

Algoritmien käyttö dementian diagnosoinnissa

TURUN YLIOPISTO
Tietotekniikan laitos
TkK-tutkielma
Lääketieteellinen tekniikka ja terveysteknologia
Maaliskuu 2025
Saara Mäkelä

TURUN YLIOPISTO
Tietotekniikan laitos

SAARA MÄKELÄ: Algoritmien käyttö dementiaan diagnosoinnissa

TkK-tutkielma, 28 s.

Lääketieteellinen tekniikka ja terveysteknologia

Maaliskuu 2025

Dementia on kattotermi, joka kuvaa eri kognitiivisten toimintojen heikkenemistä. Dementia alkaa salakavalasti ja se diagnosoidaan usein vasta kun se on edennyt jo pitkälle. Dementiaa sairastaa miljoonat ihmiset ja siitä on heidän lisäksi haittaa heidän läheisilleen.

Tutkielma on toteutettu kirjallisuuskatsauksena ja siinä pyritään selvittämään, voidaanko dementiaa diagnosoida käyttämällä siihen koulutettuja algoritmeja, millaisia menetelmiä on käytetty ja voidaanko dementiaan diagnoosin saamista aikaistaa näitä menetelmiä käyttämällä. Siinä käydään myös läpi, voidaanko eri dementiaan tyyppiä tunnistaa algoritmeilla. Tutkielmassa perehdytään algoritmeihin, jotka ennustavat dementiaa kyselydatan ja kognitiivisten testitulosten perusteella. Tutkielmassa käydään läpi algoritmien eettisiä haasteita diagnostiikassa, nykyisiä koneoppimis-menelmiä ja niillä saavutettuja tuloksia.

Tutkielman tuloksena selvisi, että nykyisillä algoritmeilla ei pystytä diagnosoimaan dementiaa. Kehitetyt algoritmit ja menetelmät eivät ole tarpeeksi kehittyneitä, että niillä voitaisiin luotettavasti antaa dementiadiagnoosia, saati että diagnoosia voitaisiin aikaistaa. Dementia-algoritmien kehittämisessä on käytetty pääosin koneoppimisen menetelmiä, mutta myös neuroverkot ovat herättäneet kiinnostusta. Dementiaan eri tyyppiä ei voida algoritmeilla tunnistaa, koska nykyiset menetelmät keskittyvät enemmän dementiaan eri tasojen tunnistamiseen.

Asiasanat: dementia, diagnosointi, algoritmi, koneoppiminen

Sisällys

1 Johdanto	1
2 Dementia	5
2.1 Alzheimerin tauti	5
2.2 Vaskulaaridementia	6
2.3 Lewyn kappale -dementia	7
2.4 Frontotemporaalinen dementia	8
3 Algoritmien eettiset haasteet diagnostiikassa	10
4 Algoritmit dementian diagnosoinnissa	14
4.1 Kognitiiviset testit algoritmien kehittämisen pohjana	14
4.2 Algoritmien käyttämät tietojoukot	15
4.3 Käytetyt menetelmät	16
4.4 Menetelmillä saadut tulokset	19
4.5 Menetelmien haasteet	20
5 Pohdinta	23
6 Yhteenveto	27
Lähdeluettelo	29

Termistö

bvFTD frontotemporaalisen dementian käytöksellinen variantti (engl. behavioral variant frontotemporal dementia)

GNB Gaussian Naïve Bayes

KNN K-lähintä naapurua (engl. K-Nearest Neighbor)

PPA frontotemporaalisen dementian kielellinen variantti (engl. primary progressive aphasia)

SVM tukivektorikone (engl. Support Vector Machine)

1 Johdanto

Väestön ikärakenne muuttuu vanhemmaksi ja eliniät pitenevät. Tämä tarkoittaa, että ikääntyneiden ihmisten sairaudet tarvitsevat entistä enemmän huomiota. Yksi näistä sairauksista on dementia. Maailmassa on tällä hetkellä yli 55 miljoonaa ihmistä, joilla on dementia¹. Dementian mielletään usein tarkoittavan muistin heikkenemistä ja siitä puhutaan usein arkikielessä muistisairautena. Usein sairaudet, jotka ilmenevät muistin heikkenemisenä, niputetaan dementiaksi. Dementia on kuitenkin kattotermi, joka kuvaa joukkoa oireita, jotka aiheuttavat kognitiivisia häiriöitä. Dementian aiheuttamia kognitiivisia häiriöitä ovat esimerkiksi agnosia eli aivoperäinen havaitsemishäiriö ja afasia eli aivoperäinen puhehäiriö[1].

Terveysteknologiaa hyödyntämällä pyritään löytämään edullisempia ja saavutettavampia hoitokeinoja sairauksien hoitoon. Algoritmien ja koneoppimisen käyttöä on tutkittu useilla eri lääketieteen aloilla. Niiden käyttäminen esimerkiksi poikkeavuuksien tunnistamiseen aivojen tietokonetomografiasta on tuottanut lupaavia tuloksia. Jos algoritmeilla voitaisiin saavuttaa aikaisempi diagnoosi, se voisi osittain vähentää dementian yhteiskunnallista taakkaa ja parantaa potilaan ja hänen hoitajiensa elämänlaatua[2]. Vakavan kognitiivisen heikentymisen esiintyvyyttä, ja siten terveydenhuollon kustannuksia, voitaisiin vähentää, jos pystyttäisiin tunnistamaan jo pelkkä kognitiivinen häiriö[3]. Kun koneoppimista ja algoritmeja hyödynnetään diagnostiikassa, täytyy pohtia asiaa myös eettiseltä kannalta. Kuinka paljon voidaan luottaa

¹<https://www.who.int/health-topics/dementia>, viitattu 17.10.2024

koneoppimisen saavuttamaan diagnoosiin ja kuka on vastuussa, jos diagnoosi on väärä? Täytyy olla selvää millä perusteilla algoritmi toimii ja kuinka jäljitettävää sen toiminta on.

