairaushistoriatiedot. Tutkimuksissa näkyi, että ne

voivat vääristää tekoälyn tulkintaa ja siten lisätä vääriä tekoälyn tekemiä tulkintoja. Katsauksen tekoälymallien hyödyllisyyttä rajoitti se, että ne olivat tehty usein vain yhden diagnoosin tai riskin määrittämiseksi, kuten STEMI:n (Chen ym. 2022; Wang ym. 2022), OMI:n (Al-Zaiti ym. 2023) tai NSTEMIN:n (Bouزيد ym. 2023) tai eteisvärinän (Santala ym. 2021), eikä niitä voida suoraan käyttää laajaan EKG:n analysointia varten.

6 Pohdinta

6.1 Tulosten tarkastelu

Vaikka EKG:n tulkinnassa on jo pitkään hyödynnetty apuna tietokoneohjelmia, uusien syväoppivien tekoälymallien hyödyntämistä EKG:n tulkinnassa on tutkittu vielä verraten vähän aikaa. Tästä uudesta tutkimusalasta löytyikin tähän scoping-katsaukseen vasta vain seitsemän akuuttihoitossa toteutettua prospektiivista tutkimusta. Varsinkin kokeellinen tutkimus keskittyi myös maantieteellisesti hyvin suppealle alueelle: katsauksen intervention sisältävät tutkimuksista neljä oli tehty Taiwanissa ja yksi Suomessa. Katsauksen tutkimuksen aiheet olivat myös kapealta alueelta, rajoittuen sydäninfarktien tunnistukseen, korkean kuolemanriskin tunnistukseen sekä eteisvärinäjaksojen automaattiseen tunnistukseen. Tekoälystä on todettu olevan hyötyä EKG:n tulkinnassa kuitenkin myös monessa muussa tulkinnan osa-alueessa, joista emme kuitenkaan vielä löytäneet katsausta varten prospektiivista tutkimusta.

Tutkimuksissa todetut tekoälyn hyödyt osoittautuivat odotetun kaltaisiksi. Tekoäly suoriutuu tulkinnasta pääsääntöisesti vähintään yhtä hyvin kuin hoitavat lääkärit tai useamman lääkärin konsensus, tekee vain vähän virheitä ja lyhentää potilaiden hoidon viiveitä verrokiryhmiin verrattuna. Tekoäly onnistuu myös korjaamaan monia muuten virheelliseksi jääneitä tulkintoja. Lisäksi tekoäly kykenee havaitsemaan hienovaraisia muutoksia EKG:ssa, joiden havaitseminen ja tulkitseminen voi olla kokeellekin ammatilliselle hyvin vaikeaa, ellei peräti mahdotonta. Katsauksen tutkimusten näytön voidaan katsoa tukevan aikaisemmasta retrospektiivisestä tutkimuksesta saatua näyttöä.

6.2 Eettisyys ja luotettavuus

Opinnäytetyössä noudatettiin hyvää tieteellistä käytäntöä noudattamalla Tutkimuseettisen neuvottelukunnan aiheesta antamia ohjeita. Tutkimuksen periaatteina ovat olleet

rehellisyys, luotettavuus, vastuunkanto ja arvostus. (TENK 2023). Katsauksen aineisto koostuu julkaistuista tutkimuksista. Opinnäytetyötä varten ei siten tarvitse kerätä sellaista tutkimusaineistoa, jonka hallinnassa tarvitsisi noudattaa salassapitovelvollisuutta tai erillisiä tietosuojakäytäntöjä. Kirjallisuuskatsaus ei myöskään tarvinnut erillisiä tutkimuslupia, eikä siten tutkimuslupaprosesseille ollut tarvetta. Aineistona opinnäytetyössä käytetään lääke- ja hoitotieteellisiä julkaisuja, terveysalan ja lääketieteen oppikirjoja sekä muita soveltuviksi ja luotettavaksi katsottavia lähteitä.

Opinnäytetyön luotettavuutta lisää se, että meitä on kaksi tutkijaa ja olemme tehneet hakua kolmesta eri tietokannasta, joista löytyi kattavasti kansainvälisiä tutkimuksia englannin kielellä aiheeseemme liittyen. Haastavaksi osaksi osoittautui tiedonhaun prosessin alussa hakulausekkeella saatu suuri määrä läpikäytäviä artikkeleita sekä sisäänotto- ja poissulkukriteerien tarkempi laatiminen. Lopulta rajasimme hakua vielä lisää hakulausekkeella ja sillä, minkälaisia tutkimuksia otamme mukaan. Ohjaavat kysymykset, hakuprosessi, sisäänotto- ja poissulkukriteerit on laadittu tarkoiksi sekä tiedonhaun taulukot on tehty selkeiksi. Olemme merkinneet tehdyt valinta- ja hakuprotokollat sekä perustelleet valinnat. Artikkelien tuoreus lisää tutkimustuloksien luotettavuutta, koska tiedonhaku on toteutettu 2019–2024 vuosina julkaistuista artikkeleista. Lähdemerkinnät on merkitty ohjeistuksien mukaisesti sekä olemme vältäneet plagiointia. Aineiston artikkeleiden laadunarviointia emme toteuttaneet, mutta se ei normaalisti kuulukaan scoping-katsauksen menetelmään. Opinnäytetyön prosessin eri vaiheissa on hyödynnetty ohjaavan opettajan kanssa sovittuja tapaamisaikoja ja opiskelijaopponenteilta saamia palautteita.

