



**TURUN
YLIOPISTO**

Usean tekoälyagentin yhteistyö kliinisen päätöksenteon tukijärjestelmien apuna

Tietojenkäsittelytiede, LuK-tutkielma
Tietotekniikan laitos

Eero Maijala

20.01.2026
Turku

Turun yliopiston laatujärjestelmän mukaisesti tämän julkaisun alkuperäisyys on tarkastettu Turnitin OriginalityCheck -järjestelmällä.

Kandidaatintutkielma

Tutkinto-ohjelma, oppiaine: Tietojenkäsittelytiede, tietotekniikan laitos

Tekijä: Eero Maijala

Otsikko: Usean tekoälyagentin yhteistyö kliinisen päätöksenteon tukijärjestelmien apuna

Ohjaajat: väitöskirjatutkija Tuomas Borman, professori Timo Knuutila

Sivumäärä: 28 sivua

Päivämäärä: 20.01.2026

Abstrakti

Kliininen päätöksenteko tukeutuu yhä useammin digitaalisiin järjestelmiin tietointensiivisessä terveydenhuoltoympäristöissä. Tekoälyn kehitys mahdollistaa moniagenttijärjestelmät, joissa useat itsenäiset tekoälyagentit toimivat yhteistyössä ja tarjoavat uusia mahdollisuuksia kliinisen päätöksenteon tukijärjestelmien kehittämiseen. Tässä kandidaatintutkielmassa tarkastellaan, miten moniagenttisia tekoälyjärjestelmiä voidaan hyödyntää kliinisen päätöksenteon tukijärjestelmissä, mitä hyötyjä ne tuovat sekä mitkä tekijät rajoittavat niiden käyttöönottoa. Tutkimus toteutettiin systemaattisena kirjallisuuskatsauksena, jossa tarkasteltiin vuosina 2023–2025 julkaistuja tutkimuksia. Aineisto haettiin Scopus-, PubMed- ja IEEE Xplore tietokannoista. Lopulliseen tarkasteluun sisällytettiin yksitoista artikkelia, joissa esitettiin ja arvioitiin konkreettisia moniagenttisia kliinisen päätöksenteon tukijärjestelmiä. Arvioidut moniagenttiset järjestelmät koostuvat useista suurista kielimalleista hyödyntävistä tekoälyagenteista, joille on määritelty kliinisiä tiimejä mukailevat erikoistuneet roolit, kuten tiedonhaku, päättely, tiedon varmentaminen ja koordinointi. Yksittäisiin tekoälymalleihin perustuviin ratkaisuihin verrattuna moniagenttiset järjestelmät saavuttavat tutkimuksissa paremman diagnostisen ja ennustavan tarkkuuden sekä tarjoavat selitettävämpää ja johdonmukaisempaa päätöksenteon tukea. Järjestelmien arviointi on toistaiseksi tapahtunut ainoastaan testiaineistoilla. Niiden käyttöönottoa rajoittavat laskennallinen kuormitus, vasteaika, rajallinen multimodaalinen tiedonkäsittely sekä eettiset ja sääntelyyn liittyvät kysymykset. Moniagenttiset tekoälyjärjestelmät voivat tehostaa kliinisen päätöksenteon tukijärjestelmiä, mutta niiden siirtyminen osaksi todellisia kliinisiä työnkuluja edellyttää vielä lisätutkimusta ja käytännön validointia.

Avainsanat: Tekoälyagentti, Moniagenttijärjestelmä, Kliinisen päätöksenteon tukijärjestelmä

Sisällysluettelo

1	Johdanto	1
2	Tekoälyagenttijärjestelmät	5
2.1	Tekoäly	5
2.2	Tekoälyagentit	6
2.3	Moniagenttijärjestelmät	9
3	Kliinisen päätöksenteon tukijärjestelmät	13
3.1	Luokittelu ja rakenne	13
3.2	Käyttöönoton haasteet ja sääntely	16
4	Tekoälyagenttijärjestelmät kliinisen päätöksenteon tukijärjestelmissä	19
4.1	Käyttökohteet ja toteutus	19
4.2	Tekoälyagenttijärjestelmien tuomat hyödyt kliinisen päätöksenteon tukijärjestelmiin	22
4.3	Tekoälyagenttijärjestelmien käytön esteet kliinisen päätöksenteon tukijärjestelmissä	24
5	Yhteenveto	26
	Lähteet	29
6	Liitteet	35
6.1	Liite 1. Moniagenttijärjestelmien käyttö, toteutus, hyödyt ja esteet kliinisen päätöksenteon tukijärjestelmissä.	35

1 Johdanto

Tekoälyagenttien ja erityisesti agenttisten tekoälyjärjestelmien, joissa useampi tekoäly tekee yhteistyötä, myötä tekoälyä pystytään hyödyntämään entistä monivaiheisempiin tehtäviin. Niillä on potentiaalia tehostaa toimintaa useilla eri aloilla. (Karunanayake, 2025.) Tekoälyllä tarkoitetaan konetta tai tietojärjestelmää, jolla on kyky suorittaa ihmisen kaltaista älykkyyttä, kuten loogista päättelyä, oppimista ja ongelman ratkaisua vaativia tehtäviä (Morandín-Ahuerma, 2022). Tekoäly käsittää useita eri kehittyneitä teknologioita, kuten konenäkö ja koneoppiminen (Przegalinska, 2019). Järjestelmien agentit hyödyntävät tekoälyn menetelmiä, erityisesti suuria kielimalleja multimodaaliseen tiedon käsittelyyn ja oppimiseen. Niille on ominaista kyky itsenäiseen, tavoitteen ohjaamaan päätöksentekoon. Rovane (2004) määrittelee agentin yleisesti olennoksi, joka kykenee pohtimaan ja tekemään päätöksiä vaihtoehtojen välillä, arvioiden ja ottaen huomioon lopputuloksen tarkoituksenmukaisuuden. Genesereth ja Ketchpel (1994) taas määrittelevät ohjelmistoagentit tietokoneohjelmiksi, jotka vuorovaikuttavat toisten ohjelmien ja järjestelmien kanssa sekä pystyvät tekemään päätöksiä ja toimimaan ympäristössään havaintojensa perusteella. Nämä määritelmät kuvastavat hyvin myös tekoälyagentteja.

Terveydenhuollon alalla merkittävästi toimintaa muuttavat kliinisen päätöksenteon tukijärjestelmät, ja niitä on kehitetty jo ennen tekoälyn hyödyntämistä. Tällä hetkellä ne avustavat klinikoita päätöksenteossa perustuen joko tietämuskantaan ja algoritmisiin sääntöihin tai koneoppimismenetelmiin. (Sutton ym., 2020.) Kliinikolla viitataan lääketieteen harjoittajaan, kuten lääkäriin tai hoitajaan. Tekoälyn laajamittainen käyttö terveydenhuollossa voisikin hyvin alkaa juuri tällaisista järjestelmistä, koska niitä ei ole tarkoitettu korvaamaan ihmistä vaan avustamaan heitä. Näin tekoälyn käyttöönotto voisi kohdata vähemmän vastarintaa. Kielimallien perusteella toimiva tekoäly kykenee dynaamisesti yhdistelemään potilastietoja, kliinisiä ohjesääntöjä ja lääketieteelliseen kirjallisuuteen pohjautuvaa tietoa (Teo ym., 2025). Tämä mahdollistaa agenteille kyvyn kontekstisidonnaiseen ja mukautuvaan päättelyyn. Koordinoiduissa monen agentin järjestelmissä ne voivat jakaantua erikoistuneisiin rooleihin, kuten todisteiden hankkiminen, riskien ennustaminen ja hoidon optimointi. Tällöin järjestelmä voi parantaa tarkkuutta ja vähentää lääkäreiden työmäärää. (Karunanayake, 2025.) Näiden järjestelmien käyttöönottoon liittyy kuitenkin vielä haasteita. Suuriin kielimalleihin perustuvat generatiiviset mallit ovat esimerkiksi edelleen alttiita hallusinoimaan. (Handler ym., 2025.)

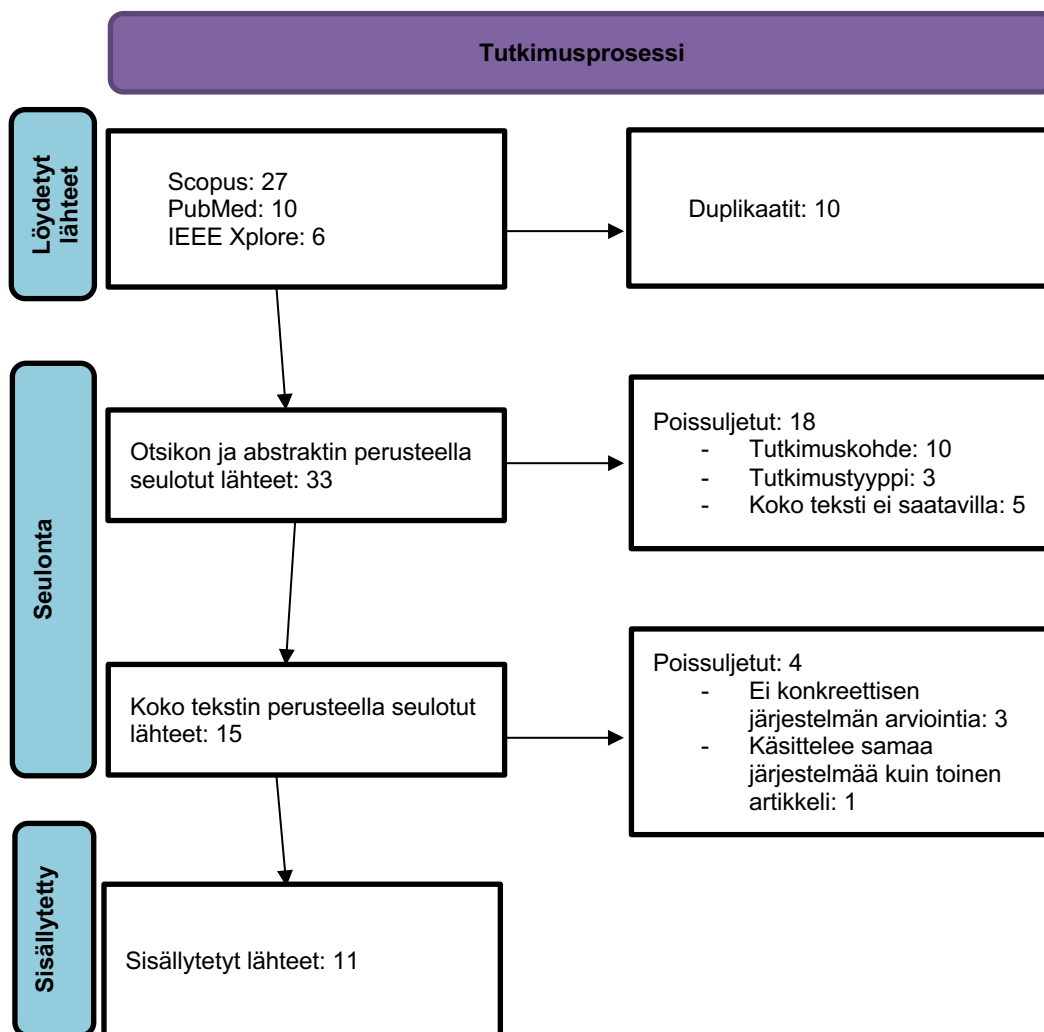
Tämä tutkimus keskittyy agenttisten tekoälyjärjestelmien ja kliinisen päätöksenteon tukijärjestelmien yhdistämiseen. Tavoitteena on tutkia sitä, mihin käyttötarkoituksiin ja miten, moniagenttijärjestelmiä voidaan käyttää kliinisen päätöksenteon tukijärjestelmissä, mitä hyötyjä tämä tuo ihmisiin ja yksittäisiin tekoälymalleihin perustuviin ratkaisuihin nähden sekä mitä haasteita käytännön toteutuksiin liittyy. Tässä tavoitteessa työtä ohjaavat seuraavat tutkimuskysymykset:

- TK1: Miten tekoälyagenttijärjestelmiä käytetään kliinisen päätöksenteon tukijärjestelmissä?
- TK2: Mitä hyötyä on tekoälyagenttijärjestelmien käytössä kliinisen päätöksenteon tukijärjestelmissä?
- TK3: Mitkä ovat tekoälyagenttijärjestelmien käytön rajoitukset kliinisen päätöksenteon tukijärjestelmissä?

Näihin kysymyksiin haetaan vastauksia perehtymällä lähdeaineistoon tekoälyagenteista, moniagenttijärjestelmistä ja KPT:stä erikseen sekä keräämällä systemaattisesti tutkimusaineistoksi kirjallisuutta, joissa näiden yhdistämistä on käsitelty. Lähdeaineisto moniagenttijärjestelmien perusteista on haettu Google Scholarista käyttäen hakusanoja ”AI agent”, ”Multi-Agent System” ja ”Agentic AI” sekä näiden hakusanojen eri muotoja ja yhdistelmiä muiden sanojen kanssa. KPT:stä kertova lähdeaineisto on haettu myös Google Scholarista käyttäen hakusanaa ”Clinical Decision Support System” sekä sanan eri muotoja ja yhdistelmiä muiden sanojen kanssa. Hakujen tuloksista valittiin otsikon ja abstraktin perusteella paperit, jotka käsitelivät aihetta. Niiden joukosta valittiin paperit, joita oli viitattu eniten. Lisäksi kumpaakin peruskäsitettä käsitteleviä artikkeleita on haettu Elicit tekoälysovelluksella, jolta on mahdollista kysyä kysymyksiä, joiden perusteella se etsii 125 miljoonasta artikkelista mielestään parhaiten kysymykseen vastaavat artikkelit.

Kysymyksiin vastataan tieteellisten tutkimusten perusteella, joissa on luotu, tutkittu ja/tai arvioitu jokin konkreettinen moniagenttinen KPT. Tutkimusaineisto on haettu tietokannoista Scopus, PubMed ja IEEE Xplore, koska Scopuksesta löytyy poikkitieteellisiä -, PubMedista lääketieteellisiä - ja IEEE Xploresta teknillisiä lähteitä. Haku suoritettiin hakusanoista ”Agentic AI”, ”Multi-Agent system” ja ”Clinical Decision Support System” sekä niiden eri muodoista koostuvasta kombinatorisesta hakulausekkeesta: ”(“agentic AI” OR “multi-agent system*” OR “multiagent system*” OR “MAS”) AND (“clinical decision support” OR “clinical decision

support system*” OR CDSS)”. Tällä pyrittiin löytämään kaikki artikkelit, joissa moniagenttijärjestelmiä ja KPT:tä on käsitelty yhdessä. Tarkasteluun sisällytettiin ainoastaan vuoden 2023 jälkeen julkaistut artikkelit, jotta tarkasteluun tulisi ainoastaan viimeisintä tekoälyteknologiaa hyödyntävistä agenttisista järjestelmistä rakentuvia KPT:ä. Tutkimusprosessi on havainnollistettu alla olevassa PRISMA-kaaviossa (kuva 1).