Tutkielmassa on tarkoitus tutkia, voidaanko algoritmeja hyödyntää dementian varhaisessa diagnosoinnissa, jotta dementiadiagnoosit saataisiin aiemmin ja hoidot voitaisiin aloittaa varhaisemmassa vaiheessa. Jos tämä on mahdollista, halutaan myös selvittää, mitä eri dementian tyyppisiä algoritmeilla voidaan tunnistaa. Tutkielma keskittyy algoritmien käyttöön dementian diagnosoinnissa hyödyntäen erilaista kyselydataa. Tutkielma ei käsittele algoritmien käyttöä kuvantamismenetelmien kanssa, koska tutkielmassa pyritään selvittämään, miten dementia pystytään tunnistamaan mahdollisimman varhaisessa vaiheessa. Dementiaa seulotaan erilaisilla kognitiivisilla testeillä, jolloin varhaiset merkit sairaudesta näkyvät ensimmäisenä näiden testien tuloksissa ja kyselydatassa. Tutkimuskysymykset ovat:

1. Millaisilla menetelmillä dementiaa on yritetty diagnosoida algoritmeja hyödyntäen?
2. Voidaanko algoritmien avulla aikaistaa dementian diagnoosin saamista?
3. Mitä eri dementian tyyppisiä voidaan algoritmeilla tunnistaa?

Tutkielma toteutettiin kirjallisuuskatsauksena. Tutkielmaa varten lähteitä haettiin PubMed-, Web of Science-, IEEE Xplore- ja Volter-tietokannoista. Aiheen taustoitukseen eli dementiaan ja sen tyyppisiin haettiin lähteitä Volter-tietokannasta hakulausekkeella *dementia*. Hakulauseke oli erittäin laaja ja se tuotti yli 300 000 tulosta. Niistä valikoitui kaksi varsinaiseksi lähteiksi. Lähteitä valikoitui vain kaksi, koska ne olivat itsessään jo tarpeeksi laajoja ja kyseisten lähteiden oli tarkoitus olla vain dementian taustaa ja dementian tyyppisiä esitteleviä. Juuri nämä lähteet valikoituivat sen takia, että toinen oli aivan tuore 2024 vuonna julkaistu artikkeli ja toinen oli oppikirja. Oppikirja oli vanhempi kuin muut tutkielmassa käytetyt läh-

teet, mutta sen sisältämä tieto on edelleen paikkansapitävää. Artikkelin puolestaan kattoi uusimmat tiedot dementian tyypeistä.

Tutkielman varsinaiseen aiheeseen haettiin lähteitä hakulausekkeella (*dementia AND diagnos**) *AND algorit**. Web of Science tietokannassa tämän hakulausekkeen tulosta rajattiin vain englanninkielisiin ja vuoden 2019 ja sitä uudempisiin lähteisiin. Hakulauseke rajattiin hakemaan julkaisuiden aiheesta, jolloin saatiin 1047 tulosta. Tulosta karsittiin laajasti otsikoiden perusteella ja vielä tarkemmin tutustumalla julkaisuun. Lähteitä valittiin lopulta 11. Yksi näistä lähteistä oli kirjallisuuskatsaus kone- ja syväoppimisalgoritmien käytöstä dementian tyyppien määrittelyssä. Aihe oli erittäin lähellä tämän tutkielman aihetta, joten kirjallisuuskatsauksesta saatiin lisää lähteitä tutkielmaan. PubMed-tietokannasta haettiin hakulausekkeella (*"dementia"[MeSH Terms] AND (diagnos*[Title]) AND (algorit*[Title])*). Haku rajattiin jälleen vuoteen 2019 ja sitä uudempisiin julkaisuihin ja pelkkiin otsikoihin. Hakulauseke tuotti 25 tulosta, joista yksi valittiin. Monet lähteet karsittiin pois siksi, että ne keskittyivät algoritmien käyttöön kuvantamismenetelmissä ja niiden tulosten analysoinnissa. Lähteiden suuren karsiutumisprosentin myötä huomattiin, että tutkielmaan olisi voinut olla enemmän lähteitä tarjolla, jos siinä olisi keskitytty kuvantamismenetelmien ja algoritmien yhteiskäyttöön. IEEE Xplore -tietokannassa käytettiin hakulauseketta (*"Abstract":dementia) AND ("Abstract":diagnos*) AND ("Abstract":algorit*) NOT ("Abstract":imagi*) NOT ("All Metadata":MRI) NOT ("All Metadata":PET)*). Haku rajattiin myös vuotta 2019 uudempisiin julkaisuihin. Tuloksia saatiin 85 ja niistä valittiin viisi.

Algoritmien eettisyyttä käsittelevään lukuun haettiin lähteitä Volter-tietokannasta hakulausekkeella (*algorithms AND diagnostics) AND ethical*. Hauista valittiin yksi lähde, jonka lähdeluettelosta löydettiin useampi lähde käyttöön. Muutenkin koko kirjallisuuskatsauksessa löydettiin tietokannoista löytyneiden artikkeleiden lähdeluetteloista hyviä lähteitä, joita käytettiin tässä kirjallisuuskatsauksessa.

Tutkielman luku 2 taustoittaa dementiaa ja sen keskeisimpiä tyyppejä. Luvussa käydään läpi tyyppien keskeisimmät oireet, jotta pystytään erottamaan dementian tyypit toisistaan. Dementian tyypit halutaan pystyä erottelemaan toisistaan, jotta seuraavissa luvuissa voidaan pyrkiä vastaamaan tutkimuskysymykseen kolme. Luvussa 3 perehdytään algoritmien käytön eettisiin haasteisiin. Luvussa käydään läpi mitkä eettisiä haasteita koneoppimisen ja algoritmien käyttö diagnostiikassa yleensä luo ja mitkä niiden eri menetelmien eettiset haasteet ovat. Luku 4 keskittyy algoritmien käyttöön dementian diagnosoinnissa. Luvussa perehdytään dementian diagnosoinnissa käytettyihin menetelmiin, algoritmien käyttämiin tietojoukkoihin, käytettyihin algoritmisiin menetelmiin sekä niiden tuloksiin ja haasteisiin. Luku 5 on pohdinta, jossa käydään läpi tutkielmassa esiin tulleita havaintoja ja näkemyksiä. Luvussa 6 käydään yhteenvetona läpi tutkielma ja tutkimuskysymysten vastaukset.