6.3 Johtopäätökset ja jatkotutkimusehdotukset

Opinnäytetyön tuloksena on scoping-katsaus, joka kootusti kartoittaa tutkimustietoa tekoälyn käytöstä EKG:n tulkinnassa. Kirjallisuuskatsaus antaa kuvan tutkimuksen nykyisestä tilanteesta: millä tavoin tekoälyä on hyödynnetty EKG:n tulkinnassa akuuttihoivossa. Katsauksen tuoreutta lisää se, että katsaus käsitteli vain viimeisen viiden vuoden aikana (2019–2024) julkaistuja tutkimusartikkeleita. Kirjallisuuskatsaus antaa hyvän lähtökohdan pohtia niin tutkimuksen tämänhetkistä tilannetta kuin myös mahdollisia tulevia tutkimusaiheita tekoälyn hyödyntämisestä.

Tutkimuksia oli runsaasti ja ne käsittelivät eri tekoälymenetelmien hyödyntämistä monien sydänperäisten sairauksien tunnistamisessa. Tutkimuksista kävi ilmi, että tekoälyn

hyödyntäminen on merkittävää ihmistyönä tehtävän ensi- ja muun akuuttihoidon tukena jo nyt. Tekoälymallien edelleen kehittyessä ja tutkimuksen edetessä niiden merkityksen voidaan olettaa edelleen kasvavan ja niiden soveltamisen laajentuvan uusille alueille.

Mitä laajemmin tekoälypohjaisia järjestelmiä käytetään ensi- ja akuuttihoidossa, sitä suuremman merkityksen ne voivat saavuttaa kliinisen päätöksenteon tukena ja tehostajana, vaikkeivat ne kokonaan kykenisikään korvaamaan terveydenalan ammattilaisen tekemää kliinistä arviointia. Tekoälyn laajemmista tulevaisuuden mahdollisuuksista ei näiden tutkimusten perusteella kuitenkaan voi tehdä suoria päätelmiä, koska tutkimukset on toteutettu vielä rajallisesti tietyille potilasryhmille ja yksittäisille sydänperäisille sairauksille. Tekoäly ei ole vielä tarpeeksi kehittynyttä, eikä sen tuottama tieto ole vielä riittävän luotettavaa. Varsinkin intervention sisältävää tutkimusta on vielä liian vähän siihen lopputulemaan, että tämän hetken mukainen tutkimusnäyttö puoltaisi tekoälyn hyödyntämistä laajasti EKG:n tulkinnassa akuuttihoidossa. Lisäksi syväoppivat tekoälyt ovat edelleen niin sanottuja mustia laatikoita, joiden sisäisestä toiminnasta niiden tekijätkin tietävät vain vähän. Tämä ominaisuus vaikeuttaa niiden kliinistä hyödyntämistä, kun ei vielä tarkkaan tiedetä, mihin asioihin tekoälymallit perustavat tekemänsä tulkin-
tapäätökset.

Tekoälyn hyödyntämistä EKG:n tulkinnassa akuuttihoidossa tuleekin tutkia jatkossa vielä lisää. Muutamia lupaavia tutkimussuunnitelmia onkin jo julkaistu. Esimerkiksi Yao ym. (2024) on julkaissut tutkimussuunnitelman satunnaistetusta kontrolloidusta tutkimuksesta liittyen eteisvärinän tunnistamiseen. Cisuelo ym. (2023) puolestaan on julkaissut suunnitelmansa havainnoivasta tutkimuksesta, jonka tuottaman havainnointimateriaalin pohjalta on tarkoitus kehittää älykellojen tuottamiin fysiologisiin ei-invasiivisten mittauksiin perustuva, tyypin yksi diabetesta sairastavilta potilailta hypoglykemian tunnistava tekoäly. Shin ym. (2023) on julkaissut suunnitelmansa Etelä-Koreassa toteutettavasta prospektiivisesta havainnoivasta tutkimuksesta, jonka keräämää dataa tullaan hyödyntämään aikaisemmin kehitetyn AMI:n tunnistavan tekoälymallin toiminnan ulkoiseen testaukseen. Tätä katsausta viimeistellessämme ei yhdestäkään näistä suunnitelluista tutkimuksista ollut tuloksia julkaistuna.