Kuva 1: PRISMA kaavio tutkimusprosessista

Tuloksia löytyi 43, joista 10 oli duplikaatteja. 33 artikkelia arvioitiin otsikon ja abstraktin perusteella, joista hylättiin lähteet, jotka eivät käsitelleet agenttista tekoälyä vaan perinteisempiä tekoälyn menetelmiä, tai ei tekoälyä ollenkaan, lähteet, jotka eivät käsitelleet kliinisen päätöksenteon tukijärjestelmiä, lähteet, jotka eivät olleet yksittäisiä artikkeleita tai koko artikkeli ei ollut saatavilla. Otsikon ja abstraktin perusteella hylättiin 18 lähdetä. Koko tekstin tarkasteluun sisällytettiin 15 lähdetä, joista hylättiin yhteensä neljä (4). Kolme (3) sillä perusteella, että ne käsitelivät moniagenttisia KPT:ä ainoastaan käsitteellisellä tasolla,

esittämättä ja arvioimatta konkreettista moniagentti järjestelmää. Yksi (1) sillä perusteella, että se käsitteli saman järjestelmän aiempaa versiota kuin toinen sisällytetyistä lähteistä. Tutkimukseen sisällytetyistä 11:sta artikkeleista poimittiin ja eriteltiin tiedot moniagenttijärjestelmien lääketieteellisestä käyttökohteesta, teknisestä toteutuksesta ja mainituista hyödyistä sekä rajoitteista. TK1 vastaamista varten selvitettiin mihin käyttötarkoituksiin KPT:issä moniagenttijärjestelmää on käytetty sekä millaisin roolein ja erityisin teknologioin agentit toimivat ja on järjestetty. TK2:ta ja TK3:a varten eriteltiin mainitut hyödyt ja rajoitteet. Eritellyt tiedot esitetään taulukkomuodossa liitteessä 1.

2 Tekoälyagenttijärjestelmät

Tekoälyagenttijärjestelmät (engl. Agentic AI) ovat kehittyvä teknologia, jolla on valtava potentiaali avata tekoälyn hyödyntämiselle uusia mahdollisuuksia, liiketoimintaa, yhteiskuntaa ja terveydenhuoltoa tehostaen (Murugesan, 2025). Tässä luvussa määritellään aluksi se, mitä tekoäly on. Tämän jälkeen perehdytään ensin yksittäisiin tekoälyagentteihin (engl. AI agent) ja niiden toimintaan ja sitten useamman tällaisen agentin yhteistyöhön perustuviin moniagenttijärjestelmiin (engl. Multi-Agent System), jotka muodostavat agenttisen tekoälyn.

2.1 Tekoäly

Filosofisesta näkökulmasta tekoäly tarkoittaa nimensä mukaisesti konetta tai tietojärjestelmää, joka pyrkii matkimaan ihmisen älykkyyttä, jotta se voisi suorittaa jonkin tehtävän, jonka suorittaminen ihmiseltä vaatii loogista päättelyä, oppimiskykyä tai ongelmaratkaisutaitoja. Nykyiset tekoälyn toteutukset on tuotettu koneoppimismenetelmien avulla, jotka mahdollistavat koneen toimimisen autonomisesti, matkien ihmisen kognitiota. Kehitettyjen järjestelmien ns. älykkyys vaihtelee järjestelmittäin riippuen kognitiivisesta kapasiteetista. Heikko tekoäly pystyy toteuttamaan tietyn suoraviivaisen tehtävän, kun taas tavoiteltu yleistekoäly pystyisi päihittämään ihmisen myös monimutkaisissa laajaa kognitiota vaativissa tehtävissä. (Morandín-Ahuerma, 2022.)

Teknologisena käsitteenä tekoäly toimii sateenvarjoterminä usealle teknologialle. Se käsittää laajan skaalan laskennallisia teknologioita, jotka mahdollistavat koneiden ympäristön havainnoinnin, oppimisen, päättelyn ja ihmisen kaltaisen toiminnan. Tällaisia teknologioita ovat esimerkiksi koneoppiminen, konenäkö, luonnollisen kielen prosessointi, robotiikka ja kognitiivinen laskenta. Kehittyneemmissä ratkaisuissa näitä teknologioita yhdistellään, jotta ongelma voidaan määrittää ja ratkaista. Tekoäly on myös yksi tietojenkäsittelytieteen tutkimushaara, jossa keskitytään kehittämään järjestelmiä, jotka pystyvät ratkaisemaan älyllistä toimintaa vaativia tehtäviä. Ala on vuosien saatossa kehittynyt ja nykyään tavanomaisena laskentana pidetyt menetelmät on aiemmin nähty itse tekoälynä. (Przegalinska, 2019)

Hiljattain yleisölle julkaistujen chattipohjaisten palvelujen ansiosta nykyään tekoälyn mielletään olevan sitä, mitä generatiivinen tekoäly on. Sillä tarkoitetaan järjestelmää, joka pystyy itsenäisesti tuottamaan sisältöä, kuten teksti, kuva, video tai ääni, olemassa olevan datan perusteella oppimiansa johdonmukaisuuksien ansiosta. Nykyiset generatiivisen tekoälyn järjestelmät perustuvat kehittyneisiin rakenteisiin, kuten muuntimiin ja diffuusiomalleihin.

Erityisesti muuntimiin perustuvat suuret kielimallit edustavat alan huippua. Ne mahdollistavat sovelluksia, kuten luonnollisen kielen ymmärtämisen, luovan sisällöntuotannon, kuvageneroinnin ja lääketieteellisen diagnostiikan. Älykkään toiminnan mukailemisesta on päästy pisteeseen, jossa tekoälylle on ominaista luovuus, generatiivisuus ja sopeutumiskyky, jotka mahdollistavat uuden tiedon ja sisällön tuottamisen eri aloilla, samalla kuitenkin herättäen uusia eettisiä ja yhteiskunnallisia kysymyksiä. (Sengar ym., 2024.)

2.2 Tekoälyagentit

Tekoälyagentti on itsenäisesti toimiva laskennallinen järjestelmä, joka ilman ihmisen osallistumista pystyy havainnoimaan ympäristöään, tekemään päätöksiä ja toteuttamaan toimenpiteitä pyrkiessään saavuttamaan tietyn tavoitteen. Tekoälyagentit omaavat kolme pääominaisuutta: ympäristön havainnointi dataa vastaanottamalla, itsenäinen päättely ja kyky toimia määritellyssä toimintaympäristössä. (Gadde, 2025.) Käytännössä nämä kyvyt antavat tekoälyagentille mahdollisuuden olla vuorovaikutuksessa ympäristönsä kanssa ja reagoida tavalla, joka vastaa ennalta määrättyjä tavoitteita. (Vijayan, 2024.) Tekoälyn kehitys on tekoälyagenttien synnyn myötä edennyt keskeiseen vaiheeseen. Ne mahdollistavat järjestelmille entistä enemmän itsenäisyyttä ja mukautuvuutta. Toisin kuin perinteiset automaatiotyökalut, tekoälyagenttien toimintaa eivät rajoita tiukasti ennalta määritellyt ohjeet, vaan ne pystyvät havainnoimaan, päättämään ja toimimaan muuttuvissa ympäristöissä. Tekoälyagentit hyödyntävät kehittyneitä tekoälyn menetelmiä, kuten koneoppimista, luonnollisen kielen käsittelyä ja päätöksentekokehyksiä. Näiden teknologioiden avulla ne pystyvät ratkaisemaan monimutkaisempia ongelmia eri toimialoilla, kuten terveydenhuollossa. (Gadde, 2025; Kota, 2025; Vijayan, 2024.)

Tekoälyagentit eroavat merkittävästi perinteisistä virtuaaliapulaista tai sääntöpohjaisista ohjelmista. Virtuaaliapulainen vaatii selkeitä komentoja jokaisen yksittäisen tehtävän suorittamiseen, mutta tekoälyagentti pystyy itsenäisesti suunnittelemaan ja toteuttamaan monivaiheisia tehtäviä, kuten tekemään matkasuunnitelman, varaamaan matkan ja sopeutumaan kontekstuaalisiin muutoksiin prosessin varrella. (Kota, 2025.) Tekoälyagenttien itsenäisyys ei ole täydellistä, mutta se on osoitus niiden kyvystä toimia ilman jatkuvaa valvontaa, oppia vuorovaikutuksesta ja mukauttaa käyttäytymistään. Näin tekoälyagentit edustavat siirtymää passiivisista, ainoastaan komentoihin reagoivista järjestelmistä, kohti proaktiivisia ja mukautuvia kokonaisuuksia, jotka toimivat yhteistyökumppaneina ihmisten ja organisaatioiden työkuluissa. (Gadde, 2025; Kota, 2025; Vijayan, 2024.)

Eri tutkimukset osoittavat, että tekoölyagenteilla on keskeisiä ominaisuuksia, jotka erottavat ne perinteisistä ohjelmistoista. Vaikka näiden ominaisuuksien nimeäminen ja korostus tutkimusten välillä vaihtelee, seuraavat tekoölyn agenttisuuden perusteet on esitetty sekä Gadden (2025), Kotan (2025), Kasirzadeh & Gabrielin (2025) että Krishnanin (2025) tutkimuksissa. Nämä perusteet ovat itsenäisyys, reaktiokyky, ennakoitukyky ja vuorovaikutuskyky.

- **Itsenäisyys** on keskeinen ominaisuus. Tekoölyagentit pystyvät toimimaan ilman jatkuvaa ihmisen ohjausta. Ne tekevät päätöksiä ja suorittavat tehtäviä käyttäjien puolesta. Juuri tämä erottaa ne virtuaaliapulaisista tai tarkasti määritellyistä algoritmeista. (Kota, 2025; Krishnan, 2025) Nykyisten tekoölyagenttien itsenäisyys ei kuitenkaan ole vielä niin kehittynyttä, että ne pärjäisivät täysin ilman ihmisen ohjausta. (Kasirzadeh & Gabriel, 2025)
- **Reaktiokyky** viittaa tekoölyagenttien mahdollisuuteen havainnoida muuttuvaa ympäristöään ja reagoida sen muutoksiin (Krishnan, 2025). Reaktiokyvyn käytännön toteuttaminen on kuitenkin vielä kehitteillä, sillä nykyiset tekoölyagentit kamppailevat vielä pitkäkestoisen kontekstin hallinnan ja luotettavan päättelyn kanssa muuttuvissa olosuhteissa (Kasirzadeh & Gabriel, 2025).
- **Ennakointikyky** tarkoittaa, että tekoölyagentit eivät pelkästään reagoi havaintoihinsa, vaan toimivat aloitteellisesti tavoitellessaan päämääräänsä. Tämä ominaisuus erottaa tekoölyagentit myös ainoastaan reaktiokyvykkäistä chattiboteista (Kota, 2025; Krishnan, 2025). Tekoölyagentit pystyvät itsenäisesti jakamaan korkeantason tavoitteen pienemmiksi suoritettaviksi alatehtäviksi (Gadde, 2025). Heikko päättelykyky tekee tästä ominaisuudesta riskialttiin (Kasirzadeh & Gabriel, 2025).
- **Vuorovaikutuskyky** mahdollistaa kanssakäymisen ihmisten, toisten tekoölyagenttien tai järjestelmien kanssa. Se on olennainen ominaisuus, jotta tekoölyagentti kykenee yhteistyöhön muiden kanssa, esimerkiksi toimiessaan osana yhtiön työkulkua (Gadde, 2025; Krishnan, 2025). Kyky vuorovaikuttaa muiden järjestelmien kanssa herättää ongelmia luottamuksen ja avoimuuden suhteen (Kasirzadeh & Gabriel, 2025).

Nämä neljä ominaisuutta määrittävät tekoölyagenttien olemuksen. Kirjallisuus on yhtä mieltä niiden tärkeydestä, mutta myöntää, että nykyisillä teknisillä ratkaisuilla nämä ihanteet toteutuvat vain osittain.

Kirjallisuudessa luetellaan erityyppisiä tekoälyagentteja. Ne luokitellaan sen mukaan, kuinka ne käsittelevät tietoa ja pyrkivät tavoitteisiinsa. Vaikka sanasto tässäkin hieman vaihtelee, Bharti (2025) ja Vijayan (2024) molemmat kuvaavat tyyppien olevan jotain perinteisten sääntöpohjaisten järjestelmien ja edistyneiden tavoite- ja hyötyperusteisten arkkitehtuurien väliltä. **Refleksiagentit** ovat tekoälyagenttien perusmuoto. Ne toimivat suorien ehto-toimintosääntöjen perusteella ilman sisäistä mallia ympäristöstä. Tällaiset tekoälyagentit ovat tehokkaita hyvin jäsennellyissä ja ennustettavissa olosuhteissa, mutta eivät pysty sopeutumaan epävarmuuteen tai muuttuviin olosuhteisiin. **Mallipohjaiset agentit** luovat hahmotelman toimintaympäristöstään. Siten ne pystyvät toimimaan osittain havaittavissa olevissa ympäristöissä päättämällä puuttuvia tietoja ja tekemään päätöksiä asiayhteyden huomioiden. (Vijayan, 2024.) **Muistipohjaiset agentit** hyödyntävät muistin eri muotoja. Ne käyttävät sekä deklarativisen että proseduraalisen muistin tietoja, mikä mahdollistaa kokemukseen perustuvan loogisen päättelyn. Tämä mahdollistaa paremman päätöksenteon, mutta lisää arkkitehtuurin monimutkaisuutta.

Kehittyneemmillä agenttityypeillä korostuvat tavoitteellisuus, optimointi ja mukautuvuus. **Tavoitepohjaisilla agenteilla** on lisäksi suunnittelukyky. Ne voivat mallintaa tavoitteita ja jakaa ne osatavoitteiksi, joiden saavuttamiseksi ne voivat luoda strategioita. Harkintakykynsä ansiosta ne voivat ratkaista monimutkaisia ongelmia, joille on olemassa useampia onnistumiseen johtavia ratkaisuja. **Hyötypohjaiset agentit** vertaavat mahdollisia lopputuloksia määriteltyihin mieltymysmalleihin (engl. preference model). Hyötyfunktioita käyttäen ne voivat punnita eri valintojen hyvyttä ja tehdä optimaalisen ratkaisun tilanteissa, joissa on useampi tavoiteltuun lopputulokseen päättyvä ratkaisu. Niiden vahvuus on monikriteeristen päätösten käsittelyssä, vaikkakin ehdottoman hyvien hyötyfunktioiden määrittely on hankalaa. (Bharti, 2025.) **Oppivat agentit** pystyvät mukautumaan datan ja ympäristönsä kanssa käymänsä vuorovaikutuksen perusteella. Toisin kuin sääntöpohjaiset järjestelmät, ne hiovat strategioitaan ja parantavat suorituskykyään jatkuvasti. **Arvoasteiset agentit** hallinnoivat muiden agenttien toimintaa järjestelmissä, missä useampi agentti toimii yhteistyössä. Tämä mahdollistaa työn jakamisen laajoissa järjestelmissä. (Vijayan, 2024) Moderneissa käytännön tekoälyagenttitoteutuksissa näitä tyyppisiä yhdistellään, jotta saataisiin tavoitellut toiminnallisuudet (Bharti, 2025; Vijayan, 2024).