2 Dementia

Dementia on oireyhtymä, joka ilmenee erilaisten kognitiivisten toimintojen heikkenemisenä. Muistin heikkeneminen on monien dementian tyyppien keskeisin oire, mutta dementiaan kuuluu joukko erilaisia oireita. Dementian edetessä kognitiivisten toimintojen heikkeneminen vaikeuttaa merkittävästi jokapäiväisiä toimintoja.[1]

Dementian yleisempiä tyyppejä ovat Alzheimerin tauti, vaskulaaridementia, Lewyn kappale -dementia ja frontotemporaalinen dementia[1]. Dementian eri tyypit yleensä ilmenevät erilaisin oirein, mikä mahdollistaa dementiatyyppien erottamisen toisistaan. Tyypeillä on kuitenkin myös paljon yhteisiä kliinisiä piirteitä

2.1 Alzheimerin tauti

Alzheimerin tauti on yleisin dementian syy. Alzheimerille on tyypillistä, että se alkaa huomaamattomasti. Sen oireet pahenevat pikkuhiljaa, ja sairaus huomataan yleensä vasta kun oireet vaikuttavat henkilön elämää. Alzheimerin tunnusomaisia oireita ovat oppimisen ja asioiden yhdistelyn heikkeneminen muistin heikkenemisen rinnalla.[4] Sairauden edetessä muistin heikentyminen lopulta vaikuttaa myös toimenpanotoimintoihin ja näönvaraisiin toimintoihin[1]. Alzheimeriin liittyy usein semanttisen tiedon, eli sanojen merkitysten ja esineitten ominaisuuksien, ja kielitaidon heikentyminen. Kielitaidon heikentyminen aiheuttaa vaikeuksia suullisessa sujuvuudessa ja sanojen löytämisessä. Kielellisten taitojen heikentyminen on vahvasti kytköksissä semanttisen tiedon ja muistin menetykseen. [4]

Alzheimerin taudin yleisin oire on muistin heikentyminen, mutta siitä on olemassa myös ei-amnestisia muotoja. Ei-amnestisissa muodoissa muistin heikentyminen ei ole pääoire, vaan muu kognitiivinen heikentyminen on huomattavampaa. Esimerkiksi vaikeudet tuottaa puhetta, ratkaista yksinkertaisia matemaattisia pulmia, hahmottaa tilaa ja tehdä koordinoituja liikkeitä käsillä ovat eri ei-amnestisten Alzheimerin taudin muotojen oireita. Tällainen on esimerkiksi frontaalinen Alzheimerin tauti, jolle on ominaista persoonallisuuden ja käyttäytymisen muutokset.[4]

2.2 Vaskulaaridementia

Vaskulaaridementia eli merkittävä vaskulaarinen neurokognitiivinen häiriö on demensioireyhtymistä toiseksi yleisin.[4] Vaskulaaridementia ei ole hermostoa rappeuttava dementia, koska sen aiheuttaa aivojen verenkierrossa tapahtuneet muutokset[5]. Sen kliininen ilmenemismuoto saattaa vaihdella suuresti, riippuen siitä, millaisesta verenkierron muutoksesta ja sen sijainnista on kyse. Aivoinfarkti ja valkean aineen muutosten aiheuttamat vauriot verisuonissa ovat esimerkkejä sairauksista, joiden patologinen luonne ja sijainti eroavat toisistaan, mutta ne molemmat aiheuttavat vaskulaaridementiaa. Aivohalvauksen jälkeinen vaskulaaridementia ja vaskulaaridementia ilman viimeaikaista aivohalvausta ovat vaskulaaridementian merkittävimmät oireyhtymät.[4]

Kun aivohalvauksen jälkeen pystytään toteamaan, että verisuonien muutokset ovat syy kognitiiviselle heikkenemiselle, voidaan todeta, että kyseessä on aivohalvauksen jälkeinen vaskulaaridementia. Merkki mahdollisesta vaskulaaridementiasta on aivoparenkyymin vahingoittuminen infarktien seurauksena.[1] Aivohalvauksen jälkeisessä vaskulaaridementiassa kognitiivinen heikentyminen on kytköksissä niihin aivoalueisiin, joiden alueella aivohalvaus tapahtui. Kognitiivinen heikentyminen on nähtävissä heti aivohalvauksen jälkeen. Vaskulaaridementia, joka ilmenee ilman viimeaikaista aivohalvausta, johtuu vähitellen etenevästä verisuoniperäisestä aivovau-

riosta. Tämä sairauden muoto etenee huomaamattomasti ja kognitiivinen heikentymien on haasteellisempaa huomata.[4] Vaskulaaridementian tyypillisimpiä oireita ovat muun muassa huomion, arvostelukyvyn ja päättelyn huononeminen[5]. Vaskulaaridementia on siis esimerkki dementian tyypeistä, jossa muistin heikkeneminen ei ole ensisijainen oire.

2.3 Lewyn kappale -dementia

Lewyn kappale -tautiperheeseen kuuluvat Lewyn kappale -dementia ja Parkinsonin taudin dementia. Kummankin tilan pääasiallinen patologinen piirre on hermosolukatoon johtava aivojen alfasynukleiinien epänormaali kertyminen eli Lewyn kappaleet.[4]

Parkinsonin taudin dementiaa ja Lewyn kappale -dementiaa yhdistää useat kliiniset samankaltaisuudet, kuten kognitiiviset, uni- ja motoriset oireet. Kuitenkin motoristen oireiden ilmestyminen suhteessa kognitiiviseen heikentymiseen esiintymiseen on tärkein ero näiden dementioiden välillä.[4] Lewyn kappale -dementiassa yleensä diagnosoidaan dementia, ennen kuin motorisia oireita on havaittavissa. Useimmissa tapauksissa dementia ilmenee ennen motorisia oireita tai vaihtoehtoisesti ne ilmenevät suunnilleen samanaikaisesti. Parkinsonin taudin dementia puolestaan ilmenee potilailla, joilla on diagnosoitu Parkinsonin tauti aikaisemmin motoristen oireiden vuoksi. Eli Parkinsonin taudin dementiaa voi ilmetä vasta motoristen oireiden puhkeamisen jälkeen, usein vähintään vuoden kuluttua Parkinsonin taudin puhkeamisesta.[5] Parkinsonin taudin dementia voi puhjeta vasta useiden vuosien jälkeen[1]. Tarkkaavaisuus, muisti ja näönvaraiset taidot ovat Lewyn kappale-dementiassa tyypillisimmin heikentyvät kognitiiviset alueet. Lewyn kappale -dementiassa muistin heikkeneminen vaikuttaa myös toimeenpanotoimintoihin, mikä ilmenee vaikeutena noutaa sanallisia ja näönvaraisia muistikuvia. Huomattavin ero Lewyn kappale -dementian ja Alzheimerin taudin välillä, on Lewyn kappale -dementiaan liittyvä

vakavampi ja nopeammin kehittyvä näkökyvyn heikentyminen.[4]