Tekoälymalleja tulisikin kehittää kohti laajempaa hyödyntämistä, jotta ne pystyisivät tekemään laajempaa ja kokonaisvaltaisempaa EKG:n analysointia, eivätkä ne enää rajoittuisi yksittäisten diagnoosien tekemiseen. Tekoälyn hyödyntämisestä EKG:n tulkinnassa tulisi jatkossa tehdä lisää interventiota sisältäviä tutkimuksia, sekä laajempia

isompia potilasryhmiä sisältäviä ja monikeskuksia tutkimuksia. Koska tämän scoping-katsauksen näkökulma oli kapea, löytyisi laajemmalle ja syvällisemmälle ensi- ja akuut-tihoidossa tehtyyn kirjallisuuskatsaukselle tarvetta lähitulevaisuudessa. Tätä silmällä pitäen tulisi kuitenkin ensin odottaa lisää tutkimusten tulosten julkistuksia.

Lähteet

Ailisto, Heikki (toim.) & Heikkilä, Eetu & Helaakoski, Heli & Neuvonen, Anssi & Seppälä, Timo 2018. Tekoälyn kokonaiskuva ja osaamiskartoitus. Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarja 46/2018. Helsinki: Valtioneuvoston kanslia. <<https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/160925/46-2018-Tekoalyn%20kokonaiskuva.pdf>>.

Al-Zaiti, Salah S. & Martin-Gill, Christian & Zègre-Hemsey, Jessica K. & Bouzid, Zeineb & Faramand, Ziad & Alrawashdeh, Mohammad O. & Gregg, Richard E. & Helman, Stephanie & Riek, Nathan T. & Kraevsky-Phillips, Karina & Clermont, Gilles & Akcakaya, Murat & Sereika, Susan M. & Van Dam, Peter & Smith, Stephen W. & Birnbaum, Yochai & Saba, Samir & Sejdic, Ervin & Callaway, Clifton W. 2023. Machine learning for ECG diagnosis and risk stratification of occlusion myocardial infarction. *Nature Medicine* 29(7). 1804–1813. <<https://doi.org/10.1038/s41591-023-02396-3>>.

Arksey, Hilary & O'Malley, Lisa 2005. Scoping studies: towards a methodological framework. *International Journal of Social Research Methodology* 8(1). 19–32.

Bouzid, Zeineb & Faramand, Ziad & Martin-Gill, Christian & Sereika, Susan M. & Callaway, Clifton W. & Saba, Samir & Gregg, Richard & Badilini, Fabio & Sejdic, Ervin & Al-Zaiti, Salah S. 2023. Incorporation of Serial 12-Lead Electrocardiogram With Machine Learning to Augment the Out-of-Hospital Diagnosis of Non-ST Elevation Acute Coronary Syndrome. *Annals of Emergency Medicine* 81(1). 57–69. <<https://doi.org/10.1016/j.annemergmed.2022.08.005>>.

Bradshaw, Jace C. & Nagourney, Emily & Warshel, McKenzie & Weygandt, P. Logan 2025. Implementing artificial intelligence for electrocardiogram interpretation: A case study. *JEM Reports* 4(1). 1–4. <<https://doi.org/10.1016/j.jemrpt.2024.100132>>.

Chen, Ke-Wei & Wang, Yu-Chen & Liu, Meng-Hsuan & Tsai, Being-Yuah & Wu, Mei-Yao & Hsieh, Po-Hsin & Wei, Jung-Ting & Shih, Edward S. C. & Shiao, Yi-Tzone & Hwang, Ming-Jing & Wu, Ya-Lun & Hsu, Kai-Cheng & Chang, Kuan-Cheng 2022. Artificial intelligence-assisted remote detection of ST-elevation myocardial infarction using a mini-12-lead electrocardiogram device in prehospital ambulance care. *Frontiers in Cardiovascular Medicine* 9. 1–11. <<https://doi.org/10.3389/fcvm.2022.1001982>>.

Cisuelo, Owain & Stokes, Katy & Oronti, Iyabosola B. & Haleem, Muhammad Salman & Barber, Thomas M. & Weickert, Martin O. & Pecchia, Leandro & Hattersley, John 2023. Development of an artificial intelligence system to identify hypoglycaemia via ECG in adults with type 1 diabetes: protocol for data collection under controlled and free-living conditions. *BMJ Open* 13(4). 1–7. <<https://doi.org/10.1136/bmjopen-2022-067899>>.