Yksittäiset tekoälyagentit ovat itsenäisiä ohjelmistoja, jotka on suunniteltu toteuttamaan tiettyä hyvin määriteltyä tehtävää. Niiden hahmotus- ja päättelykyky perustuvat pitkälti suuriin kieli- ja kuvantunnistusrakenteisiin. Yhdistettynä ulkoisiin työkaluihin, ne voivat suorittaa niille

annettuja tehtäviä. Niiden autonomia ja toiminta on rajattu tiettyyn kontekstiin. Ne ovat usein toteutettu modulaarisen arkkitehtuurin muodossa. (Sapkota ym., 2025.)

Kehitys yksittäisistä tekoälyagenteista moniagenttijärjestelmiin edustaa suurta harppausta älykkäiden järjestelmien saralla. Sen sijaan että agentit toimisivat eristettyinä yksikköinä, moniagenttijärjestelmät muodostuvat usean erikoistuneen agentin yhteistyöstä. Nämä järjestelmät pilkkovat tavoitteen pienempiin alatavoitteisiin sekä kommunikoivat ja jakavat tehtävät agenttien välillä. Niillä on myös yhteinen jaettu muisti. Näin ne pystyvät hallitsemaan monimutkaisia, monivaiheisia tehtäviä muuttuvissa ympäristöissä. Tyypillisiä sovelluskohteita ovat mm. tutkimuksen automatisointi, robottien hallinta ja lääketieteellisen päätöksenteon tuki, joissa hajautettu älykkyys ja mukautuva yhteistyö ovat oleellisia. (Hughes ym., 2025; Sapkota ym., 2025.) Yksittäisen tekoälyagentin ja moniagenttijärjestelmän ero ei ole pelkästään tekninen, vaan myös organisatorinen. Tekoälyagentit ovat tehokkaita pienentämään ihmisten työtaakkaa automatisoimalla yksittäisiä tehtäviä, kun taas moniagenttijärjestelmät mahdollistavat korkeamman tason organisatorisia muutoksia. (Hughes ym., 2025.)

Tekoälyagenttien ja moniagenttijärjestelmien vertailu korostaa tärkeää kehityssuuntaa tekoälyn saralla. Tekoälyagentit parantavat generatiivisten järjestelmien hyödyntämistä ottamalla mukaan ulkoisia työkaluja, mutta moniagenttijärjestelmät mahdollistavat vielä mutkikkaampien tehtävien automatisoinnin hyödyntämällä tekoälyagenttien yhteistyötä. Tekoälyagentit ovat moniagenttijärjestelmien perusta. Kehitys merkitsee siirtymistä modulaarisista tehtävien automaatioista järjestäytyneeseen järjestelmätason älykkyyteen.

2.3 Moniagenttijärjestelmät

Moniagenttijärjestelmät koostuvat useasta itsenäisestä tekoälyagentista, jotka havainnoivat, päättävät ja toimivat sekä erillään toisistaan että yhteistyössä saavuttaakseen monimutkaisia tavoitteita. Bottin (2025) mukaan moniagenttijärjestelmät ovat: *”kokoelma itsenäisiä agenteja, jotka vuorovaikuttavat yhteisessä ympäristössä, mahdollisesti yhteistyössä tai kilpaillen, vaatien yhteydenpito- ja koordinoitimekanismeja”*. Tutkimuksissa käsitteitä moniagenttijärjestelmä (engl. multi-agent system) ja agenttinen tekoäly (engl. agentic AI) käytetään päällekkäin, vaikka niillä tarkoitetaan samaa asiaa (Botti, 2025). Lin ym. (2024) mukaan moniagenttijärjestelmät koostuvat useammasta yksittäisestä, keskenään kommunikoivasta tekoälyagentista. Sapkota ym. (2025) taas määrittelee agenttisen tekoälyn koostuvan erikoistuneista tekoälyagenteista, jotka tekevät yhteistyötä saavuttaakseen tavoitteen. Agenttinen tekoäly on vasta viimevuosina kehittynyt termi, mutta termi

moniagenttijärjestelmä on ollut käytössä jo 90-luvun lopusta lähtien. Kirjallisuudessa agenttisesta tekoälystä puhutaan, kun viitataan moniagenttijärjestelmiin, joissa käytetään myöhemmin kehittyneitä teknologioita, kuten suuria kielimalleja ja vahvistavaa oppimista (engl. reinforcement learning). Tässä tutkielmassa käytetään termiä moniagenttijärjestelmä, vaikka viitattaisiinkin lähteeseen, jossa on käytetty termiä agenttinen tekoäly. Puhuttaessa moniagenttijärjestelmistä, viitataan moderneihin viimeisintä teknologiaa hyödyntäviin tekoälyagenttijärjestelmiin. Viimeaikaiset tutkimukset vahvistavat, että agenttinen tekoäly ulottuu yksittäisiä tekoälyagentteja pidemmälle yhdistämällä itsenäisyyden, mukautuvuuden ja tavoitteen ohjaaman päättelyn hajautetuiksi ja vuorovaikutteisiksi kokonaisuuksiksi (Acharya ym., 2025).

Moniagenttijärjestelmien arkkitehtuuri perustuu yksittäisten agenttien järjestämiseen sekä mekanismeihin, joilla ne havainnoivat, päättelevät ja vuorovaikuttavat. Lin ym. (2024) mukaan moniagenttijärjestelmät koostuvat viidestä toisistaan riippuvaisesta moduulista, jotka ovat profiili, havaintokyky, itsetoiminta, keskinäinen vuorovaikutus ja kehitys. **Profiili** määrittää yksittäisten agenttien roolin ja luonteenomaiset tunnuspiirteet, jotta heterogeeniset (esim. opettaja/oppilas) agentit voivat erikoistua ja tehdä yhteistyötä tehokkaasti tavoitteen ja käyttötarkoituksen huomioiden. **Havaintokyky** mahdollistaa järjestelmän vastaanottaa ja muuntaa syötteen (esim. teksti, kuva tai ääni) jäsennellyksi tiedoksi multimodaalisten suurien kielimallien avulla. **Itsetoiminta** yhdistää tehdyt havainnot muistin ja tiedonhaun kanssa, joka mahdollistaa niiden päättelyn, suunnittelun ja päätöksenteon. **Keskinäinen vuorovaikutus** muodostuu agenttien välisistä viestiprotokollista (esim. viestinvälitys, mustataulu (engl. blackboard) tai vuoropuhelu) ja organisointirakenteista (esim. keskitetty, hajautettu tai hierarkkinen). Se mahdollistaa tiedon jakamisen, suunnitelmien koordinoinnin ja neuvottelun. Skenaariosta riippuen se voi tapahtua yhteistyössä tai kilpaillen. **Kehitys** merkitsee, että agentit oppivat jatkuvasti ympäristöltään, muilta agenteilta tai ihmisiltä saamansa palautteen tai vastineen avulla. Ne mukauttavat tietojaan, muistiaan, strategiaansa ja jopa profiiliaan eri oppimismenetelmien avulla. (Li ym., 2024.)

Samaan tapaan Bandi ym. (2025) luettelee moniagenttijärjestelmien keskeisiksi komponenteiksi havainnointi ja maailman mallinnus; muisti; suunnittelu, päättely ja tavoitteiden jakaminen osiin; suoritus ja aktivaatio, reflektio ja arviointi; viestintä, orkestrointi ja itsenäisyys. Lisäksi he kertovat, että nämä avainosat on yleensä järjestetty jonkun seuraavan viiden arkkitehtuurisen mallin mukaan:

- **ReAct malli**, jossa yksittäinen agentti päätelee ja toimii silmukassa.
- **Valvoja/arvopohjainen malli**, jossa on keskitetty orkestroija suunnittelemassa ja jakamassa tehtävät.
- **Hybridi reaktiivinen-neuvotteleva malli**, jossa on nopea reaktiivinen silmukka välittömiä reaktioita varten, hitaampi suunnittelusilmukka pitkän aikavälin tavoitteita varten sekä nämä tasapainottava välittäjä.
- **Usko-halu-tarkoitus malli**, joka kuvaa agenttien mielentilaa selitettävyyden ja tavoitteisiin sitoutumisen tueksi.
- **Kerroksittainen neurosymbolinen malli**, joka yhdistää neurohavainnoinnin ja todennäköisyyspäättelyn symboliseen suunnitteluun ja arviointiin.

Näillä arkkitehtuurisilla malleilla on omat hyvät ja huonot puolensa liittyen niiden skaalautuvuuteen, kestävytyteen ja koordinaation tehokkuuteen. Tiivistetysti voidaan todeta, että moniagenttijärjestelmissä yhdistyvät toiminnalliset kerrokset ja yhteistyömenetelmät, joiden ansiosta ne voivat ratkoa todellisen maailman ongelmia. Luetellut moniagenttijärjestelmän moduulit mahdollistavat niille tavoitteiden jakamisen osiin, monivaiheisen päättelyn, strategian luomisen, asiayhteyden ymmärtämisen, iteratiivisen kehittymisen ja tilanteisiin mukautumisen (Bandi ym., 2025). Erityisen tärkeä on vuorovaikutuskyky, joka mahdollistaa agenttien välisen kommunikaation. Orkestrointikerros varmistaa, että agenttien toiminta on linjassa yhteisen tavoitteen kanssa. Lisäksi agentit pystyvät hyödyntämään ulkoisia työkaluja ohjelmointirajapintojen avulla tai jopa ohjaamaan fyysisiä laitteita. (Li ym., 2024.)

Moniagenttijärjestelmiä voidaan hyödyntää useilla eri aloilla, joilla työnkuluissa vaaditaan mukautuvuutta ja monitavoitepäättelyä. Ne sopivat hajaantuneisiin ympäristöihin, joissa agenttien yhteistyö mahdollistaa reagoimisen arvaamattomissakin tilanteissa. Acharya ym. (2025) mainitsevat, että moniagenttijärjestelmät voivat mullistaa terveydenhuolto-, rahoitus-, koulutus- ja teollisuusaloja. Bandi ym. (2025) tarjoavat vielä pidemmän listan sovellusaloja lisäten sotilas-, kuljetus-, ohjelmisto-, turismi-, vähittäismyynti-, energia- ja julkishallintoalat. Terveydenhuollossa moniagenttijärjestelmät voivat auttaa terveydenhuollon ammattilaisia päätöksenteossa monitoroimalla elintoimintoja, tekemällä diagnooseja sekä hoitosuunnitelmia koordinoitusti (Sapkota ym., 2025). Alalla on jo käytössä moniagenttijärjestelmiä, esimerkiksi personoidun digitaalisen kuntovalmentajan muodossa. Järjestelmässä konenäkö tulkitsee

henkilön asentoja, orkestroija agentti koordinoi palautteenantaja- ja suositustenantaja-agentteja ja kielimalli tarjoaa analyysin ja ohjeet käyttäjälle. (Vahdati ym., 2025.)

Moniagenttijärjestelmät voivat tarjota hyötyjä useilla eri aloilla, sillä niiden avulla voidaan automatisoida ja tehostaa erilaisia monimutkaisia prosesseja, jotka vaativat päättelykykyä, muistin ja tietojen hallintaa sekä yhteistyökykyä. Takuuvarmasti ja luotettavasti toimivien moniagenttijärjestelmien luomisessa on kuitenkin vielä haasteita. Agenttien välinen koordinointi lisää mutkikkuutta ja luo mahdollisuuden pullonkaulojen ja epävakauden synnylle. Lisäksi agenttien yhdistäminen ulkoisiin työkaluihin tai laitteisiin lisää haasteita. (Bandi ym., 2025.) Moniagenttijärjestelmät ovat alttiita tekemään virheitä suunnitteluvaiheessa ja ovat riippuvaisia ihmisten määrittelemistä tavoitteista, eivätkä ne suoriudu vaaditulla tasolla pitkäkestoisissa tehtävissä. Niiden toimintaan liittyy myös eettisyyteen ja turvallisuuteen vaikuttavia seikkoja erityisesti aloilla, joilla järjestelmälle annettaisiin tehtäviä, joissa on korkeat panokset ja suuri vastuu. Kielimallien ongelmat hallusinaation, puolueellisuuden ja läpinäkyvyyden osalta sekä selitettävyyden puute seuraavat niitä myös tekoälyagentteihin. (Li ym., 2024.) Vaikka moniagenttijärjestelmillä on valtava potentiaali, on tekniset, eettiset ja hallintotapaan liittyvät ongelmat ratkaistava ennen kuin ne voivat todella mullistaa yhteiskuntaamme.

Moniagenttijärjestelmät pystyvät yksittäisiä tekoälyagentteja paremmin kohtaamaan monimutkaisia ja dynaamisia ongelmia niiden yhteisöllisen ja mukautuvan arkkitehtuurin ansiosta. Niiden havainnointikyky, muisti, suunnitelmallisuus, kommunikointikyky sekä itsereflektiomodulit mahdollistavat pääominaisuudet: tavoitteen pilkkominen, agenttien välinen koordinointi sekä vuorovaikutteinen työkalujen käyttö. Niille löytyy monipuolisesti käyttökohteita eri toimialoilta, mutta niiden käyttöönottoon liittyy vielä teknisiä ja eettisiä haasteita. Niiden potentiaaliset hyödyt tekevät niistä kuitenkin kiinnostavan tutkimuskohteen.

3 Kliinisen päätöksenteon tukijärjestelmät

Kliinisen päätöksenteon tukijärjestelmillä (KPT) tarkoitetaan mitä tahansa interaktiivista tietokoneohjelmistoa, jonka tarkoitus on auttaa tekemään yksittäisiä potilaita koskevia kliinisiä päätöksiä heidän ollessaan hoidettavana (O'Sullivan ym., 2014). Ensimmäiset laskennalliset kliinisen päätöksenteon tukijärjestelmät kehitettiin 1970-luvulla. Siitä lähtien ne ovat kehittyneet nopeasti ja 2010-luvulla ne on otettu laajalti käyttöön terveydenhuollossa. (Sutton ym., 2020.) Tämä voi olla seurausta Institute of Medicinen vuonna 2000 julkaisemassa raportissa antamasta suosituksesta ottaa käyttöön informaatioteknologiset järjestelmät tukemaan päätöksentekoa, jotta virheet lääketieteen harjoittamisessa vähenisivät. Raportti antoi jo silloin esimerkkejä onnistuneista käytännön toteutuksista. (Institute of Medicine (US) Committee on Quality of Health Care in America, 2000.)