Lewyn kappale -dementia ilmenee vaihtelevina ja erilaisina oireina, mutta sen keskeisimpiä oireita ovat tarkkaavaisuuden ja valppauden heikentyminen, toistuvat näköharhat ja REM-unen häiriöt[5]. Parkinsonin dementiaan puolestaan liittyvät vahvemmin erilaiset käyttäytymispiirteet, kuten välinpitämättömyys, masentunut mieliala ja harhaluulot. Näönvaraisten kykyjen heikkenemisestä johtuen Lewyn kappale -dementiaa sairastavat yleensä suoriutuvat Parkinsonin taudin dementiaa tai Alzheimerin tautia sairastavia huonommin monimutkaisten kuvioiden kopioimisesta.[4]

2.4 Frontotemporaalinen dementia

Etenevän otsa-ohimolohkon rappeumasta johtuvien neurokognitiivisten häiriöiden ryhmää kutsutaan frontotemporaaliseksi dementiaksi[4]. Sairaudesta on olemassa kaksi tyyppiä, joista toinen ilmenee kielellisenä heikentymisenä (PPA) ja toinen käytöksen muutoksina eli käytöksellisenä varianttina. (bvFTD)[1].

PPA jakautuu vielä kahteen tyyppiin, puheeseen liittyvään tyyppiin ja semanttiseen tyyppiin. Puheeseen liittyvässä tyypissä puheen ja sanojen tuottamisessa on häiriö eli niiden tuottaminen on haastavaa tai ne tulevat ulos erilaisena kun on tarkoitettu. Semanttisessa tyypissä asioiden nimeämisessä ja semanttisessa tiedossa on häiriö. Eli sanojen merkityksien ja esineitten ominaisuuksien ymmärtämisessä on hankaluuksia.[5] Frontotemporaalinen dementia alkaa yleensä nuoremmalla iällä kuin muut dementiat. Siksi jos se alkaa nuorena, sen oireet voivat kehittyä käyttäytymisen piirteiksi. Se voi aiheuttaa aivoihin pienten alueiden epäsymmetrisiä surkastumisia, jotka on diagnosoitavissa frontotemporaaliseksi dementiaksi aivojen kuvista.[1] Myös PPA, kuten monet muut dementian tyypit, alkaa huomaamattomasti ja etenee asteittain. Sille keskeisiä oireita ovat puheen tuottamisen, kieliopin ja ymmärtämisen puutteet. Muutkin kognitiiviset alueet kuin kielellinen ymmärtäminen

ja tuottaminen voivat olla heikentyneet, mutta ne ovat selkeimmät PPA:han liittyvät oireet. PPA:n tyyppeihin liittyy vaihteleva määrä oireita, joiden laaja-alaisuus vaihtelee myös. Kuitenkin PPA:n molemmilla tyypeillä ilmenee myös vaikeuksia lukemisessa ja oikeinkirjoituksessa.[4]

BvFTD eli käytöksellinen variantti ilmenee muutoksina käytöksessä ja sosiaalisissa tilanteissa. Tyypillisiä oireita on sosiaalisen toimintakyvyn laskeminen, persoonallisuuden muutokset ja kognition asteittainen heikentyminen.[4]. BvFTD:n kuuluu monia erilaisia käyttäytymisen piirteitä, kuten välinpitämättömyyttä, myötätunnon ja empatian menetystä. Lisäksi sille tyypillisiä ovat myös suuret käytökselliset häiriöt, kuten käytöksen estottomuutta, pakko-oireita ja ruoan ahmimista. Sairaus usein ilmenee erilaisten käytösoireiden yhdistelmänä.[6] Käytöksellisessä variantissa näönvaraiset kyvyt ja tapahtumamuisti eivät tyypillisesti heikkene, vaan säilyvät suhteellisen muuttumattomina[1]. Myös tietynlaiset puutteet toiminnanohjauksessa kuuluvat bvFTD:n oireisiin. Tämä voi ilmetä esimerkiksi henkisen joustavuuden puuttumisena tai abstraktin päättelykyvyn heikkenemisenä. Frontotemporaalisen dementian käytöksellinen malli ja frontaalinen Alzheimerin tauti jakavat samoja piirteitä, sillä molempiin liittyy persoonallisuuden ja käytöksen muutokset.[4]

3 Algoritmien eettiset haasteet diagnostiikassa

Koneoppiminen on tekoälyn osa-alue. Koneoppimisessa on olemassa monia erilaisia koneoppimismenetelmiä ja -malleja, jotka hyödyntävät tilastollisia ja todennäköisystekniikoita oppiakseen ja löytääkseen datasta erilaisia yhtäläisyyksiä ja piilossa olevia kuvioita. Koneoppiminen on mahdollistanut suurtenkin datajoukon nopean ja skaalautuvan käsittelyn. Tämä on ehdoton hyöty monimutkaisen potilasdatan käsittelyssä ja koneoppimisen käyttö onkin luonut uusia mahdollisuuksia terveydenhuoltoon.[7] Koneoppimismenetelmien käyttö potilasdatalla luo eettisiä ongelmia. Näitä ovat algoritmien vinoumat, tietoturva ja potilaan yksityisyys. Algoritmien vinoumilla tarkoitetaan, että koneoppimismenetelmä voi oppia potilasdatasta väärää asioita, kuten ennako-oletuksia, joita se voi kohdistaa ihmisryhmiin. Vinoumat voivat aiheuttaa syrjintää tai epäoikeudenmukaista kohtelua jotakin potilasryhmää kohtaan. Näitä vinoumia voi kehittyä, jos tietojoukko ei ole tarpeeksi laaja, mutta toisaalta valtava tietojoukko, joka sisältää paljon tietoa jolla ei välttämättä ole toiminnan kannalta merkitystä, voi aiheuttaa myös saman ilmiön. Vinoumien välttämiseksi koneoppimismenetelmiä tulisi kouluttaa tietojoukoilla, joista vinoumat on poistettu ja joka on mahdollisimman tasapainoinen. Potilaiden yksityisyyttä ja luotamuksellisuutta tulisi suojella estämällä koneoppimismenetelmiä oppimasta turhan yksityiskohtaisia tietoja potilaista.[8]