Di Costanzo, Assunta & Spaccarotella, Carmen Anna Maria & Esposito, Giovanni & Indolfi, Ciro 2024. An Artificial Intelligence Analysis of Electrocardiograms for the Clinical Diagnosis of Cardiovascular Diseases: A Narrative Review. *Journal of Clinical Medicine* 13(4). <<https://doi.org/10.3390/jcm13041033>>. Viitattu 26.8.2024

Duodecim Terveysportti. Lääketieteen termien sanakirja: Akuutti. Helsinki: Kustannus Oy Duodecim. Viitattu 5.9.2024.

Duodecim Terveysportti. Lääketieteen termien sanakirja: Krooninen. Helsinki: Kustannus Oy Duodecim. Viitattu 5.9.2024.

Duodecim Terveysportti. Lääketieteen termien sanakirja: Akuuttihoito. Helsinki: Kustannus Oy Duodecim. Viitattu 5.9.2024.

Eerola, Hannaleena 2022. EKG (sydänfilmi). Duodecim Terveyskirjasto. Helsinki: Kustannus Oy Duodecim.

Johansson, Kirsi (toimittaja, kirjoittaja) & Axelin, Anna (toimittaja, kirjoittaja) & Stolt, Minna (toimittaja, kirjoittaja) & Ääri, Riitta-Liisa (toimittaja, kirjoittaja) & Leino-Kilpi, Helena (kirjoittaja) & Tähtinen, Helena (kirjoittaja) & Pudas-Tähkä, Sanna-Mari (kirjoittaja) & Routasalo, Pirkko (kirjoittaja) Virtanen, Heli (kirjoittaja) & Salanterä, Sanna (kirjoittaja) & Flinkman, Mervi (kirjoittaja) & Kontio, Elina (kirjoittaja) 2007. Systemaattinen kirjallisuuskatsaus ja sen tekeminen. Turun yliopiston hoitotieteen laitoksen julkaisuja, Sarja A tutkimuksia ja raportteja (A51). Turku: Turun yliopisto.

Jormakka, Juha & Kettunen, Jukka 2018. EKG akuuttihoitossa. Helsinki: Sanoma Pro. painos 2018.

Kolari, Jukka & Kallio, Aleks 2023. Tekoäly 123: matkaopas tulevaisuuteen. E-kirja. Helsinki: Docendo.

Lin, Chin-Sheng & Liu, Wei-Ting & Tsai, Dung-Jang & Lou, Yu-Sheng & Chang, Chiao-Hsiang & Lee, Chiao-Chin & Fang, Wen-Hui & Wang, Chih-Chia & Chen, Yen-Yuan & Lin, Wei-Shiang & Cheng, Cheng-Chung & Lee, Chia-Cheng & Wang, Chih-Hung & Tsai, Chien-Sung & Lin, Shih-Hua & Lin, Chin 2024. AI-enabled electrocardiography alert intervention and all-cause mortality: a pragmatic randomized clinical trial. *Nature Medicine* 30(5). 1461–1470.

Liu, Wen-Cheng & Lin, Chin & Lin, Chin-Sheng & Tsai, Min-Chien & Chen, Sy-Jou & Tsai, Shih-Hung & Lin, Wei-Shiang & Lee, Chia-Cheng & Tsao, Tien-Ping & Cheng, Cheng-Chung 2021. An Artificial Intelligence-Based Alarm Strategy Facilitates Management of Acute Myocardial Infarction. *Journal of Personalized Medicine* 11(11). 1–13. <<https://doi.org/10.3390/jpm11111149>>.

Mehiläinen Oy. Sydän- ja verisuonisairaudet. <<https://www.mehilainen.fi/sydan-ja-verisuonitaudit>>. Viitattu 26.8.2024

Neittaanmäki, Pekka & Tuominen, Heli & Äyrämö, Sami & Vähäkainu, Petri & Siukonen, Timo (toim.) 2019. Tekoäly ja terveydenhuolto Suomessa. Jyväskylä: Jyväskylän yliopiston IT-tiedekunta.

Raatikainen, Pekka & Mäkijärvi, Markku & Parikka, Hannu 2005. EKG. Oppikirja. Helsinki: Kustannus Oy Duodecim.

Raatikainen, Pekka & Parikka, Hannu 2022. Ekg:n tulkinta aikuisilla. Duodecim Terveysportti: Lääkärin käsikirja. Helsinki: Kustannus Oy Duodecim.

Sand, Olav & Sjaastad, Øystein V. & Haug, Egil & Bjälje, Jan G. 2012. Ihminen – Fysiologia ja anatomia. Suom. Lääketieteellinen käännöstoimisto Oy & Hekkanen, Raila. 8.–9. painos. Helsinki: Sanoma Pro Oy.