Tässä luvussa tutustutaan KPT:en määrittelyyn, toiminnallisuuksiin, käyttöön ja ongelmiin tarkemmin. Ensimmäisessä alaluvussa esitellään niiden toiminta ja käyttötarkoitukset. Toisessa alaluvussa perehdytään käyttöönottoon liittyviin teknisiin, inhimillisiin ja lainsäädännöllisiin haasteisiin.

3.1 Luokittelu ja rakenne

KPT:t ovat tietojärjestelmiä, joiden tarkoitus on tehostaa kliinistä päätöksentekoa avustamalla klinikoita potilastietojen ja lääketieteellisen tietouden yhdistelmän perusteella (Berner & La Lande, 2016; O'Sullivan ym., 2014). Yleisesti kliininen päätöksenteko on monivaiheinen ja tapauskohtainen prosessi. Sen aikana informaatiota käsitellään, todistusaineistoa arvioidaan ja tietoutta sovelletaan, jotta voidaan valita tarkoituksenmukainen potilaan haittaa vähentävä hoitokeino (Miller ym., 2020). Niillä on tärkeä rooli pyrkimyksissä parantaa terveydenhuollon laatua ja turvallisuutta. Ne voivat mm. parantaa diagnoosien tarkkuutta tai hoidon suunnittelua. Niiden merkitys on kasvanut erityisesti elektronisten potilastietokantojen (engl. Electronic Health Record) hyödyntämisessä. Potilastietokantoihin yhdistettynä KPT:t voivat vähentää virheitä ja edistää ohjesääntöjen noudattamista. (Berner & La Lande, 2016.) Nimensä mukaisesti KPT:t on tarkoitettu avustamaan ihmisiä päätöksenteossa. Vuorovaikutuksessa käyttäjän kanssa ne tarjoavat käyttäjälle älykkäästi suodatettua kliinistä tietoutta tehostaen päätöksentekoprosessia. (O'Sullivan ym., 2014.)

Yleisimmin KPT:t on jaettu kahteen luokkaan: tietämysjärjestelmät (engl. knowledge-based systems) ja epätietämysjärjestelmät (engl. non-knowledge-based systems).

Tietämysjärjestelmät käyttävät yksiselitteistä lääketieteellistä logiikkaa. Ne koostuvat kolmesta osasta, jotka ovat tietämuskanta (engl. knowledge base), päättelykone (engl. inference engine) ja kommunikaatiojärjestelmä. Tietämuskanta pitää sisällään lääketieteellisen tiedon, säännöt ja todennäköiset yhteydet. Päättelykone tekee loogista tai tilastollista päättelyä potilastietojen ja tietämuskannan tietojen perusteella. Kommunikaatiojärjestelmä esittää tulokset, kuten esimerkiksi hälytykset tai muistutukset. Potilastietojen ja tietämuskannan tietojen perusteella päättelykone toimii ”JOS-NIIN” sääntöjen tai matemaattisten mallien mukaan. (Berner & La Lande, 2016; Spooner, 2016.) **Epätietämysjärjestelmät** taas pyrkivät älykkyyteen oppimalla johdonmukaisuuksia datasta. Niissä hyödynnetään ohjatun tai ohjaamattoman koneoppimisen menetelmiä, jotta järjestelmät oppivat tulkitsemaan syy-seuraussuhteita. (Ozaydin ym., 2016.)

Wright ym. (2011) jakavat KPT:t niiden toiminnallisuuksien perusteella kuuteen pääkategoriaan, jotka ovat:

- **Lääkityksen annostelun tuki:** Järjestelmä, joka auttaa klinikoita oikean lääkeannostuksen määräämisessä tai annostelussa. Nämä ehkäisevät lääkemääräysvirheitä ja takaavat turvallisuuden varmistamalla automaattisesti, että lääkeainemääräykset ovat turvallisten ja tehokkaiden rajojen sisällä huomioon ottaen potilaan yksilölliset tiedot (esim. allergiat, muu lääkitys).
- **Määräysten mahdollistaja:** Järjestelmä, joka yksinkertaistaa ja standardoi klinisten määräysten kirjaamisprosessia. Klinikot voivat esimerkiksi käyttää ennalta määriteltyjä määräyslauseita, jotka esiintyvät usein tiettyjen oireiden yhteydessä. Näin määräyksissä on vähemmän vaihtelua ja parhaiden käytänteiden noudattaminen sekä tehokkuus paranevat.
- **Hoitopaikan hälytykset ja muistutukset:** Järjestelmä, joka antaa reaaliaikaisia ilmoituksia klinikoille potilaan ollessa hoidossa. Niiden tarkoitus on varmistaa, ettei kriittistä informaatiota tai toimia jätetä huomioimatta. Ne auttavat klinikoita noudattamaan todistusaineistoon perustuvia ohjeita ja välttämään laiminlyöntejä.
- **Olennaisten tietojen näyttö:** Järjestelmä, joka esittää viite- tai potilaskohtaiset tiedot selkeällä asiayhteyden sopivalla tavalla. Nämä auttavat päätöksenteossa jäsentämällä dataa helposti ymmärrettävään muotoon.

- **Asiantuntijajärjestelmä:** Järjestelmä, joka käyttää laskennallista logiikkaa tai algoritmeja potilaskohtaisten arvioiden tai suositusten antamiseksi. Tällaiset järjestelmät jäljittelevät klinikoiden päättelyä yhdistämällä tietoja. Näihin sisältyy mm. edistyneet diagnoosi- ja hoitoehdotuksia antavat järjestelmät.
- **Työnkulun tukija:** Järjestelmä, joka auttaa koordinoimaan ja automatisoimaan kliinisiä prosesseja. Ne on suunniteltu tehostamaan kliinistä toimintaa ja vähentämään hallinnollista taakkaa.

Nämä kategoriat kattavat KPT:t yksinkertaisemmista sääntöihin pohjautuvista järjestelmistä, kehittyneimpiin diagnostiseen päättelyyn kykeneviin järjestelmiin. Luokittelu osoittaa KPT:en moninaisuuden sekä niiden eroavaisuuden kehittyneisyydessä. (Wright ym., 2011.)

Sääntöihin perustuvat lääkeaineiden yhteisvaikutuksesta hälyttävät järjestelmät ovat esimerkki yksinkertaisemmasta KPT:stä, kun taas lopputuloksia ennustavat tai diagnoosia ehdottavat järjestelmät ovat selvästi monimutkaisempia ja hyödyntävät kehittyntä teknologiaa, kuten koneoppimista. (Berner & La Lande, 2016; O’Sullivan ym., 2014.) Yksinkertaisemmat järjestelmät voivat olla integroitu tietokoneella ylläpidettäviin määräysjärjestelmiin (engl. computerized provider order entry systems), joihin klinikot syöttävät testituloksia tai hoitomääräyksiä (Baron & Dighe, 2011). Sääntöpohjaisen logiikan ansiosta ne vähentävät näin virheitä ja edistävät turvallisuutta. Edistyneemmät järjestelmät hyödyntävät tilastollista oppimista tai neuroverkkoja tunnistaakseen johdonmukaisuuksia suurissa kliinisissä aineistoissa ja näin pystyvät matkimaan ihmisen diagnostista ajattelua. (Spooner, 2016.)

Wright ym. (2011) mukaan KPT:t jakautuvat selain- (engl. front-end) ja palvelinpuolen (engl. back-end) ulottuvuuksiin. Selainpuoli koostuu nähtävissä olevasta käyttöliittymästä ja välineistä, joiden avulla klinikot ovat vuorovaikutuksessa järjestelmän kanssa. Palvelinpuoli käsittää datasyötteen, sääntöjen prosessoinnin ja hälytysten laukaisun. (Wright ym., 2011.) Aluksi KPT:t olivat irrallisia tietokoneohjelmia, jotka vaativat kaiken datan manuaalista syöttämistä. Nykyaikaiset järjestelmät voivat olla kytkettynä elektronisiin potilastietokantoihin. Ne voivat toimia reaaliaikaisesti määräysten annon ja dokumentoinnin aikana annettujen tietojen nojalla. Jotta järjestelmiä voitaisiin hyödyntää sijainnista (engl. site) ja toimittajasta riippumatta, KPT:issä käytetään enenevässä määrin palvelukeskeistä arkkitehtuuria (engl. service oriented architecture), jotta päätöksentekologiikka, terminologia ja tietojen käyttö on yhdenmukaistettu. (Rodriguez-Loya & Kawamoto, 2016.) Palvelukeskeinen arkkitehtuuri tarkoittaa kaavaa, jolla eri toimijoiden hallinnassa olevat hajautetut toiminnot voidaan

organisoida niin, että tietotekniikka tarjoaa ratkaisuja liiketoiminnallisiin ongelmiin. Palvelut ovat näkyvillä käyttäjille standardikielen ja -protokollien välityksellä, jolloin ne vaikuttavat yksittäisiltä toiminnoilta, vaikka koostuisivatkin useasta hajautetusta toiminnosta. (Laskey & Laskey, 2009.) KPT:ille palvelukeskeinen arkkitehtuuri tarjoaa modulaarisuutta ja käyttötapauskohtaisia toiminnallisuuksia, mutta luo myös läpinäkyvyyteen ja datan rakeisuuteen liittyviä ongelmia (Rodriguez-Loya & Kawamoto, 2016).

KPT:t toimivat lääketieteellisen asiantuntemuksen, data-analytiikan ja kliinisen työnkulun virtaviivaistamisen risteyksessä. Ne eivät ole vain yksittäisiä työkaluja, vaan olennainen osa laajempaa sosio-teknistä ekosysteemiä, jonka tarkoitus on optimoida potilashoito. (Berner & La Lande, 2016)

3.2 Käyttöönoton haasteet ja sääntely

Perinteisen tietämysjärjestelmällisen KPT:n luominen vaatii perusteellisen lääketieteellisen tietämyksen omaamista. Tietämys kliinisistä ohjesäännöistä ja tutkimuksesta täytyy pystyä muuttamaan konetulkinnaiseksi logiikaksi. Logiikka ja sen toteutus täytyy vielä mukauttaa paikallisiin työnkulkuihin, teknisiin rakenteisiin ja resurssirajoitteisiin sopivaksi. Käyttökelpoisen KPT:n, joka monimutkaisessakin sosio-teknisessä ympäristössä pystyy tuottamaan lisäarvoa terveydenhuoltoon, käytännön toteutus ei siis ole yksinkertaista. Onnistunut käyttöönotto ei riipu pelkästään järjestelmän toiminnan oikeellisuudesta, vaan sen yhdistäminen muihin järjestelmiin ja prosesseihin on tärkeää. (Shiffman, 2016.)

Useat organisatoriset ja tekniset haasteet hidastavat KPT:en siirtämistä teorian tasolta käytäntöön. Merkittävä käytettävyyteen liittyvä huolenaihe on KPT:en huolimattomasta integraatiosta aiheutuvat työnkulun häiriöt. Kliinikot voivat esimerkiksi joutua syöttämään saman datan useaan kertaan, joka johtaa järjestelmän inhimillisen käyttöönoton epäonnistumiseen. Järjestelmä on pystyttävä tästä syystä yhdistämään elektronisiin potilastietokantoihin sekä määräystenkirjaamisjärjestelmiin. Vaikka järjestelmäintegraatiot olisi toteutettu onnistuneesti, hälytysten ja muistutusten toteutus voi vaikuttaa negatiivisesti käyttäjiin. Liikaa ei-kriittisiä ilmoituksia antava järjestelmä aiheuttaa käyttäjissä hälytysväsymystä (engl. alert fatigue). Tällöin he voivat alkaa ohittaa tärkeitäkin ilmoituksia, jolloin potilaan turvallisuus vaarantuu. (Gong & Kang, 2016.)

Tietämysjärjestelmällisten KPT:en käytännöllisyyden ongelma on lisäksi, että niiden tietämyksen päivittäminen lääketieteen kehittyessä on työlästä ja kallista (Kim ym., 2024).

Mahdollisesti vanhentunut sisältö tietämuskannassa vähentää käyttäjän luottamusta järjestelmään ja heikentää tehokkuutta (Sutton ym., 2020). Epätietämysjärjestelmällisten KPT:en ongelma taas on, että perustelut niiden antamille suosituksille eivät ole käyttäjien tiedossa. Tämä hankaloittaa niiden käytettävyyttä lääketieteessä, jossa varmuus ja selitettävyys ovat avain asemassa. (Kim ym., 2024.)

Lisäksi onnistuneen käyttöönoton takaamiseksi on huomioitava yleiset tietojärjestelmien käyttöönottoon liittyvät haasteet. Käyttäjät on sitoutettava järjestelmän käyttöönottoon jo sen suunnittelusta lähtien, jotta käyttöliittymä, toiminnallisuudet ja logiikka vastaavat klinisiä tarpeita. (Gong & Kang, 2016; Shiffman, 2016.) On myös pystyttävä todistamaan, että järjestelmällä on todellisia taloudellisia hyötyjä. Tällaisten järjestelmien korkeat alkuinvestoinnit ja potentiaaliset ylläpitokustannukset syövät järjestelmän investointituottoa, mikä heikentää mahdollisuuksia laajamittaiselle käyttöönotolle. (Sutton ym., 2020.)

Teknisesti ja inhimillisesti täysin onnistunutkin KPT:en käyttöönotto lääketieteen harjoittamisessa aiheuttaa haasteita eettisyyden ja lainsäädännön suhteen. Älykkäiden päätöksiä tekevien ja tukevien järjestelmien vastuun jakautuminen, tietosuoja ja moraalinen perusta herättävät huolta. (Goodman, 2016.) Mitchell ja Ploem (2018) väittävät, että Euroopassa erityisesti tekoälyn menetelmiä hyödyntävien KPT:en lainsäädännöllisiä viitekehyksiä on kehitettävä niin, että ne turvaavat potilasta. Eettisyyden näkökulmasta merkityksellistä on määrittää: kuka kantaa vastuun päätöksistä, joiden tekemisessä kone on ollut merkittävässä osassa. Vaikka KPT:t suunnitellaankin avustamaan klinikoita päätöksenteossa, niiden älykkyyden ja autonomian lisääntyessä niillä on entistä suurempi vaikutus päätökseen. Goodmanin (2016) mukaan päävastuu on klinikoilla, jotka päätöksen tekevät. Tämä täytyy ottaa huomioon tulevien järjestelmien suunnittelussa ja korostaa järjestelmien toimintojen selitettävyyttä.

Lainsäädännöllisestä näkökulmasta kysymys on mutkikkaampi, koska lääkinnällisten laitteiden sääntely määrää, että lääkinnällisten laitteiden, joihin diagnostisia tai hoidollisia ohjeita antavat järjestelmät kuuluvat, toiminta on kehittäjien ja valmistajien vastuulla. Virhe voi kuitenkin johtua järjestelmän vääränlaisen toiminnan lisäksi siitä, että käyttäjä ei käytä järjestelmää oikein. Datan käyttöön ja sen turvalliseen säilyttämiseen vaikuttaa myös tarkka lainsäädäntö, joka järjestelmissä on otettava huomioon. (Mitchell & Ploem, 2018.)