Koneoppimisella on eri suuntauksia. Niistä tunnetuimmat ovat ohjattu ja ohjaamaton oppiminen. Niiden käyttötavat ovat erilaiset, ohjatussa oppimisessa algoritmile annetaan esimerkkejä joilla on luokat, joiden avulla sen tulisi oppia luokittelemaan datapisteet oikeisiin luokkiin. Ohjaamattomassa oppimisessä algoritmin tulisi oppia pelkkien esimerkkien perusteella. Ohjaamatonta oppimista käytetään yleensä ryhmittelyyn. Esimerkiksi ohjatun oppimisen algoritmeilla on suhteellisen läpinäkyvä rakenne ja voidaan ymmärtää, miten menetelmä on tulokseen päätenyt. Jotkin algoritmit voivat olla hyvin kehittyneitä ja pystyvät itsenäisesti oppimaan uutta ja parantamaan suorituskyykyään. Nämä algoritmit kehittyvät ajan myötä ja ottavat käyttöön uutta tietoa niiden kertyessä ja näistä algoritmeista yleensä puhutaan musta laatikko -algoritmeina (engl. black box algorithms).[9],[10]

Musta laatikko -algoritmien ongelmaksiksi muodostuu kuitenkin se, että niiden kehittäjien on mahdotonta valvoa ja ymmärtää miten ne toimivat. Tämä on merkittävä ero verrattuna muihin koneoppimismenetelmiin, joiden toimintaa voidaan ymmärtää, koska silloin niiden tuloksiin voidaan myös luottaa enemmän. Musta laatikko -algoritmit usein tuottavat parempia ja tarkempia tuloksia, koska ne ovat kehittyneempiä ja suorittavat automaattisia prosesseja. Sen takia kiinnostusta niiden käyttöön myös potilasdatalla on ollut. Kuitenkaan niiden tuloksiin ei voida luottaa yhtä paljon, koska niiden prosessia tuloksen saamiseksi ei pystytä ymmärtämään eikä saada käsitystä niiden sisäisistä tiloista.[7] Tämä tarkoittaa, että ne ovat läpinäkymättömiä. Algoritmin tulisi antaa syy uskoa sen saavuttamiin tuloksiin, mitä musta laatikko -algoritmit eivät anna läpinäkymättömyytensä vuoksi.[10]

Koska musta laatikko -algoritmit ovat läpinäkymättömiä, ne luovat monia eettisiä huolenaiheita. Niihin voi liittyä läpinäkymättömyydestä johtuvaa harhaa ja ne voivat tuottaa epävarmoja tuloksia. Tärkeä huolenaihe on myös se, että jos musta laatikko -algoritmissa esiintyy syrjintää tai puolueellisuutta, me emme voi todentaa sitä. Toki joistakin tuloksista näkee, että algoritmi on tuottanut vinoutuneen tulok-

sen, mutta emme näe algoritmin sisälle ja ymmärrä missä kohtaa se tuottaa vinoutuneita tuloksia. Myös aina kun pohditaan algoritmien käyttöä potilasdataan, tulee kysymykseen vastuullisuuden näkökulma eli kuka on vastuussa tuloksesta. Musta laatiko -algoritmeissa on vaikea löytää kuka olisi vastuussa, sillä lääkärit eivät voi olla vastuussa tuloksista jotka on tuotettu algoritmilla, jota he eivät ymmärrä. Myöskään kehittäjät eivät kokonaan ymmärrä musta laatikko -algoritmeja, joten kukaan ei voi asettua tulosten taakse.[10] Haasteeksi muodostuu myös se, että niillä voidaan suunnitella olevan suuri vaikutuskapasiteetti. Jos kyseessä on esimerkiksi sovellus, jossa potilas voi olla vuorovaikutuksessa musta laatikko -algoritmin kanssa. Tällöin algoritmi voi aivan huomaamatta ohjata potilasta olemaan asiasta jotain tiettyä mieltä. Tällöin puhutaan potilaan autonomian heikentämisestä kliinisessä päätöksenteossa. Samoin ne voivat vaikuttaa lääkäreiden päätöksentekoon diagnoosin tai hoitosuunnitelman osalta, johon jälleen liittyvät vastuun ongelmat ammatillisesta näkökulmasta. Lääkäreiden päätöksiin vaikuttaminen luo ongelmia myös kliinisten tietojen tulkitsemiseen.[7] Ihmisten mielipiteisiin ja päätöksiin vaikuttaminen on huolestuttavaa, jopa vaarallista. Musta laatikko -algoritmit voivat pystyä siihen hyvin hienovaraisesti, eivätkä potilaat välttämättä huomaa lainkaan.

Monet lääketieteen alan tutkijat ovat väitelleet musta laatikko -algoritmeista. Toiset ovat sitä mieltä, että ne voisivat tarjota mahdollisuuksia, mutta suurin osa on sitä mieltä että niihin liittyy enemmän riskejä kuin hyötyjä. Useimpien mielestä musta laatikko -algoritmeja ei siis pitäisi hyväksyä lääketieteelliseen käyttöön.[10] Jos mietitään dementian diagnosointia algoritmien avulla, voisi eräs ratkaisu olla musta laatikko -algoritmi. Dementian alkuvaiheessa kognitiiviset heikentymiset ovat erilaisia eri dementian tyypeillä ja ne yleensä alkavat salakavalasti. Ylipäätään niiden kirjaaminen erilaisiin tietokantoihin varmasti vaihtelee lääkäristä riippuen ja niiden kuvailu voi olla haastavaa. Tässä tilanteessa musta laatikko -algoritmi, joka oppisi ennustamaan dementiaa pienistäkin oireista ja oppisi kokoamaan samanlaiset

oireet eri tavoin kuvattuina yhteen, voisi olla hyödyllinen. Kuitenkin lääketieteen alalla musta laatikko -algoritmilla on niin paljon haasteita, että sen käyttämisestä voisi olla enemmän haittaa kuin hyötyä. Siksi valkoisen laatikon malli (engl. white box model) eli koneoppimismalli, joka tarjoaa tuloksia, jotka liittyvät niiden malleihin, ja jotka ovat helppoja ymmärtää sovellusalueen asiantuntijoille olisi parempi vaihtoehto[11]. Kun puhutaan niinkin uudesta tutkimusaiheesta kuin dementian diagnosointi algoritmeja käyttäen, on tärkeää myös ymmärtää, miten kyseiseen diagnoosiin päädytään. Jos saataisiin selville, mitkä arvot ensimmäisenä saavat algoritmin ehdottamaan diagnoosin antamista, voisi näitä arvoja seurata tulevaisuudessa tarkemmin.