Santala, Onni E. & Halonen, Jari & Martikainen, Susanna & Jäntti, Helena & Rissanen, Tuomas T. & Tarvainen, Mika P. & Laitinen, Tomi P. & Laitinen, Tiina M. & Väliäho, Eemu-Samuli & Hartikainen, Juha E. K. & Martikainen, Tero J. & Lipponen, Jukka A. 2021. Automatic Mobile Health Arrhythmia Monitoring for the Detection of Atrial Fibrillation: Prospective Feasibility, Accuracy, and User Experience Study. *JMIR mHealth and uHealth* 9(10). 1–12. <<https://doi.org/10.2196/29933>>.

Shiftmed Team 2022. What Is An Acute Care Nurse? ShiftMed blog. <<https://www.shiftmed.com/professionals/blog/what-is-an-acute-care-nurse/>>. Viitattu 5.5.2025.

Shin, Tae Gun & Lee, Youngjoo & Kim, Kyuseok & Sung Lee, Min & Kwon, Joonmyoung 2023. ROMIAE (Rule-Out Acute Myocardial Infarction Using Artificial Intelligence Electrocardiogram Analysis) trial study protocol: a prospective multicenter observational study for validation of a deep learning–based 12-lead electrocardiogram analysis model for detecting acute myocardial infarction in patients visiting the emergency department. *Clinical and Experimental Emergency Medicine* 10(4). 438–445. <<https://doi.org/10.15441/ceem.22.360>>.

Stolt, Minna & Axelin, Anna & Suhonen, Riitta 2016. Kirjallisuuskatsaus hoitotieteessä. Turun yliopiston hoitotieteen laitoksen julkaisuja, Sarja A tutkimuksia ja raportteja (A73). 2. korjattu painos. Turku: Grano Oy. Viitattu 13.9.2024

TENK = Tutkimuseettinen neuvottelukunta

Tutkimuseettinen neuvottelukunta 2023. Hyvä tieteellinen käytäntö ja sen loukkaus-epäilyjen käsitteleminen Suomessa –Tutkimuseettisen neuvottelukunnan HTK-ohje 2023. Tutkimuseettisen neuvottelukunnan julkaisuja 2/2023. Helsinki: Tutkimuseettinen neuvottelukunta. <https://tenk.fi/sites/default/files/2023-03/HTK-ohje_2023.pdf>. Viitattu 5.9.2024.

Tuominen, Heli 2019. Tekoälyn perusteita. Teoksessa Neittaanmäki, Pekka & Tuominen, Heli & Äyrämö, Sami & Vähäkainu, Petri & Siukonen, Timo (toim.) 2019. Tekoäly ja terveydenhuolto Suomessa. Jyväskylä: Jyväskylän yliopiston IT-tiedekunta.

Wang, Yu-Chen & Chen, Ke-Wei & Tsai, Being-Yuah & Wu, Mei-Yao & Hsieh, Po-Hsin & Wei, Jung-Ting & Shih, Edward S.C. & Shiao, Yi-Tzone & Hwang, Ming-Jing & Chang, Kuan-Cheng 2022. Implementation of an All-Day Artificial Intelligence–Based Triage System to Accelerate Door-to-Balloon Times. *Mayo Clinic Proceedings* 97(12). 2291–2303.

Yao, Xiaoxi & Attia, Zachi I. & Behnken, Emma M. & Hart, Melissa S. & Inselman, Shealeigh A. & Weber, Kayla C. & Li, Fan & Stricker, Nikki H. & Stricker, John L. & Friedman, Paul A. & Noseworthy, Peter A. 2024. Realtime Diagnosis from Electrocardiogram Artificial Intelligence-Guided Screening for Atrial Fibrillation with Long Follow-Up (REGAL): Rationale and design of a pragmatic, decentralized, randomized controlled trial. *American Heart Journal* 267(1). 62–69.

Liite 1: Tiedonhaun taulukko

Tietokanta	Hakusanat	Rajaukset	Osumat	Otsikon perusteella valittu	Tiivistelmän perusteella valittu	Koko tekstin perusteella valittu
PubMed	(AI OR "artificial intelligence") AND ECG AND ("emergency medical transport" OR "emergency medical service" OR "emergency care" OR "emergency medicine" OR "emergency department" OR "acute care" OR "acute medicine" OR "intensive care" OR "critical care" OR "pre-hospital" OR "prehospital" OR "out of hospital" OR "out-of-hospital" OR ambulance)	Tutkimukset on julkaistu 2019–2024. Kieli englanti	230	87	33	7
CINAHL	(AI OR "artificial intelligence") AND ECG AND ("emergency medical transport" OR "emergency medical service" OR "emergency care" OR "emergency medicine" OR "emergency department" OR "acute care" OR "acute medicine" OR "intensive care" OR "critical care" OR "pre-hospital" OR "prehospital" OR "out of hospital" OR "out-of-hospital" OR ambulance)	Tutkimukset on julkaistu 2019–2024. Kieli englanti	13	7	5	0
Medic	(AI OR "artificial intelligence") AND ECG AND ("emergency medical transport" OR "emergency medical service" OR "emergency care" OR "emergency medicine" OR "emergency department" OR "acute care" OR "acute medicine" OR "intensive care" OR "critical care" OR "pre-hospital" OR "prehospital" OR "out of hospital" OR "out-of-hospital" OR ambulance)	Tutkimukset on julkaistu 2019–2024. Kieli englanti	0	0	0	0