KPT:en käyttöönotto vaatii panostamista järjestelmän tekniseen tarkkuuteen, ihmislähtöiseen suunnitteluun sekä organisaation teknologiseen valmiuteen. Järjestelmän sulauttaminen

nykyisiin prosesseihin ja integraatio muihin järjestelmiin on varmistettava, jotta ne voivat todella muuttaa terveydenhuoltoalaa. KPT:en käyttöönoton eettiset ja oikeudelliset ulottuvuudet keskittyvät vastuuseen, läpinäkyvyyteen ja potilaiden suojeluun. Euroopassa järjestelmien turvallisuuteen ja tietosuojaan pyritään vaikuttamaan lainsäädännön avulla. Tämä hidastaa järjestelmien käyttöönottoa, mutta varmistaa luottamuksen säilymisen lääketieteen harjoittajiin ja heidän käyttämiin digitaalisiin välineisiin.

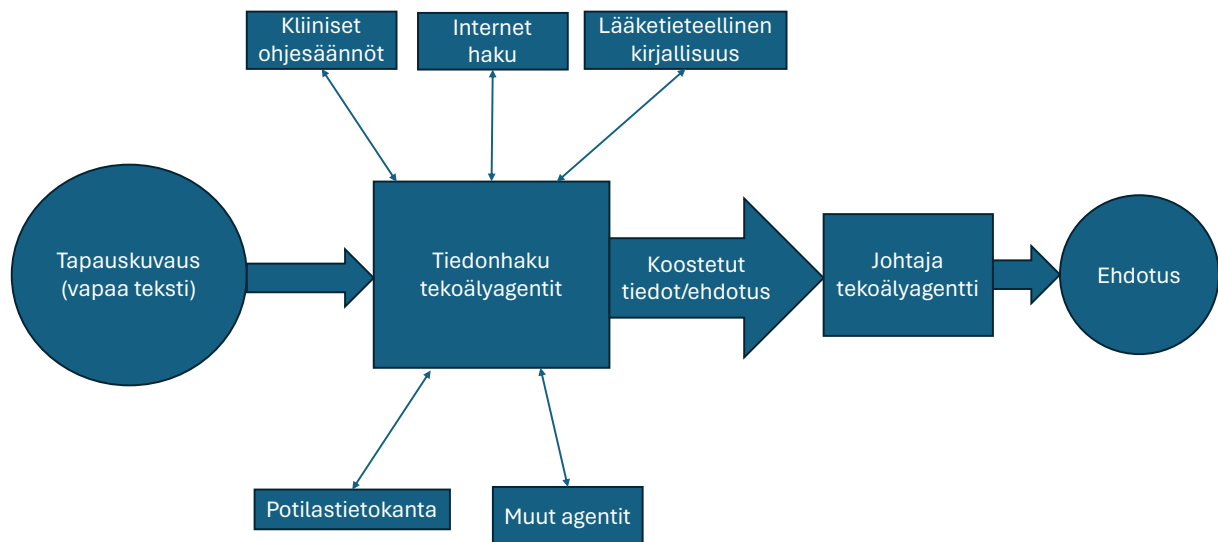
4 Tekoälyagenttijärjestelmät kliinisen päätöksenteon tukijärjestelmissä

Tämä luku perustuu luvussa 1 kuvatun tutkimusmetodin mukaisesti kerättyyn tutkimusaineistoon moniagenttijärjestelmien käytöstä kliinisen päätöksenteon tukijärjestelmissä. Havainnot, joihin tämä luku perustuu, on esitetty liitteessä 1. 11:n arvioidun lähteen perusteella aiheen tutkimus on vielä täysin prototyyppi- ja koevaiheessa, jossa teknologian käyttökelpoisuutta arvioidaan ja erilaisia mahdollisia toteutustapoja testataan koeympäristöissä testiaineistoilla.

Tämän luvun ensimmäisessä alaluvussa keskustellaan tutkimuslähteissä esitettyjen toteutusten käyttökohteista sekä niiden teknisestä ja arkkitehtuurisesta toteutuksesta. Toisessa alaluvussa pohditaan aineistossa esitettyjä moniagenttisuuden tuomia hyötyjä ihmisiin ja yksittäisiin tekoälymalleihin verrattuna. Lopuksi kolmannessa alaluvussa esitellään aineistossa mainitut käyttöönoton rajoitteet.

4.1 Käyttökohteet ja toteutus

Tutkimusaineistossa moniagenttista teknologiaa hyödyntäviä KPT:ä on kehitetty hieman eri tavalla eri käyttötarkoituksiin. Ne toimivat kuitenkin yhtenevän periaatteen mukaisesti. Järjestelmissä erikoistuneet kielimalleihin pohjautuvat agentit yhteistyössä keräävät, jäsentelevät ja arvioivat potilaaseen ja tapaukseen liittyvän informaation ja todistusaineiston, jonka perusteella järjestelmä antaa jonkin hoitoon liittyvän suosituksen. Ne pyrkivätkin toimimaan samalla tavalla, kuin ihmisistä koostuva hoitotiimi. Vaikka niiden käyttötarkoitukset eroavat, yleisesti ottaen ne on luotu helpottamaan kliinikoiden työtä kognitiivisesti kuormittavissa ja aikakriittisissä ympäristöissä. Yleistys järjestelmien toiminnan arkkitehtuurista havainnollistetaan kuvassa 2.



Kuva 2: Moniagenttijärjestelmien toteutuksen yleistyksen kliinisen päätöksenteon tukijärjestelmissä

Useimmat aineistossa esitetyt järjestelmät toimivat tiedonhakijoina kuvan 2 esityksen mukaisesti, tarjoten neuvontaa yleiseen lääketieteelliseen päätöksentekoon diagnoosia ja hoidon suunnittelua koskien. (Hong ym., 2024; H. Li ym., 2025; S. Liu ym., 2025; Z. Liu ym., 2024; Qiao ym., 2025; Ögdü ym., 2025.) Näistä moni pyrkii moniagenttisuudella järjestelmän selitettävyyden parantamiseen (Hong ym., 2024; Z. Liu ym., 2024.) Muissa toteutuksissa moniagenttijärjestelmää käytetään potilaiden järjestämiseen heidän tilansa kiireellisyyden mukaan (engl. triage). Tämä mahdollistaa rajallisten terveydenhuollon resurssien tehokkaamman jakamisen. (Han & Choi, 2025; Ruiz Mejia & Rawat, 2025.) Järjestelmiä on kuitenkin kehitetty myös tarkemmin tiettyä sairautta tai tilannetta varten. Duttan (2025) järjestelmä muistuttaa muita tiedonhakua tekeviä ja päätöksissä tukevia järjestelmiä, mutta se on tarkoitettu auttamaan erityisesti eettisesti hankalien kysymysten kanssa. R. Li ym. (2025) esittävät järjestelmää, joka ennustaa Alzheimerin taudin henkilön potilastietojen perusteella. Iapascorta (2025) on kehittänyt järjestelmän, joka pyrkii ehkäisemään sekä hoitamaan verenmyrkytystä teho-osastolla.

Vaikka moniagenttijärjestelmän kliininen käyttökohde eroaakin, järjestelmien agenttien rakenne on eri tutkimuksissa samankaltainen. Ne koostuvat pääsääntöisesti noin viidestä agentista, jotka peilaavat kliinisissä tiimeissä esiintyvää työnjakoa. Agenttien roolit (vrt. profiili luvussa 2.3) edustavat järjestelmissä kliinisten tiimien jäseniä, kuten eri aloihin erikoistuneet lääkärit tai farmaseutti. Niillä on eri toiminnalliset tehtävät, kuten tiedonhaku, -varmennus tai -yhdistäminen. Päätösten tukena agentit voivat hyödyntää erilaisia mekanismeja tai näkökulmia. Aineiston tutkimuksissa kehitetyt KPT:ksi tarkoitetut moniagenttijärjestelmät ovat luvussa 2.3 esitettyjen yleisten moniagenttijärjestelmien periaatteiden mukaisia. Moniagenttisuus

mahdollistaa agenttien erikoistuneen toiminnan ja keskinäisen tietojen jakamisen ja varmentamisen. Yleisimmin mainittu menetelmä koordinoida agenttien toimintaa on CrewAI (Han & Choi, 2025; Iapascurta, 2025; Ögdü ym., 2025), joka on kooditon moniagenttikehys, jonka avulla voidaan suunnitella ja koordinoida yhteistyökykyisiä tekoälyagentteja (Venkadesh ym., 2024). Toinen mainittu orkestrointikehys, jonka avulla agentit voivat kommunikoida, on AutoGen (R. Li ym., 2025).

Järjestelmien tekoälyagentit toimivat tehtäväänsä räätälöidyn suuren kielimallin avulla. Kielimallien hallusinaation lieventämiseksi useimpiin järjestelmiin on sisällytetty useita hakukomponentteja. BioBert -upotuksiin tai vektoritietokantoihin perustuva, hakua tehostava generointi (engl. Retrieval Augmented Generation) tarjoaa agenteille todisteita, jotka on poimittu biolääketieteellisestä kirjallisuudesta, ohjeista tai institutionaalisista tietokannoista (Iapascurta, 2025; H. Li ym., 2025; S. Liu ym., 2025; Ögdü ym., 2025). Hakua tehostavalla generoinnilla tarkoitetaan luonnollisen kielen käsittelytapaa, jossa relevantti tieto ensin haetaan syötettyjen kyselyjen perusteella ja sitten teksti generoidaan sekä kyselyn että haetun tiedon perusteella (Shahade, A. K. & Deshmukh, P. V., 2024). Logistiset järjestelmät sen sijaan käyttävät tietograafeja potilasprofiilien, palveluntarjoajien valmiuksien ja resurssirajoitusten luokitteluun, joka mahdollistaa näiden yhteensovittamisen (Ruiz Mejia & Rawat, 2025). H. Li ym. (2025) kehittämä järjestelmä käyttää sekä tietograafeja että hakua tukevaa generointia tiedonhaun täsmällisyyden parantamiseksi. Kummankin tekniikan hyödyntäminen rajoittaa agenttien generatiivista käyttäytymistä ja näin varmistaa, että niiden päättely perustuu kliinisesti merkitykselliseen tietoon.

Tarkastelluissa moniagenttijärjestelmien toteutuksissa on korostettu monen agentin yhteistyön mahdollistamaa jäseneltyä harkintaa päätöksenteossa. Esimerkiksi Hongin ym. (2024) järjestelmässä toinen agentti pyrkii haastamaan ensimmäisen agentin argumentteja, jolloin ensimmäinen agentti taas pyrkii puolustamaan argumenttiaan. Kolmas agentti seuraa väittelyä ja tekee päätöksen lopullisista suosituksista väittelyn perusteella. Useammassa toteutuksessa useampi agentti etsii ja jäsentee tietoa eri tietolähteistä tai näkökulmista ja tarjoaa tiedot johtaja-agentille, joka antaa lopullisen lausunnon yhdistämällä eri agenttien tarjoamat tiedot (Han & Choi, 2025; R. Li ym., 2025). Tällainen aineiston perusteella tyypillinen arkkitehtuuri on havainnollistettu kuvassa 2. Tämä on selvästi linjassa moniagenttijärjestelmiä koskevan taustatietoluvun 2.3 kanssa.

4.2 Tekoälyagenttijärjestelmien tuomat hyödyt kliinisen päätöksenteon tukijärjestelmiin

Moniagenttijärjestelmät osoittivat tutkimuksissa potentiaalinsa vahvistaa terveydenhuollon päätöksentekoa, vaikka niitä kaikissa tarkastelluissa tutkimuksissa arvioitiin ainoastaan testiaineistolla, eikä niitä ollut yhdistetty todellisiin potilastietokantoihin. Testiaineistolla ja simuloituissa tapauksissa moniagenttijärjestelmien raportoitiin suoriutuneen hyvin, joka viittaa siihen, että monen agentin yhteistyöllä KPT:en tarkkuutta, luotettavuutta ja hyödyllisyyttä voidaan parantaa. Tutkimukset siis osoittavat todeksi luvussa 2.3 käsitellyt väitteet moniagenttijärjestelmien mahdollisuudesta ratkaista monimutkaisia ongelmia hajautetun päätöksenteon ansiosta ja näin selittää yksittäisten tekoälymallien kognitiiviset rajoitteet. Tiivistetty listaus aineiston lähteissä mainituista moniagentti KPT:en hyödyistä on esitetty taulukossa 1.

Tarkastelluissa tutkimuksissa, joissa moniagenttijärjestelmiä verrattiin yksittäiseen tekoälymalliin, moniagenttijärjestelmät suoriutuivat aina paremmin (Han & Choi, 2025; Hong ym., 2024; R. Li ym., 2025; Ögdü ym., 2025). Ne osoittivat vahvaa kehitystä diagnostisessa ja ennustavassa suorituskäytössä saavuttaen korkeamman tarkkuuden kuin yksittäisiin tekoälymalleihin perustuvat järjestelmät. Potilaiden luokittelu (engl. triage) järjestelmässä, esimerkiksi monen tekoälyagentin yhteistyö lisäsi tarkkuutta kaikilla mitatuilla mittareilla yksittäiseen kielimalliin verrattuna. Tämä moniagenttijärjestelmä onnistui antamaan ensiavun potilaiden oikean ja lopullisen hoidontarpeen priorisoinnin. (Han & Choi, 2025.) Yleisessä diagnostiikassa Ögdün ym. (2025) ehdottama adaptiivinen moniagenttiarkkitehtuuri ylitti vastaavat yksittäiseen tekoälyagenttiin perustuvat järjestelmät selvästi, saavuttaen 94 %, 88 % ja 84 %:n tarkkuuden MedQA, PubMedQA ja MedBullets tietoaaineistoilla. Samoin selitettävissä olevaan monen agentin päättelymalliin perustuva ArgMed-toteutus paransi tarkkuutta yli 83 %:iin yksinäisen GPT-4 mallin saavuttamaan noin 70 %:n tarkkuuteen verrattuna. Minkä tahansa yksittäisen agentin poistaminen järjestelmästä heikensi sen suoritusta. Tämä osoittaa, että tarkkuus johtui yhteistyöhön perustuvasta pohdinnasta eikä minkään yksittäisen mallin vahvuudesta. (Hong ym., 2024.) Alzheimerin tautia pitkittäisesti kerätyistä potilaan terveystiedoista ennustava CARE-AD-moniagentti KPT suoriutui myös paremmin kuin yksittäiset agentit. Lisäksi se oli tarkempi ja pystyi varhaisempaan taudin diagnosointiin kuin strukturoidussa datassa esiintyneet ihmiskliinikoiden antamat vertailuarvot. CARE-AD onnistui tunnistamaan Alzheimerin taudin jopa kymmenen vuotta ennen virallista

diagnoosia, mikä osoittaa moniagenttijärjestelmien potentiaalinen riskien varhaisessa tunnistamisessa. (R. Li ym., 2025).