4 Algoritmit dementian diagnosoinnissa

Dementia diagnosoidaan lääkärin suorittaman monivaiheisen tutkimuksen perusteella. Tutkimuksessa tehdään kognitiivisia testejä, fysiologisia tutkimuksia, aivojen kuvantamista sekä verikokeita. Diagnoosiin kuluu siis paljon aikaa ja resursseja. Eri-
laiset kognitiiviset testit ovat ensimmäinen asia, mitä potilailla teetetään ja niiden tulosten perusteella jatketaan tutkimusta pidemmälle. Tätä prosessia voisivat keventää dementian tunnistamiseen kehitetyt algoritmit.

4.1 Kognitiiviset testit algoritmien kehittämisen pohjana

Dementian diagnosoinnissa tärkeitä ovat erilaiset kognitiiviset testit. Näistä testeistä saadaan dataa, jota voidaan käyttää algoritmien kehittämisessä. Muun muassa MMSE on yksi tällaisista testeistä. MMSE (Mini-Mental State Examination) on yleisesti käytössä oleva testi kognitiivisten toimintojen ja muistin toiminnasta[3]. Se on lyhyt testisarja, joka kartoittaa orientaatiota, muistia, tarkkaavaisuutta, kieltä ja hahmottamista. Tarkkaavaisuudessa havainnoidaan laskemista, kielessä havainnoidaan nimeämistä, toistamista ja kirjoittamista ja hahmottamisessa havainnoidaan kuvion kopiointia.[12] MMSE tehdään paperilla eli se vaatii fyysistä kykyä kirjoit-

taa ja piirtää. Henkilön täytyy siis pystyä pitämään kynää kädessä, muuten hän ei pysty suorittamaan testissä vaadittua kirjoittamista tai piirtämistä eikä siten koko testiä.[3]

MMSE:stä saatuihin testituloksiin vaikuttavat testiympäristö, henkilön väsymys ja jännitys sekä koulutus, mikä vaikuttaa tulosten luotettavuuteen[13]. Henkilön koulutustaso voi vaikuttaa merkittävästi kognitiivisten testien tuloksiin. Useimmiten kognitiiviset testit eivät tuota yhtä luotettavia ja tarkkoja tuloksia hyvin korkeasti koulutetuissa väestöryhmissä. Koulutustausta saa henkilön yleisellä tasolla menestymään kognitiivisissa testeissä paremmin, jolloin hänen heikentyneet pisteet ovat edelleen suhteellisen korkeat. Jotta korkeasti koulutetuissa väestöryhmissä saavutetaisiin tarkempia tuloksia, tulisi kognitiivisten testien raja-arvoja muokata. Toisaalta taas mielenterveyden häiriöstä, kuten psykoosista tai masennuksesta, kärsivät henkilöt suoriutuvat tavallisesti hieman huonommin kognitiivisissa testeissä.[14] Testi on standardoitu, mutta joissakin tilanteissa siinä tarvitsisi olla säädettävät raja-arvot, jotta se tunnistaisi erilaiset ihmiset paremmin. Koska testitilanteeseen ja -tulokseen vaikuttavat niin monet tekijät, voidaan siitä saadut ensimmäiset kognitiiviset heikentymiset arvella johtuvan ikääntymisestä tai testitilanteesta. Puolestaan testistä saadut muistisairauden merkit voivat olla jo pitkälle edennyttä dementiaa.

4.2 Algoritmien käyttämät tietojoukot

Dementia diagnosoitiin tarvitaan kokovaltainen tutkimus, joka sisältää erityyppisiä kliinisiä arviointeja. Näiden kliinisten arvioiden pohjalta pystytään koostamaan yhteenvedona diagnoosi. Dementia diagnosoitiin vaikuttavia tekijöitä ovat kliininen historia, biologiset, kognitiiviset ja toiminnalliset arvioinnit. Dementian tapauksessa kognitiiviset ja toiminnalliset arvioinnit ovat keskeisin osa kliinistä hoitopolkua, koska ne kertovat eniten sairauden etenemisestä ja tarjoavat parhaiten tietoa oireista. Vaikka MMSE on kognitiivisena testinä standardoitu, niin kognitiiviset arvioinnit

joilla seurataan taudinkuvaa eivät olet standardoituja. Niiden tarkkuus, herkkyys ja toteutustapa eivät ole aina samoja vaan ne riippuvat henkilöstä.[2]

Dementian tunnistamiseen tarkoitetut koneoppimismenetelmät tarvitsevat tietojoukkoja oppiakseen. Useita dementian tunnistukseen tarkoitettuja algoritmeja on kehitetty ja koulutettu käyttäen avoimia dementia-aineistoja. Avoimia aineistoja on useita vapaasti saatavilla. Aineistojen koot riippuvat lähteestä, mutta useat niistä ovat suuria, mikä tarjoaa hyvän mahdollisuuden kehittää koneoppimistekniikoita. Kuitenkin näissä dementia-aineistoissa saattaa esiintyä vinoumaa, esimerkiksi eri etniset ryhmät eivät ole tasapuolisesti edustettuna. Aineistojen sisällöt vaihtelevat, mutta suurin osa niistä sisältää kognitiivisia ja toiminnallisia arviointeja.[2] Joissain tutkimuksissa käytetään dataa, joka on saatu suoraan jonkin alueen terveydenhuoltojärjestelmästä [15][16]. Silloin voidaan kohdata ongelma, että tietojoukko ei ole riittävä. Pienemmissä tietojoukoissa painottuminen on vielä helpompaa eli tulee tiedostaa millaista dataa käsittelee. Joskus terveydenhuoltojärjestelmästä saatu data ei palvele sitä tarkoitusta mihin se on haluttu. Terveydenhuollossa useimmiten keskitytään binääriseen luokitteluun eli henkilöllä on dementia tai ei ole dementiaa. Niiden pohjalta on hankala opettaa malli moniluokitteluun eri kognitiivisen heikentymisen tasoja.[16]