Liite 2: Katsauksen aineisto

Tekijät, vuosi maa	Aineiston nimi	Aineiston tarkoitus ja sisältö	Otos	Tutkimussuunnitelma, metodit, analyysi	Tulokset ja johtopäätökset	Tutkimuksen rajoitteet
Al-Zaiti ym. 2023 USA	Machine learning for ECG diagnosis and risk stratification of occlusion myocardial infarction	Arvioida koneoppimista hyödyntävän tekoälyn diagnostista tarkkuutta ja riskien stratifikaation onnistumista okluusiosydäninfarktien (OMI) tunnistamisessa ilman ST-välin nousuja	Yhteensä 7 313 ensihoidon potilasta, joista: - Tekoälyn koulutus: 4 026 potilasta - Sisäinen testaus: 806 potilasta - Ulkoinen testaus: 3 287 potilasta	Prospektiivinen havainnoiva kohorttitutkimus Monen keskuksen tutkimus Vertailu tavanomaisia EKG-tulkintaohjelmien, HEAR-pisteytyksen ja lääkäreiden tekemien tulkintojen tarkkuutta vastaan AI: Aika-avaruudellisiin mittauksiin perustuvia morfologisia EKG:n ominaisuuksia hyödyntävä satunnaismetsä AI:n selitys: TreeSHAP-algoritmeilla muodostetut SHAP-arvot	Koneoppiva tekoälyalgoritmi suoritui OMI:n tunnistamisesta paremmin kuin kaupallisessa käytössä oleva tietokoneohjelma tai lääkärit niin sisäisen kuin ulkoisen testiryhmän kanssa Tekoäly luokitteli tarkemmin eri riskiluokkien potilaat oikeisiin ryhmiin (matala, keskimääräinen ja korkea riski) suhteessa tutkimusverrokkeihin.	Yleistettäessä kaikkiin akuutteihin koronaarisyndrooman (ACS) muotoihin tekoäly ei yltänyt enää riittävän hyvään poissulkukriteerin tarkkuuteen, mutta säilytti edelleen hyvän sisäänottokriteerien tarkkuuden. Tekoälyn käyttämät EKG:n morfologiset ominaisuudet saatiin valmistajakohtaiselta ohjelmalta. EKG:n analysointi ei tapahtunut reaaliaikaisesti, vaan vasta jälkikäteen.

Tekijät, vuosi maa	Aineiston nimi	Aineiston tarkoitus ja sisältö	Otos	Tutkimussuunnitelma, metodit, analyysi	Tulokset ja johtopäätökset	Tutkimuksen rajoitteet
Bouzid ym. 2023 USA	Incorporation of Serial 12-Lead Electrocardiogram With Machine Learning to Augment the Out-of-Hospital Diagnosis of Non-ST Elevation Acute Coronary Syndrome	Kehittää ja testata tekoälyalgoritmi, jolla tunnistetaan sydäninfarktit ilman ST-nousua hyödyntäen sarja-EKG:tä (yksi sairaalan ulkopuolinen ja yksi sairaalassa otettu EKG).	2122 päivystyspotilasta	Prospektiivinen havainnoiva tutkimus Monen keskuksen tutkimus AI: 179 EKG:stä otettujen ominaisuuksien perusteella kehitetty satunnaismetsä AI:n toiminnan selittäminen: random forest permutation importance ranking.	Tekoäly tunnisti sydäninfarktit ilman ST-nousuja sekä ensihoidon että päivystyksen EKG:sta paremmin kuin lääkärit päivystyksessä. Sarja-EKG:llä ei saavutettu merkittävää lisähyötyä tekoälyn tekemässä tulkinnessa verrattuna pelkkään ensihoidon EKG:n.	Tutkimuksessa ei mukana potilaita, joilla sekundaarisia repolarisaation poikkeamia (tahdistin, BBB, LVH tai kammiorytmi). Tutkimus koskee vain yhtä terveydenhuoltojärjestelmää. Ensihoidon ja päivystyksen EKG:t prosessoitiin eri laitevalmistajien ohjelmistoilla.