Muunlaisiin tietojärjestelmiin verrattuna suorituskyvyn parantumisen ohella moniagenttisuuden tehostamat KPT:t tarjoavat parannuksen työkulujen tehostamiseen ja prosessien automatisointiin. Moniagenttiarkkitehtuuri mahdollistaa roolien jakamisen ja tehtävien rinnakkaisen suorittamisen. Kuten luvussa 2.3 mainittiin, tämä juuri mahdollistaa monimutkaisten ja kognitiivisesti raskaiden tehtävien onnistuneen suorittamisen. CrewAI:n tai AutoGenin mahdollistamissa järjestelmissä yhteistyössä toimivat agentit toteuttavat omia tehtäviään, kuten hakevat tietoa, varmistavat tiedon oikeellisuuden, yhdistävät tietoa tai tarjoavat alakohtaista tuntemusta ja näin jäljittelevät poikkitieteellistä kliinistä tiimiä. Juuri tämä tehtävien jako vähentää yksittäisen tekoälyagentin tietotulvaa ja mahdollistaa vakaamman päätöksentekoprosessin. Tietograafeja hyödyntävä moniagentti KPT MedScrubCrew esimerkiksi paransi simulaatioissa sairaaloiden aikataulujen operatiivista tehokkuutta tarjoten johdonmukaisia luokitteluja ja resurssien kohdentamispäätöksiä (Ruiz Mejia & Rawat, 2025). Digitaalisen kaksosen avulla toimivat hoitotyöntekijä-agentit taas edistivät leikkauksen jälkeisessä hoidossa komplikaatioiden ennakoivaa havaitsemista reaktiivisen puuttumisen sijaan, mikä parantaa potilaiden turvallisuutta ja optimoi resurssien käyttöä (Qiao ym., 2025).

Aineistossa toistuvasti mainittu moniagenttijärjestelmän tuoma etu oli myös selitettävyyden lisääntyminen (Hong ym., 2024; H. Li ym., 2025; R. Li ym., 2025; S. Liu ym., 2025). Luvussa 3.2 juuri selitettävyyden puute esitettiin KPT:n yleiseksi heikkoudeksi. Moniagenttijärjestelmissä toiset agentit voivat haastaa tai varmentaa muiden agenttien esittämät tiedot johdonmukaisesti. Järjestelmien, joissa päättely tapahtuu monivaiheisesti usean agentin yhteistyössä, päättelyketjut ovat selitettävissä ja auditoitavissa. Ne myös tarjoavat perustelut lopullisille ehdotuksilleen, jolloin klinikoiden on helpompi arvioida niiden oikeellisuutta. Lisäksi moniagenttisuuden raportoitiin vähentävän kielimalleille tyypillistä ongelmaa: hallusinaatiota, sillä toiset agentit varmistavat toisten agenttien esittämät tiedot (Hong ym., 2024). Myös hakua tukevan generoinnin (engl. Retrieval Augmented Generation) sanottiin vähentävän hallusinaatiota (Iapascorta, 2025; H. Li ym., 2025).

Taulukko 1: Moniagentti KPT:n tuomat hyödyt

Moniagenttisuuden tuoma hyöty	Lähde, jossa hyöty mainittu
Parempi suorituskky kuin yksittäisillä tekoälymalleilla.	(Han & Choi, 2025; Hong ym., 2024; H. Li ym., 2025; R. Li ym., 2025) (4)
Potilaiden saaman hoidon parantuminen.	(Dutta Roy, 2025; Iapascurta, 2025; R. Li ym., 2025; Qiao ym., 2025) (4)
Kliinikoiden toiminnan tehostuminen.	(Dutta Roy, 2025; Han & Choi, 2025; S. Liu ym., 2025; Z. Liu ym., 2024; Qiao ym., 2025; Ruiz Mejia & Rawat, 2025; Ögdü ym., 2025) (7)
Järjestelmän selitettävyyden kasvu.	(Hong ym., 2024; H. Li ym., 2025; R. Li ym., 2025; Z. Liu ym., 2024) (4)
Hallusinaation vähentyminen	(Hong ym., 2024; H. Li ym., 2025; Z. Liu ym., 2024) (3)

Taulukko 1 tarjoaa tiivistetyn listan aineistossa mainituista hyödyistä, sekä missä aineiston lähteissä ko. hyöty oli tuotu esiin. Yhteenvetona voidaan todeta, että aineistossa esitetyt järjestelmät osoittavat, että moniagentti KPT:en edut eivät ole pelkästään kehittyneiden tekoälymallien ansiota, vaan niiden suorituskky johtuu mallien jäsenellyn yhteistyön hyödyntämisestä. Tutkimuksen moniagenttijärjestelmät tarjoavat johdonmukaisesti tarkempia, kontekstuaalisesti perusteltuja ja selitettäviä tuloksia. Ne mahdollistavat klinikoille mahdollisuuden työskennellä tehokkaammin, mutta samalla vähemmän kuormittavasti. Ne myös parantavat potilaiden mahdollisuutta saada parempaa hoitoa.

4.3 Tekoälyagenttijärjestelmien käytön esteet klinisen päätöksenteon tukijärjestelmissä

Tutkimukset osoittavat, että moniagenttijärjestelmiin perustuvat KPT:t voisivat ratkaista luvussa 3.2 mainittuja KPT:en yleiseen käyttöönottoon liittyviä haasteita, mutta niihin kuitenkin liittyy omia haasteitaan. Vaikka aineiston tutkimuksissa esitetyt järjestelmät osoittavatkin vahvaa suorituskkyä testiaineistoilla, niitä ei ole implementoitu tai testattu todellisessa kliinisessä ympäristössä. Esteitä järjestelmien todelliselle implementaatiolle ei lähteissä juuri käsitellä, vaan niissä keskitytään lähinnä tutkimusten metodologisiin rajoituksiin ja osa-alueisiin, joita ei vielä ole tutkittu. Näissä painotetaan nimenomaan todellisen implementaation puutetta sekä testaustietoaineistojen rajallisuutta. Tutkimusten metodologisten rajoitteiden lisäksi todellisen implementaation mahdolliseksi esteiksi mainitaan kuitenkin joitain teknisiä ja käytännöllisyyteen liittyviä heikkouksia sekä eettisyyteen ja organisaatiollisuuteen liittyviä haasteita. Lisäksi monet kehitetyistä järjestelmistä ovat

tarkoitettu edelleen pitkälti tiettyyn kapeaan käyttötarkoitukseen, joka on ristiriidassa luvussa 2.3 esitetyn moniagenttisten järjestelmien kyvyn hoitaa laajoja monialaisia tehtäviä kanssa.

Teknisesti isoimmat haasteet ovat suuren laskentatehon tarve sekä järjestelmien viive. Erityisesti toistuvat agenttien väliset palautesilmukat, hakua tukeva generointi ja verkkohaku vaativat huomattavan koneellisen käsittelyajan. (Ruiz Mejia & Rawat, 2025; Ögdü ym., 2025.) Tämä on merkittävä este käyttöönotolle esimerkiksi hyvin nopeatempoisessa tehosastohoidossa. Luvussa 2.3 kuvatun teorian vastaisesti mikään järjestelmä ei vielä pystynyt hyödyntämään multimodaalista informaatiota, vaan pelkästään tekstuaalista dataa. Tämä oli järjestelmän arvioijista koettu heikkoudeksi (H. Li ym., 2025). Vaikka moniagenttisuus vähensikin hallusinoinnin riskiä se ei täysin poistanut sitä (Iapascorta, 2025; Qiao ym., 2025).

KPT:en eettiset datan hallintaan, yksityisyyteen ja vastuunalaisuuteen liittyvät haasteet pysyvät avoimina myös moniagenttijärjestelmissä. Dutta (2025) sekä Han & Choi (2025) painottavat ihmisen valvonnan, kliinikoiden vastuun ja regulaation, kuten EU AI Actin, HIPAAn ja GDPR:n, tärkeyttä järjestelmiä suunniteltaessa. Vaikka moniagenttisuus parantaa KPT:en selitettävyyttä, ei se siltikään ole välttämättä auditoinnin vaatimalla tasolla (Han & Choi, 2025). Tutkijat myös huomauttavat, että toistensa antamia tietoja validoivat agentit voivat tukea toisia hallusinoivia agenteja, jos molempien päättelyn tukena oleva kielimalli on koulutettu vääristyneellä datalla (Dutta Roy, 2025; H. Li ym., 2025).

Moniagentti KPT:en siirtyminen tutkimuksen tasolta osaksi klinisiä työnkulkuja vaatii vielä lisää näyttöjä todellisiin järjestelmiin yhdistämisestä sekä hyvän hallintotavan varmistamisesta. Näitä ei vielä aineiston artikkeleissa ollut tarkasteltu. Jotta todellinen implementaatio olisi mahdollista, järjestelmien toimintaa pitäisi pystyä testaamaan vielä kattavammin. Testiaineistojen datan laatu ja kattavuus ei tällä hetkellä lähteiden mukaan ole riittävää, jotta järjestelmien turvallisuudesta tai toiminnan todellisesta tehostamisesta voitaisiin olla varmoja. Reaaliaikaiset kliniset ympäristöt vaativat kestävyyttä ja joustavuutta, joita nykyiset moniagentti KPT-prototyypit eivät vielä voi taata.

5 Yhteenveto

Tässä tutkielmassa pyrittiin selvittämään, kuinka useasta tekoälyagentista koostuvia järjestelmiä käytetään kliinisen päätöksenteon tukijärjestelmissä. Lisäksi tutkittiin mitä hyötyjä moniagenttisuus tarjoaa KPT:ille sekä mitä rajoitteita tällaisten järjestelmien todelliseen käyttöönottoon liittyy. Näitä selvitettiin perehtymällä tekoälyagenttien, moniagenttijärjestelmien ja KPT:en perusteisiin, tutkimalla valikoitua kirjallisuutta näistä käsitteistä yksittäin, sekä suorittamalla systemaattinen kirjallisuuskatsaus artikkeleista, joissa on tutkittu moniagenttista KPT:ä. Tähän tutkielmaan sisällytettiin lopulta 11 artikkelia, joissa jokaisessa oli kehitetty ja arvioitu, jokin moniagenttinen KPT. Näiden artikkelien pohjalta luvussa 4 vastattiin johdannossa esitettyihin tutkimuskysymyksiin 1–3.

KPT:llä tarkoitetaan vuorovaikutteista tietojärjestelmää, joka on suunniteltu tukemaan kliinikoita potilaita koskevien päätösten tekemisessä. Ne pitävät sisällään kliinistä tietoutta, potilaiden tietoja sekä päätöksenteko logiikkaa. Niiden tarkoitus on tehostaa diagnoosien tarkkuutta, ohjeiden noudattamista, työnkulkujen tehokkuutta ja potilaiden turvallisuutta. Niihin liittyy kuitenkin haasteita, kuten hälytysväsymys, ylläpidettävyys, regulaatio sekä eettiset kysymykset. Moniagenttijärjestelmät taas ovat kehittyvä tekoälymenetelmä, jossa useampi yksittäinen tekoälyagentti on järjestetty toimimaan yhteistyössä. Tekoälyagentit ovat itsenäisiä, tavoitteen ohjaamia järjestelmiä, jotka pystyvät havainnoimaan, päättämään ja toimimaan ympäristössään. Yhteistyössä toimiessaan tekoälyagentit voivat jakaa monimutkaisia tehtäviä osiin ja toteuttaa erikoistuneita rooleja. Näin moniagenttijärjestelmät voivat matkia ihmisistä koostuvien tiimien toimintaa.

TK1: Kirjallisuuskatsauksen perusteella, kehitetyillä moniagenttisilla KPT:llä on selkeästi yhteneviä arkkitehtuurisia piirteitä. Järjestelmät koostuvat useasta suurten kielimallien voimalla toimivasta tekoälyagentista, joilla on omat roolinsa, jotka mukailevat kliinisen tiimin työnjakoa. Agentit keräävät, jäsentelevät, varmentavat ja syntetisoivat yhteistyössä tapauskuvauksista, kliinisistä ohjeista, lääketieteellisestä kirjallisuudesta sekä potilastietokannoista noudettua tietoa. Järjestelmissä käytetään tietojen varmentamista, hakua tehostavaa generointia sekä tietograafeja rajoittamaan kielimallien hallusointia. Agenttien koordinointi voidaan järjestää CrewAI tai AutoGen kehysten avulla. Ne mahdollistavat agenttien välisen vuorovaikutuksen. Tyypillisesti järjestelmiin kuuluu johtaja-agentti, joka muiden antamien ehdotusten perusteella koostaa lopullisen suosituksen, jonka järjestelmä tarjoaa käyttäjälle perusteluineen. Kliiniset käyttötarkoitukset keskittyvät yleiseen diagnosointiin ja hoidonsuunnitteluun sekä resurssien

kohdentamiseen ja potilaiden luokitteluun, mutta erikoistuneempiakin järjestelmiä, kuten tietyn taudin ilmentymisen ennustaja, on kehitetty. Tarpeen taustalla on kuitenkin yhtenevä keskeinen periaate: kognitiivisesti vaativien tai aikakriittisten päätöksentekoprosessien tukeminen.

TK2: Testiarvioinneissa moniagenttiset järjestelmät on osoitettu toimivaksi menetelmäksi vähentää kliinikoiden kognitiivista kuormitusta sekä tehostaa ja parantaa terveydenhuollon toimintaa. Moniagenttiset KPT:t pystyvät tutkimusten mukaan tarjoamaan parempaa tukea, kuin yksittäisiin tekoälymalleihin perustuvat KPT:t. Testiaineistoilla ne onnistuvat tarkemmin toteuttamaan annetut tehtävät kuin verrokkinsa. Tähän kuuluu parempi diagnostinen ja ennustava tarkkuus, parantuneet potilaiden luokittelut, kontekstuaalisesti johdonmukaisempi päättely ja tarkempi kliinisten ohjeiden noudattaminen. Moniagenttisyys tarjoaa myös KPT:lle parantuneen selitettävyyden, sillä niiden vaiheittainen päättely, keskinäiset keskustelut ja agenttien väliset faktantarkistukset luovat läpinäkyviä perusteluketjuja. Tämä on selkeä parannus perinteisempiin koneoppimista käyttäviin KPT:iin, joiden suurin ongelma on selitettävyyden puute. Hallusinaation väheneminen on myös merkittävä moniagenttisuuden tarjoama edistys. Kollektiivisen päätöksenteon ja toisten agenttien tietojen tarkistuksen ansiosta yksittäisten tekoälymallien mahdolliset hallusinaatiot saadaan poistettua lopullisesta ulosannista.