4.3 Käytetyt menetelmät

Dementian diagnosointiin luodut algoritmit pohjautuvat koneoppimismenetelmiin. Toinen mahdollisuus olisi käyttää älykkäitä algoritmeja. Älykkäät algoritmit on kehitetty noudattamaan joitakin tiettyjä sääntöjä. Ne seuraavat näitä sääntöjä tarkasti eivätkä varsinaisesti opi datasta mitään. Ne voivat luokitella esimerkiksi raja-arvojen avulla onko henkilöllä dementia, mutta ne eivät itse pysty näitä raja-arvoja löytämään vaan ne täytyy kertoa niille. Koneoppimismenetelmät eroavat siten, että ne oikeasti oppivat datasta piirteitä ja pystyvät esimerkiksi laskemaan ja määritte-

lemään raja-arvon itse, ilman että se kerrotaan niille. Olisi mahdollista laskea jotkin raja-arvot ja käyttää älykkäitä algoritmeja, mutta koneoppimismenetelmät ovat yksiselitteisesti parempia diagnostiikassa. Ne voivat muokata raja-arvoja ja oppia datasta piirteitä, joita emme välttämättä odottaneet. Lisäksi tiedostamme yksiselitteisten raja-arvojen ongelman ihmisiltä kerätyssä datassa, varsinkin dementian diagnosoinnissa, joten minimaalisilla muutoksilla mukautuvat koneoppimismenetelmät tuottavat parempia tuloksia.[17]

Useissa dementian diagnosointiin kehitetyissä algoritmeissa on käytetty logistista regressiota, päätöspuuta, satunnaismetsää ja K-lähintä naapuria (KNN). Logistinen regressio on tilastollinen menetelmä, jota usein käytetään luokittelutehtävissä, joissa lopputuloksia on kaksi tai enemmän. Sen keskeinen periaate on muuntaa lineaarinen riippumattomien funktioiden pari todennäköisyysarvoksi välille 0 ja 1.[18] Päätöspuu on monipuolinen, ei-parametrinen työkalu, jota käytetään sekä luokittelu- että regressioitehtävissä. Satunnaismetsä on menetelmä, joka yhdistää lukuisten päätöspuiden vahvuudet. Se kouluttaa jokaisen päätöspuun eri osajoukolla aineistosta ja luo ennusteen.[19] Lopullisen ennusteen tekemiseksi se ottaa ennusteiden keskiarvon jokaisesta puusta. Dementian diagnosoinnissa satunnaismetsä pystyy käyttämään esimerkiksi demografisia tietoja, kognitiivisten testien tuloksia sekä kuva-analyysitietoja. KNN on yleisesti luokittelussa ja regressiossa käytetty koneoppimismenetelmä. Se etsii samankaltaisuuksia ja luokittelee eniten samankaltaiset datapisteet yhteen k lähimmän naapurin mukaan.[18]

Kuvantamismenetelmillä saatujen tuloksien tunnistamisen lisäksi tukivektorikoneetta (SVM), AdaBoost:ia ja Gaussian Naïve Bayes:ia (GNB) käytetään myös kyselydataan pohjautuvissa algoritmeissa. Tukivektorikone on lineaarinen luokittelija, joka pyrkii sovittamaan kahden piirrejoukon välille hypertason, joka mahdollisimman hyvin erottelee kaksi luokkaa.[19] Se pystyy luokittelemaan dataa myös useampaan luokkaan kuin kahteen, mutta sen toiminta perustuu binääriseen luokitteluun[18].

AdaBoost on yhdistelmäoppimismenetelmä, joka antaa painoja tapauksille. Väärin luokitellut tapaukset saavat suuremmat painot seuraavissa iteraatioissa ja lopullinen ennuste on heikkojen oppijoiden ennusteiden painotettu summa. GNB on luokittelualgoritmi, joka perustuu todennäköisyyspohjaiseen lähestymistapaan ja Gaussin jakaumaan.[19]

Algoritmeja on helpointa verrata keskenään, kun ne on kehitetty samaa tietojoukkoa käyttäen. Esimerkiksi Herzog-Wallace [20], Langa-Kabeto-Weir, Crimmins [21], Hurd [22] ja Wu [23] ovat dementian ja merkittävän kognitiivisen heikentymisen tunnistamiseen kehitettyjä algoritmeja, joihin on käytetty kehitysvaiheessa samaa dataa. Nämä algoritmit on kehitetty itsenäisinä algoritmeina ja niiden käyttämät ominaisuudet, dataversiot ja lähestymistavat eroavat toisistaan. Hurd ja Crimmins ennustavat kolmetasoista lopputulosta, joka on dementia, kognitiivinen heikentyminen ilman dementiaa ja normaali. Nämä kaksi algoritmia ovat myös ainoat näistä viidestä, jotka ottavat koulutuksen huomioon ja Wu on ainoa, joka ottaa huomioon etnisyyden.[15]

Viime vuosina kiinnostusta on herättänyt syvien neuroverkkojen käyttö kognitiivisissa diagnoosisovelluksissa. Syvät neuroverkot ovat tehokkaita luokittelijoita, sillä niillä on aina vähintään kaksi piilokerrosta, jotka luokittelevat syötettä. Neuroverkkojen hyödyntäminen on kiinnostanut erityisesti aivokuvien luokittelussa, mutta niitä on käytetty myös kyselypohjaisen ja kliinisiin arviointeihin pohjautuvan datan luokitteluun. Neuroverkkoihin perustuvilla algoritmeilla on pyritty määrittämään dementian eri tasoja, kuten normaali kognitiivinen toiminta, lievä kognitiivinen heikentyminen, erittäin lievä dementia, lievä dementia, kohtalainen dementia ja vaikea dementia. Neuroverkkojen suorituskkyä on testattu käyttämällä 50 neuropsykologien valitsemaa ominaisuutta ja 44 parasta ominaisuutta, jotka valittiin tietosisällön tärkeyden perusteella.[16]