Tekijät, vuosi maa	Aineiston nimi	Aineiston tarkoitus ja sisältö	Otos	Tutkimussuunnitelma, metodit, analyysi	Tulokset ja johtopäätökset	Tutkimuksen rajoitteet
Chen ym. 2022 Taiwan	Artificial intelligence-assisted remote detection of ST-elevation myocardial infarction using a mini-12-lead electrocardiogram device in prehospital ambulance care	Testata käytännössä, kuinka hyvin tekoälymallin reaaliaikainen tulkinta EKG:stä auttaa ensihoidon tekemää EKG:n analysointia ja parantaa potilaan hoitopolkua	Tutkimus: 697 ensihoidon potilasta, joista - Tekoälyllä tulkittujen ryhmä: 362 - Lääkärin tulkittujen ryhmä: 335	Prospektiivinen kliininen tutkimus Monen keskuksen tutkimus AI: Konvoluutioneuroverkko (CNN) ja kaksisuuntainen long short-term memory (LSTM).	Tekoälyn tulkinnan vastausaika oli odotetusti lyhyempi (37,2 +- 11,3 s) verrattuna lääkärin tekemään tulkintaan (113,2 +- 369,4 s). Tekoäly teki kolme virheellistä tunnistusta, kaksi väärää positiivista ja yhden väärän negatiivisen, saavuttaen näin hyvän herkkyuden ja tarkkuuden.	Tekoäly tunnistaa vain ST-nousuinfarkteja, eikä se tunnistaa muita akuutteja koronaarisyndroomia (UAP, NSTEMI). Tutkimuksen pieni määrä PPCI:n saaneita potilaita (10) Tutkimuksen otos on pieni, ja vaatii varmennusta isommalla otoksella isommalta maantieteelliseltä alueelta.

Tekijät, vuosi maa	Aineiston nimi	Aineiston tarkoitus ja sisältö	Otos	Tutkimussuunnitelma, metodit, analyysi	Tulokset ja johtopäätökset	Tutkimuksen rajoitteet
Lin ym. 2024 Taiwan	AI-enabled electrocardiography alert intervention and all-cause mortality: a pragmatic randomized clinical trial	Testata satunnais- tetussa ja kontrol- loidussa kliinisessä tutkimuksessa teko- älyn tekemä suuren kuolemanriskin omaavien potilai- den tunnistus pel- kän EKG:n avulla.	15 965 päivystys ja sairaalaosastopotil- asta - Interventioyryh- mä: 8 001 potilasta - Kontrolliryhmä: 7 964 potilasta	Satunnaistettu kontrolloitu tutkimus Monen keskuksen tutkimus AI: konvoluutioneuroverkko Ei AI:n toimintaa selvittäviä analyysimenetelmiä	Kuolleisuus 90- päivän aikana oli selvästi pienempi (3,6 %) interventioyryhmän kohdalla kuin kontrolliryhmän kohdalla (4,3 %). Kuolleisuuden lasku johtui tekoälyn paremmasta kyvystä tunnistaa korkean riskin potilaat. Tekoäly ennusti kuolleisuutta tarkimmin rytmihäiriöistä, sydäninfarkteista ja syövistä johtuvien kuolleisuuksien kohdalla.	Kuolleisuudessa interventioyryhmän ja kontrolliryhmän välillä ei ollut merkittävää eroa tarkasteltaessa korkean riskin potilaiden yksittäisiä kuolinsyitä, mikä johtuu todennäköisesti otoksen pienuudesta.

Tekijät, vuosi maa	Aineiston nimi	Aineiston tarkoitus ja sisältö	Otos	Tutkimussuunnitelma, metodit, analyysi	Tulokset ja johtopäätökset	Tutkimuksen rajoitteet
Liu ym. 2021 Taiwan	An Artificial Intelligence-Based Alarm Strategy Facilitates Management of Acute Myocardial Infarction	<p>Auttaako syväoppi- van tekoälymallin käyttöönnotto diag- nosoinnissa akuut- tien sydäninfarktien tunnistamisessa sekä niiden hoito- prosesseissa.</p> <p>Selvittää, lyhen- tääkö tekoälymallin käyttöönnotto ”o- velta pallolaajennok- seen” (Door to Bal- loon, DtoB) aikaa.</p>	<p>Yhteensä 39 298 päivystyskäyntiä, joista:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Tekoälyn kehittäminen: 25 002 päivystyskäyntiä - Prospektiivine n validointiryhmä : 14 296 päivystyskäyntiä. 	<p>Prospektiivisesti validoitu ennen ja jälkeen tutkimus</p> <p>Yhden keskuksen tutkimus</p> <p>Tutkimusryhminä ennen tekoälymallin käyttöönnottoa ja käytönnoton jälkeen</p> <p>AI: Syväoppiva tekoälymalli</p> <p>AI:n toiminnan selittäminen: Vain väärin diagnoosien manuaalinen analysointi.</p>	<p>55 STEMI-potilaan kohdalla järjestelmä antoi asianmukaisen varoituksen, neljän potilaan kohdalla varoitusta jäi antamatta.</p> <p>NSTEMI:n tunnistuksessa järjestelmä antoi varoituksia pienemmällä herkkyydellä mutta suuremmalla tarkkuudella kuin STEMIN kohdalla.</p> <p>DtoB aika lyheni kontrolliryhmän 69 minuutista interventoriyhmän 61 minuuttiin.</p>	<p>Ei satunnaistettu kontrolloitu tutkimus</p> <p>Vain yhden keskuksen tutkimus.</p> <p>DtoB ajan lyhentämisen tarkoista hyödyistä tarvitaan vielä lisää tutkimusnäyttöä.</p> <p>Ei tutkittu, että hyötyisikö tekoäly myös muista potilaan kliinisistä tiedoista.</p>