TK3: Lupaavista testituloksista huolimatta moniagenttiset KPT:t ovat vielä kaukana varsinaisesta käyttöönnotosta. Aineiston järjestelmiä arvioitiin pelkästään testiaineistolla ja simuloituilla tapauksilla, eikä niitä ollut integroitu todellisen kliinisen ympäristön muihin järjestelmiin. Mihinkään järjestelmään ei ollut vielä sisällytetty multimodaalista tiedon käsittelyä, joka oli taustatieto luvussa 2.3 mainittu moniagenttisuuden erityiseksi eduksi. Teknisiksi haasteiksi mainittiin korkeat laskentavaatimukset, toistuvien agenttien välisten keskusteluiden ja tiedonhaun aiheuttama hidas vasteaika sekä säilyvä riski kielimallien hallusinaatiosta. Perinteisten KPT:en organisaatiolliset ja eettiset haasteet pysyvät moniagenttisuudesta huolimatta. Vastuu, läpinäkyvyys, tietosuoja ja muut regulaation määräämät vaatimukset on pystyttävä vielä kattavammin ottamaan huomioon. Huoli siitä, että kielimalleissa piilevä puolueellisuus kertaantuu moniagenttijärjestelmissä, tuotiin tutkimuksissa myös esiin. Lisäksi moni järjestelmä oli tarkoitettu hoitamaan rajattua tehtävää, vaikka taustatiedoissa luvussa 2.3 tuotiin esiin moniagenttijärjestelmien mahdollisuutta hoitaa laaja-alaisia tehtäviä.

Kaiken kaikkiaan tämä tutkielma osoittaa, että moniagenttisuudella on mahdollisuus merkittävästi edistää KPT:ä ja näin parantaa koko terveydenhuoltoa. Järjestelmissä yhdistyy hajautettu päättely sekä järjestelmällinen yhteistyö, jotka parantavat tarkkuuta ja selitettävyyttä. Järjestelmien jatkotutkimusta kuitenkin tarvitaan ennen kuin niiden käyttöönottoa voidaan alkaa edes suunnitella. Kehitetyt järjestelmät ovat hyvä alku ja niihin keskittyvä jatkotutkimus olisi resurssien käytön kannalta suositeltavaa. Niillä voitaisiin testata lisää simuloituja kokonaisvaltaisia kliinisiä työkulkuja, niihin voitaisiin sisällyttää agentti, joka pystyy lääketieteellisten kuvien tunnistukseen tai ne voitaisiin yrittää integroida todellisiin kliinisiin ympäristöihin ja testata niitä siellä. Lisääntynyt laskentatehon tarve on kuitenkin järjestelmistä riippumaton kehitystarve, joka on ratkaistava, jotta moniagenttisuudesta olisi oikeasti hyötyä. Olisi myös keksittävä, millä järjestelmistä saadaan vielä selitettävämpiä, jotta niiden toimintaa voidaan auditoida. Nämä asiat selvittämällä moniagenttiset KPT:t voivat tulevaisuudessa tarjota luotettavan, läpinäkyvän ja kliinisesti merkityksellisiä työkaluja, jotka tukevat terveydenhuollon päätöksentekoa.

Lähteet

- Acharya, D. B., Kuppan, K., & Divya, B. (2025). Agentic AI: Autonomous Intelligence for Complex Goals—A Comprehensive Survey. *IEEE Access*, *13*, 18912–18936.
<https://doi.org/10.1109/ACCESS.2025.3532853>
- Gadde, A. (2025). AI Agents: The autonomous workforce for automating workflows across industries. *World Journal of Advanced Engineering Technology and Sciences*, *15*(2), 2183–2203.
<https://doi.org/10.30574/wjaets.2025.15.2.0744>
- Bandi, A., Kongari, B., Naguru, R., Pasnoor, S., & Vilipala, S. V. (2025). The Rise of Agentic AI: A Review of Definitions, Frameworks, Architectures, Applications, Evaluation Metrics, and Challenges. *Future Internet*, *17*(9), 404. <https://doi.org/10.3390/fi17090404>
- Baron, J. M., & Dighe, A. S. (2011). Computerized provider order entry in the clinical laboratory. *Journal of Pathology Informatics*, *2*(1), 35. <https://doi.org/10.4103/2153-3539.83740>
- Berner, E. S., & La Lande, T. J. (2016). Overview of Clinical Decision Support Systems. Teoksessa E. S. Berner (Toim.), *Clinical Decision Support Systems: Theory and Practice* (s. 1–17). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-31913-1_1
- Bharti, M. (2025). AI AGENTS: A SYSTEMATIC REVIEW OF ARCHITECTURES, COMPONENTS, AND EVOLUTIONARY TRAJECTORIES IN AUTONOMOUS DIGITAL SYSTEMS. *INTERNATIONAL JOURNAL OF COMPUTER ENGINEERING AND TECHNOLOGY*, *16*(1), 809–820. https://doi.org/10.34218/IJCET_16_01_065
- Botti, V. (2025). *Agentic AI and Multiagentic: Are We Reinventing the Wheel?*
- Dutta Roy, T. P. (2025). Bioethics Artificial Intelligence Advisory (BAIA): An Agentic Artificial Intelligence (AI) Framework for Bioethical Clinical Decision Support. *Cureus*.
<https://doi.org/10.7759/cureus.80494>
- Genesereth, M. R., & Ketchpel, S. P. (1994). Software agents. *Communications of the ACM*, *37*(7), 48.
<https://doi.org/10.1145/176789.176794>

- Gong, Y., & Kang, H. (2016). Usability and Clinical Decision Support. Teoksessa E. S. Berner (Toim.), *Clinical Decision Support Systems: Theory and Practice* (s. 69–86). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-31913-1_4
- Goodman, K. W. (2016). Ethical and Legal Issues in Decision Support. Teoksessa E. S. Berner (Toim.), *Clinical Decision Support Systems: Theory and Practice* (s. 131–146). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-31913-1_8
- Han, S., & Choi, W. (2025). Development of a Large Language Model-based Multi-Agent Clinical Decision Support System for Korean Triage and Acuity Scale (KTAS)-Based Triage and Treatment Planning in Emergency Departments. *Advances in Artificial Intelligence and Machine Learning*, 05(01), 3261–3275. <https://doi.org/10.54364/AAIML.2025.51187>
- Handler, R., Sharma, S., & Hernandez-Boussard, T. (2025). The fragile intelligence of GPT-5 in medicine. *Nature Medicine*. <https://doi.org/10.1038/s41591-025-04008-8>
- Hong, S., Xiao, L., Zhang, X., & Chen, J. (2024). ArgMed-Agents: Explainable Clinical Decision Reasoning with LLM Discussion via Argumentation Schemes. *2024 IEEE International Conference on Bioinformatics and Biomedicine (BIBM)*, 5486–5493. <https://doi.org/10.1109/BIBM62325.2024.10822109>
- Hughes, L., Dwivedi, Y. K., Malik, T., Shawosh, M., Albashrawi, M. A., Jeon, I., Dutot, V., Appanderanda, M., Crick, T., De', R., Fenwick, M., Gunaratnege, S. M., Jurcys, P., Kar, A. K., Kshetri, N., Li, K., Mutasa, S., Samothrakis, S., Wade, M., & Walton, P. (2025). AI Agents and Agentic Systems: A Multi-Expert Analysis. *Journal of Computer Information Systems*, 65(4), 489–517. <https://doi.org/10.1080/08874417.2025.2483832>
- Iapascurta, V. (2025). Enhancing Sepsis Management in the Intensive Care Unit: A Multi-agent Methodology for Decision Support. Teoksessa C. Kahraman, S. Cebi, B. Oztaysi, S. Cevik Onar, C. Tolga, I. Ucal Sari, & I. Otay (Toim.), *Intelligent and Fuzzy Systems* (Vol. 1530, s. 345–351). Springer Nature Switzerland. https://doi.org/10.1007/978-3-031-98565-2_38
- Institute of Medicine (US) Committee on Quality of Health Care in America. (2000). *To Err is Human: Building a Safer Health System* (L. T. Kohn, J. M. Corrigan, & M. S. Donaldson, Toim.). National Academies Press (US). <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK225182/>

- Karthik Kota, S. (2025). AI Agents: Unlocking Transformative Potential Amid Technical and Ethical Hurdles. *International Journal of Science and Research (IJSR)*, 14(3), 905–909.
<https://doi.org/10.21275/SR25037101203>
- Karunanayake, N. (2025). Next-generation agentic AI for transforming healthcare. *Informatics and Health*, 2(2), 73–83. <https://doi.org/10.1016/j.infoh.2025.03.001>
- Kasirzadeh, A., & Gabriel, I. (2025). *Characterizing AI Agents for Alignment and Governance*.
- Kim, S. Y., Kim, D. H., Kim, M. J., Ko, H. J., & Jeong, O. R. (2024). XAI-Based Clinical Decision Support Systems: A Systematic Review. *Applied Sciences*, 14(15), 6638.
<https://doi.org/10.3390/app14156638>
- Krishnan, N. (2025). *AI Agents: Evolution, Architecture, and Real-World Applications* (No. arXiv:2503.12687). arXiv. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2503.12687>
- Laskey, K. B., & Laskey, K. (2009). Service oriented architecture. *WIREs Computational Statistics*, 1(1), 101–105. <https://doi.org/10.1002/wics.8>
- Li, H., Cheng, X., & Zhang, X. (2025). Accurate Insights, Trustworthy Interactions: Designing a Collaborative AI-Human Multi-Agent System with Knowledge Graph for Diagnosis Prediction. *Proceedings of the 2025 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, 1–15. <https://doi.org/10.1145/3706598.3713526>
- Li, R., Wang, X., Berlowitz, D., Mez, J., Lin, H., & Yu, H. (2025). CARE-AD: A multi-agent large language model framework for Alzheimer’s disease prediction using longitudinal clinical notes. *Npj Digital Medicine*, 8(1), 541. <https://doi.org/10.1038/s41746-025-01940-4>
- Li, X., Wang, S., Zeng, S., Wu, Y., & Yang, Y. (2024). A survey on LLM-based multi-agent systems: Workflow, infrastructure, and challenges. *Vicinagearth*, 1(1), 9.
<https://doi.org/10.1007/s44336-024-00009-2>
- Liu, S., Huang, S. S., McCoy, A. B., Wright, A. P., Horst, S., & Wright, A. (2025). Optimizing Order Sets With a Large Language Model–Powered Multiagent System. *JAMA Network Open*, 8(9), e2533277. <https://doi.org/10.1001/jamanetworkopen.2025.33277>
- Liu, Z., Xiao, L., Zhu, R., Yang, H., & He, M. (2024). MedGen: An Explainable Multi-Agent Architecture for Clinical Decision Support through Multisource Knowledge Fusion. 2024

- IEEE International Conference on Bioinformatics and Biomedicine (BIBM)*, 6474–6481.
<https://doi.org/10.1109/BIBM62325.2024.10822186>
- Miller, K. E., Singh, H., Arnold, R., & Klein, G. (2020). Chapter 122—Clinical decision-making in complex healthcare delivery systems. Teoksessa E. Iadanza (Toim.), *Clinical Engineering Handbook (Second Edition)* (s. 858–864). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813467-2.00123-1>
- Mitchell, C., & Ploem, C. (2018). Legal challenges for the implementation of advanced clinical digital decision support systems in Europe. *Journal of Clinical and Translational Research*.
<https://doi.org/10.18053/jctres.03.2017S3.005>
- Morandín-Ahuerma, F. (2022). *What is Artificial Intelligence*.
- Murugesan, S. (2025). The Rise of Agentic AI: Implications, Concerns, and the Path Forward. *IEEE Intelligent Systems*, 40(2), 8–14. <https://doi.org/10.1109/MIS.2025.3544940>
- O’Sullivan, D., Fraccaro, P., Carson, E., & Weller, P. (2014). Decision time for clinical decision support systems. *Clinical Medicine*, 14(4), 338–341. <https://doi.org/10.7861/clinmedicine.14-4-338>
- Ozaydin, B., Hardin, J. M., & Chhieng, D. C. (2016). Data Mining and Clinical Decision Support Systems. Teoksessa E. S. Berner (Toim.), *Clinical Decision Support Systems: Theory and Practice* (s. 45–68). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-31913-1_3
- Przegalinska, A. (2019). *State of the art and future of artificial intelligence*.
- Qiao, X., Wang, J., Zhang, M., Lin, F., Ye, P., Ni, Q., & Wang, F.-Y. (2025). Parallel Nursing: Enhancing Postoperative Nursing With LLM Agent Systems. *IEEE Transactions on Computational Social Systems*, 1–10. <https://doi.org/10.1109/TCSS.2025.3605582>
- Rodriguez-Loya, S., & Kawamoto, K. (2016). Newer Architectures for Clinical Decision Support. Teoksessa E. S. Berner (Toim.), *Clinical Decision Support Systems: Theory and Practice* (s. 87–97). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-31913-1_5
- Rovane, C. (2004). What is an agent? *Synthese*, 140(1/2), 181–198.

- Ruiz Mejia, J. M., & Rawat, D. B. (2025). MedScrubCrew: A Medical Multi-Agent Framework for Automating Appointment Scheduling Based on Patient-Provider Profile Resource Matching. *Healthcare (Basel, Switzerland)*, *13*(14), 1649. <https://doi.org/10.3390/healthcare13141649>
- Sapkota, R., Roumeliotis, K. I., & Karkee, M. (2025). AI Agents vs. Agentic AI: A Conceptual Taxonomy, Applications and Challenges. *Information Fusion*, *126*, 103599. <https://doi.org/10.1016/j.inffus.2025.103599>
- Sengar, S. S., Hasan, A. B., Kumar, S., & Carroll, F. (2024). Generative artificial intelligence: A systematic review and applications. *Multimedia Tools and Applications*, *84*(21), 23661–23700. <https://doi.org/10.1007/s11042-024-20016-1>
- Shahade, A. K. & Deshmukh, P. V. (2024). Enhancing Natural Language Processing: A Comprehensive Review of Retrieval Augmented Generation. *2024 4th International Conference on Sustainable Expert Systems (ICSES)*, 609–611. <https://doi.org/10.1109/ICSES63445.2024.10763224>
- Shiffman, R. N. (2016). Best Practices for Implementation of Clinical Decision Support. Teoksessa E. S. Berner (Toim.), *Clinical Decision Support Systems: Theory and Practice* (s. 99–109). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-31913-1_6
- Spooner, S. A. (2016). Mathematical Foundations of Decision Support Systems. Teoksessa E. S. Berner (Toim.), *Clinical Decision Support Systems: Theory and Practice* (s. 19–43). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-31913-1_2
- Sutton, R. T., Pincock, D., Baumgart, D. C., Sadowski, D. C., Fedorak, R. N., & Kroeker, K. I. (2020). An overview of clinical decision support systems: Benefits, risks, and strategies for success. *Npj Digital Medicine*, *3*(1), 17. <https://doi.org/10.1038/s41746-020-0221-y>
- Teo, Z. L., Thirunavukarasu, A. J., Elangovan, K., Cheng, H., Moova, P., Soetikno, B., Nielsen, C., Pollreisz, A., Ting, D. S. J., Morris, R. J. T., Shah, N. H., Langlotz, C. P., & Ting, D. S. W. (2025). Generative artificial intelligence in medicine. *Nature Medicine*, *31*(10), 3270–3282. <https://doi.org/10.1038/s41591-025-03983-2>
- Vahdati, M. (Monireh), Gholizadeh HamAbadi, K., Laamarti, F., & El Saddik, A. (2025). A Multi-Agent Digital Twin Framework for AI-Driven Fitness Coaching. *Proceedings of the 2025*

ACM International Conference on Interactive Media Experiences, 380–385.