Tekijät, vuosi maa	Aineiston nimi	Aineiston tarkoitus ja sisältö	Otos	Tutkimussuunnitelma, metodit, analyysi	Tulokset ja johtopäätökset	Tutkimuksen rajoitteet
Santala ym. 2021 Suomi	Automatic Mobile Health Arrhythmia Monitoring for the Detection of Atrial Fibrillation: Prospective Feasibility, Accuracy, and User Experience Study	Arvioida kuluttajakäyttöön suunnitellun yhden johtimen EKG-vyön ja siihen kuuluvien puhelinsovelluksen ja EKG:tä tulkitsevan pilvipalvelun käytettävyys ja tarkkuus eteisvärinän tunnistamisessa.	159 päivystyspotilasta	Prospektiivinen kliininen tutkimus Yhden keskuksen tutkimus AI: Awario AI kaupallinen rytmintunnistusjärjestelmä. AI:n toiminnan selittäminen: Ei analyysiä.	Tekoäly tunnisti oikein kaikki eteisvärinätapaukset ja antoi väärän positiivisen eteisvärinädiagnoosin neljälle sinusrytmipotilaalle. Eteisvärinän tunnistus oli parempi pidempien eteisvärinäjaksojen kohdalla.	Tutkimuksessa ei mukana potilaita, joilla haarkatkoksia (LBBB/RBBB) tai leveän R-piikin QRS-komplekseja. Tutkimuksen pieni otos. EKG-vyön käyttöä tulisi testata myös sairaalan ulkopuolella.

Tekijät, vuosi maa	Aineiston nimi	Aineiston tarkoitus ja sisältö	Otos	Tutkimussuunnitelma, metodit, analyysi	Tulokset ja johtopäätökset	Tutkimuksen rajoitteet
Wang ym. 2022 Taiwan	Implementation of an All-Day Artificial Intelligence-Based Triage System to Accelerate Door-to-Balloon Times	<p>Kehittää ja testata tekoälymalli tunnistaamaan ST-noususydäninfarkteja</p> <p>Kehittää ja testata varoitusjärjestelmä, joka varoittaa suuren riskin epätyypillisiä sydänoireita omaavien potilaiden nopean EKG:n oton tarpeesta.</p> <p>Kehittää ja testata varoitusjärjestelmä, joka varoittaa hoitavaa lääkäriä tekoälyn tunnistamista sydäninfarkteista.</p>	<p>Tekoälyn koulutus: 2 907 sairaalassa otettua EKG:t</p> <p>Tekoälyn sisäinen testaus: 4 007 päivystyspotilaan EKG:tä</p> <p>AI:n käyttöönoton jälkeen: 21 035 AI:n tulkitsemaa päivystyspotilaan EKG:tä</p> <p>”Ovelta pöydälle” - ajan seurantatutkimus: 153 päivystyspotilasta, jolla STEMI</p>	<p>Prospektiivinen kliininen tutkimus</p> <p>Yhden keskuksen tutkimus</p> <p>AI: kaksisuuntainen long short-term memory (LSTM) syväoppiva tekoälymalli.</p>	<p>Tekoälymallin käyttöönotto lyhensi DtoB aikaa verrattuna kontrolliryhmään ja vähensi yli 90 minuutin DtoB-aikojen osuutta.</p> <p>DtoB aika lyhenyi eniten päivystysaikaan.</p> <p>DtoB ajan lyheneminen johtui ennen kaikkea nopeutuneesta EKG:n otosta ja tulkinnasta sekä katetrisaatiolaboratori on nopeutuneista aktivoinneista.</p>	<p>Pienestä väärin negatiivisten tulkintojen määrästä (0,1 %) huolimatta merkittävä määrä vääriä positiivisia tulkintoja (~ 20 %).</p> <p>Tulkinta perustui ainoastaan EKG:n.</p> <p>Tekoälymalli tunnistoi ainoastaan ST-nousuinfarkteja eikä tehnyt kokonaisvaltaista EKG:n tulkintaa.</p> <p>Yhden keskuksen tutkimus verraten pienellä otoksella.</p>