<https://doi.org/10.1145/3706370.3731651>

Venkadesh, P., Divya, S. V., & Kumar, K. S. (2024). Unlocking AI Creativity: A Multi-Agent

Approach with CrewAI. *Journal of Trends in Computer Science and Smart Technology*, 6(4),

338–356. <https://doi.org/10.36548/jtcsst.2024.4.002>

Vijayan, S. (2024). *AI Agents- Dawn of Proactive and Cognitive Machines*.

Wright, A., Sittig, D. F., Ash, J. S., Feblowitz, J., Meltzer, S., McMullen, C., Guappone, K.,

Carpenter, J., Richardson, J., Simonaitis, L., Evans, R. S., Nichol, W. P., & Middleton, B.

(2011). Development and evaluation of a comprehensive clinical decision support taxonomy:

Comparison of front-end tools in commercial and internally developed electronic health record

systems. *Journal of the American Medical Informatics Association*, 18(3), 232–242.

<https://doi.org/10.1136/amiajnl-2011-000113>

Öğdü, Ç. U., Arslanoğlu, K., & Karaköse, M. (2025). An Adaptive Multi-Agent LLM-Based Clinical

Decision Support System Integrating Biomedical RAG and Web Intelligence. *IEEE Access*,

13, 167390–167404. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2025.3613340>

6 Liitteet

6.1 Liite 1. Moniagenttijärjestelmien käyttö, toteutus, hyödyt ja esteet kliinisen päätöksenteon tukijärjestelmissä.

Lähde	Moniagenttijärjestelmän käyttökohte	Moniagenttijärjestelmän käyttö	Moniagenttijärjestelmien hyödyt	Moniagenttijärjestelmien esteet
Dutta Roy, 2025	Bioetiikka ja tekoyhteisöön keitys, joka tukee terveydenhuollon tiimejä monimuotoisten eettisten dilemmissä ratkaisemisessa.	Koostuu suuresta kiellimallista, joka pystyy käyttämään muita ohjelmia ja kolmesta eettiseen päätöksentekoon tarkoitettuun ohjelmaan. Järjestelmä kerää tietoa tapauksesta sekä aiemmista tapauksista, analysoi tiedot ja ehdottaa ratkaisua analyysin perusteella. Järjestelmään voidaan liittää lisää eettiseen päätöksentekoon tarkoitettuja tekoyhteisöjä, kun niitä kehitetään.	Yhdenmukaistaa erilaisia eettisiä näkökulmia, vähentää hoitohenkilökunnan moraalisia ehdotuksia ja moraalista baaskaa sekä parantaa päätösten laatua ja johdonmukaisuutta monimuotoisissa ja epäoimallaissa kliinisissä ympäristöissä.	Toiminta perustuu korkealaatuisiin, puolueettomiin ja kattuihin aineistoihin, joiden saatavuus on huono. Tulosten validointi on hankalaa, koska oikean vastauksen määrittäminen on vaikeaa. Toteutus voi ylikinertästä liian monimuotoisista eettisistä kysymyksistä.
Han & Choi, 2025	Ensiapuosaajan potilaiden hoitoon, hoitoon suunnittelu ja ensiapuhoidon resurssien hallinta.	Neijä ensiapuklinikan rooleja mallintava tekoyhteisö, joka on järjestetty CrewAI:n avulla ja perustuu Llama-3-70B suureen kiellimallin, farmaseutti-, luokitte- ja ensiapuääkärin agentit hoitavat omia tehtäviään perustuen tietoonsa Internet hakuun ja lääketeollisiin ohjesääntöihin tai tietokantoihin. Hoitava lääkäri agentti yhdistää tiedot ja ehdottaa hoitosuunnitelmaa ja hallinnointi strategiaa.	Moniagenttijärjestelmä pärjää arvioinnissa paremmin kuin yksittäisen agentin perustava järjestelmä. Järjestelmän onnistunut testi osoitti tekemisen diagnoosin ja määrättyjen hoitojen kriteerityyden, joka tarkoittaa, että se voisi parantaa ensiapuhoidon laatua ja turvallisuutta pienentämällä ensiapuhoidon työntekijöiden kognitiivista rasitusta.	Vastuu jakautuminen, ehdotusten läpimurtoisuus/tehtävyyden, puolueellisuus.
Hongym., 2024	Yleinen kliinisen päätöksenteon tuki (diagnosoidun hoidon valinta).	Koivne GPT-4 kiellimallilla hyödynytävä agentti, joka käyvi keskustelua muodostuakseen kliinisen hoidon suositusten potilaan oireiden perusteella. Generaattori agentti ehdottaa mahdollisia hoitoja perusteluineen, tarkastaja arvioi ehdotuksia esittämällä kriittisiä kysymyksiä ehdotuksia koskien ja vastaa näihin kysymyksiin ja joko hyväksyy ehdotukset. Hyväksytyksen tapauksessa hyväksynnän syy esitellään generaattorille, joka pyrkii kumoamaan syyn argumentoimalla. Päätelijä seuraa viittäviikettä lopullisen päätöksen, miltä ehdotukset esitellään järjestelmän käyttäjälle.	Suorutuu paremmin kuin kiellimalli yksinään, ehdotukseen päätyminen on selkeämpää ja järjestelmä ehdottaa keuhkojen perustelut, agenttien välinen välittely vähentää halluinaatioita.	Kiellimallilla mahdollisesti riittämättömät lääketieteelliset tiedot.
lapascuta, 2025	Verenmyrkytyksen hoito lehtosaatolla.	Koivne Palmyra-Med 70B kiellimallin perustava ja CrewAI:lla järjestetty agentti. Verenmyrkytyksen hoito agentti tarjoaa kirjallisuuteen pohjautuvia suosituksia tapauksen hoitoon, antibiootien suositteija agentti suositelee antibiootteja huomioiden tapauskuvauksessa mainitut infektiokohdat ja piirteet, ohjesääntöjen noudattamisen valvoja agentti varmistaa, että muiden agenttien suositukset ovat kirjassa parhaiden käytäntöiden kanssa. Agentti hyödyntyvä haku tukevaa generointia (engl. retrieval-augmented generation (RAG)) tietokantaan ja vastauksen antamisen tukena.	Mahdollisuus määrätä hoito nopeasti, ennen kuin mikrobiologit viijelytulokset ovat saatavilla. RAG käyttö vähentää halluinaatioita.	Aloit halluinaatioille, ihmisen on tarkistettava ja arvioitava järjestelmän antamat suositukset.
R. U ym., 2025	Alzheimerin taudin ennustaminen yksittäisten kliinisten tietojen perusteella.	Data lounha agentti (hienosäädetty LLaMa 3.1 8B opetus malli (engl. instruct model)) eroittelee Alzheimerin taudin (AT) liittyvät merkit ja oireet henkilöistä pikittään kerätyistä terveydetiedoista ja koostaa AT profiilin. AT profiilin tuki erikseen kuvaava lääketieteen eri aloihin erikoistunutta tekoyhteisöä (LLaMa 3 70B suuri kiellimalli). Viisi muuta antavat analyysiä AT:hen erikoistuneille agentille, joka koostaa lopullisen riskin arvon.	Järjestelmä tunnistaa alkavan AT aikaisemmin kuin ihminen ja todennäköisemmin kuin yksittäinen kiellimalli. Moniagentti erikehittynyt ansioita päätehtäviin parempi selitteellisyys.	Järjestelmä vaatii vähintään viittäviikettä terveydetietoja vähintään viidessä vuodessa.
H. U ym., 2025	Yleinen kliinisen päätöksenteon tukijärjestelmä lääketieteellisen tiedon hakujärjestelmä.	Potilaan oireiden perusteella usea eri aloihin erikoistunut lääkäriagentti etsii tietoa kirjallisuudesta tietograafin (engl. knowledge-graph (KG)) ja haku tukevan generoinnin (engl. Retrieval-Augmented Generation (RAG)) avulla. Erikoistuneet agentit keskustelevat löydöksiään ja koordinoivat agentit koostaa sen perusteella diagnoosin ja järjestelmä tarjoaa käyttäjälle raportin.	Moniagenttijärjestelmä suorittui testeissä paremmin kuin yksittäinen kiellimalli tai RAG yksinään. Tarjoaa tietoa, joka on tarkkaa ja kontekstuaalisesti johdonmukaista ja merkityksellistä. Parempi luotavuus, modulaarisuus ja skaalautuvuus. Helppu osittain määrittäminen.	Harvinaisten tautien ja monimuotoisten tapauksien käsittely hankalaa datan määrän rajallisuudesta johtuen. Järjestelmä ei pysty luottamukselliseen tiedon käsittelyyn. Suuren samanaikaisen pyynnön käsittely heikkoa.
Liu ym., 2024	Yleinen kliinisen päätöksenteon tuki tietoa hakemalla ja yhdistämällä, jossa keskeisyyden monien sairauksien yhteisintymiseen ja yksilöllistämiseen.	Useampi GPT-4 kiellimallilla toimiva agentti kerää tietoa eri lähteistä, eroittelee tiedot PICCOAS-mallin mukaisesti ja esittää perustellut tiedot käyttäjälle. Koostuu suunnittelu-, tieto hallinnoija-, mallin valitsija-, perusteluiden listitsijä-, ja lopputuloksen varmistaja agentista.	Lisääntynyt selitteellisyys, ohjeiden automaattinen päivitys luotettavampi kirjallisuuden perusteella, monien sairauksien yhteisintymisen johtaminen, luotavuuden lisääntyminen ohjaimilla kiellimallilla ohjesääntöillä ja tulosten varmistamisella ja usean agentin yhteistyössä.	Koordinoiminen tehokkuutta ja päätehtävyyden optimointi tarvitaan.
Liu ym., 2025	Määritysjoukkojen optimointi (engl. optimizing order sets).	Viisi GPT-4o kiellimallin pohjautuvaa agenttia, joista neljä hakee tietoa ja yksi listitsijä ehdotuksen muiden agenttien tarjoamien tietojen perusteella. Tiedonhaku agentit hyödyntyvä haku tukevaa generointia (RAG).	Tarjoaa systemaattisen ja skaalautuvan, todisteisiin perustuvan ratkaisun tehokkaasti, joka muuten vaatii kiintoikkoi manuaalista työtä.	Ehdotukset eivät hyödyntyvä kliinisen konkretian puuttuen vuoksi.
Ogün ym., 2025	Yleinen diagnosipäätösten tuki.	Koostuu viidestä erikoistuneesta agentista, jotka suorittavat kliinisiä päätöksentekoprosessin osia. Järjestetty CrewAI monikerroksinen mallin, jossa agentit tekevät yhteistyötä henkilökohtaisen prosessivirtojen ja dynaamisten päätöksentekojen kautta. Tiedonhaku yhdistetty haku tukevaa generointi (RAG). Yksi agentti koostaa muiden agenttien tarjoamat tiedot. Eri agentit käyttävät eri kiellimalleja.	Kliinisten päätöksentekokäytäntöjen tarkkuuden, luotavuutta ja kontekstuaalisen sopivuuden parantaminen. Modulaarisuuden ansiosta voidaan helposti muokata eri olosuhteisiin sopivaksi ja sen oppimiseen perustuva toteutus tarjoaa mukavutun alustan.	Suorituskyky voi vaihdella harvinaisissa/moniairaustapauksissa, laiskemallinen kuumitus ja toistuva resurssien käyttö, halluinaatioiden riski läpilytty huomioida, verkosta saatavien todisteiden laatu/laatuus voi rajoittaa luotavuutta, reaaliaikainen käyttö oppimiseen perustuva toteutus tarjoaa mukavutun alustan.
Ruiz Mejia & Rawat, 2025	Automaattisesti potilaiden luokitte- (engl. triage) ja ajanvaraus potilaiden ja hoitohenkilökunnan optimaaliset kohdentamiseksi.	Hierarkisesti järjestettyä kiellimallin pohjautuvia agentteja, jotka yhteistyössä Gale-Shapley-vastavuus algoritmin ja tietograafin avulla määrittävät potilaan tilan kiireellisuuden ja vuorovaikuttavat tietokantojen kanssa varataksien potilaalle tarvittavan hoidon.	Parempi toiminnan tehokkuus, resurssien jakautuminen ja potilaiden ja palveluntarjoajien kohdentuminen.	Viiveet työkalujen välillä, pikäkestoisen kontekstin hallinnan haastavuus.
Qiao ym., 2025	Leikkauksen jälkeisen hoitotyön tuki riskienhallinnassa ja interventioiden suunnittelussa.	Monitorointi-, ennustus-, simulointi-, päätös- ja kommunikointi agenttien rinnakkainen toiminta, perustuu potilaan digitaaliseen kaksoseen, riskimallin ja interventioiden arvioinnin sekä virustaisen ja todellisen vuorovaikutuksen optimoinnin. Päätös agentti tunni kadmallin avulla ja antaa suosituksia monitorointi-, ennustus- ja simulointi agentin luottamisiin tietoihin perustuen, kommunikointi agentti agenttien välisen kommunikation määrittämisen lisäksi tarjoaa suositukset käyttäjälle ja pyytää kertomaan lisää tietoja, jotka jätteen syöteään monitorointi agentille. Järjestelmä on yhdistetty elektronisiin potilastietojärjestelmiin HIPAA regulaatioita noudattavan salauksen mukaisesti. Ehdotukset hoitajalle käytettävänä kautta.	Vähentää leikkauksen jälkeisiä riskejä ja parantaa potilaiden tyydytyä. Parantaa hoidon ajan ennakoivaa hoitoa, what-if simulointi parantaa hoitotoimenpiteiden valintaa, suljetun silmukan oppiminen yhdenmukaistaa virtuaaliset ennusteet todellisten tulosten kanssa. Heijastaa hoito timentä työntekijä, tukee reaaliaikaisia päätöksiä ja mahdollistaa tulosten välisen tiedon jakamisen.	Riippuvuus tieteellisten mallien/tietopohjan laadusta, multimodaalisen tiedon yhdistäminen ja reaaliaikaisen rajoitukset haaste. Vaatii ihmisen valvontaa, halluinaatioiden mahdollisuus.