4.4 Menetelmillä saadut tulokset

Dementian diagnosointiin kehitetyistä algoritmeista, jotka käyttävät logistista regressiota, KNN:a, päätöspuuta, SVM:a ja satunnaismetsää, parhaiten suoriutuvat satunnaismetsää hyödyntävät algoritmit. Satunnaismetsä koostuu useista kymmenistä tai sadoista päätöspuusta, jotka ovat suhteellisen pieniä. Koska päätöspuut ovat pieniä ja niitä on monta, on satunnaismetsällä hyvä suorituskyky. Satunnaismetsistä pystytään myös jossain määrin selittämään lopputulos eli se voisi olla diagnostiseen käyttöön sopiva. Sen pystyy hyvin optimoimaan, mutta suurissa tietojoukoissa sen aikavaatimus on korkea.[18]

Viidestä samaa tietojoukkoa käyttävästä algoritmista Herzog-Wallace algoritmilla on korkein tarkkuus, Crimmins algoritmilla on korkein herkkyys ja Wu ja Hurd algoritmeilla on korkein kokonaistarkkuus. Näistä algoritmeista voidaan siis sanoa, että mikään niistä ei ole yksiselitteisesti paras. Suorituskyvyt vaihtelevat huomattavasti, kun tiedot jaetaan vastaajan aseman, sukupuolen, iän, koulutuksen ja etnisen taustan mukaan. Näillä algoritmeilla tehtyjen diagnoosien kokonaistarkkuus on tasaisesti huonompi etnisten vähemmistöjen ja vähemmän koulutettujen osallistujien keskuudessa. Niissä näkyy siis selvää vinoumaa. [15] Kun näitä algoritmeja sovellettiin toiseen tietojoukkoon, jossa oli etnisyyksiksi valittu valkoihoinen, tummaihoinen ja latinalaisamerikkalainen, vain Hurd tuotti vankkoja tuloksia[24]. Algoritmien välillä on myös selkeitä eroja kun verrataan pitkälle edenneen dementian tunnistusta varhaisen dementian tunnistamiseen. Kokonaistarkkuus pysyy suhteellisen samana, mutta herkkyydessä ja spesifisyydessä näkyy eroja.[15]

Vaikka neuroverkkojen käyttämien ominaisuuksien määrä laskee 50:stä 44:ään, pysyy tarkkuus silti korkealla. Verrattuna muihin tunnettuihin koneoppimismenetelmiin, suoriutuu neuroverkot parhaiten luokittelusta.[16] Tällaiset tulokset todistavat sen, että monimutkaisissa luokittelutehtävissä neuroverkot ovat erittäin hyviä. Tulokset voisivat viitata siihen, että neuroverkot olisivat hyvä työkalu dementian

erityyppisiin luokitteluihin. Syväoppiminen eli monikerroksisten neuroverkkojen läpinäkyvyys on huono ja ne ovat verrattavissa musta laatikko -algoritmeihin. Täten ne eivät olisi optimaalinen vaihtoehto, kun pohditaan eettisyyden ja potilasturvallisuuden kannalta.

4.5 Menetelmien haasteet

Merkittäviä haasteita algoritmien kehittämiseen luovat käytettävät tietojoukot. Käytetyissä tietojoukoissa potilaiden sairaushistoria ja potilastiedot voivat olla vain muutaman vuoden ajalta. Tämä rajoittaa koneoppimismallin kouluttamista, kun yhdestä potilaasta ei ole pidemmän aikavälin tietoja. Tällöin mahdollinen demen-tian eteneminen ei ole yhtä hyvin tunnistettavissa.[25] On myös mahdollista, että saatavilla olevat tiedot ovat hyvin vanhoja, esimerkiksi avoimissa dementia aineis-toissa[26],[27]. Tietojoukkojen tiedonkeruulle ei ole olemassa yhtenäisiä menetelmiä, mikä varmistaisi tietojoukoille yhtä korkean laadun ja yleistettävyyden. Yhteisiä menetelmiä on vaikea kehittää koko maailmalle, mutta myös pienemmälle alueella tiedon yhtenäistämiseen tarvitaan resursseja, joita ei välttämättä ole. Pienillä tutkimuslaitoksilla tai maantieteellisesti muista erillään olevilla terveydenhuollon orga-nisaatiolla ei ole resursseja tai tietoa yhtenäistää tiedonkeruuta, jolloin tuloksena on epäjohdonmukaiset tietokokoelmat. Epäjohdonmukaiset tietokokoelmat rajoittavat tulosten yleistettävyyttä, kun samaa algoritmia ei voida käyttää toiselle tietojou-kolle, koska data on eri muodossa tai siinä on eri ominaisuuksia. Silloin tulosten vertailu ei ole myöskään mahdollista, eikä saatujen tulosten varmentaminen.[8]

Haasteen luovat myös koulutustietojoukoista löytyvät vinoumat. Erot eri etnis-ten ryhmien esiintyvyydessä, sukupuolten tasapaino, ikäjakauma ja kulttuurilliset erot aiheuttavat puolueellisuutta tietojoukkoihin. Vinoumat vaikeuttavat demen-tian ennustamista, siten että koneoppimismenetelmä voi oppia vääriä piirteitä, mutta myös mitä moninaisempaa dataa menetelmä näkee, sitä paremmin se oppii käsit-

telemään sitä. Jos menetelmälle annettaisiin vain heterogeenistä dataa, ei se osaisi tehdä ennusteita kun tietojoukkoon yllättäen tulisi erilaisempia datapisteitä.[28] Myös tietojoukon täytyy palvella tavoitetta. Jos tavoitteena on ennustaa alkuvaiheen dementiaa, on koneoppimisen vaikeampi oppia sitä tietojoukosta, jossa esiintyy pääasiallisesti pitkälle edennyttä dementiaa.[8]

Algoritmien saamien tulosten oikeellisuus ja niiden korjaaminen ei ole yksinkertaista. Algoritmit tuottavat vääriä positiivisia ja vääriä negatiivisia. Väärät negatiiviset ovat tietenkin vakavia, koska silloin dementiaa sairastava ihminen todetaan terveeksi, eikä sairautta hoideta. Väärät positiivisetkaan eivät ole toivottuja, sillä ne saavat terveen henkilön luulemaan että hän on sairas, joka voi olla henkisesti raskasta[29]. Henkilölle voi olla loukkaavaa, jos häntä aletaan hoitamaan ja kohtaamaan dementiapotilaana, vaikka hän ei sellainen ole. Raja-arvojen muuttaminen ei kuitenkaan ole yksinkertaista. Esimerkiksi jos raja-arvoja nostetaan korkeammaksi väärien positiivisten minimoimiseksi, voisi aikaisimmat merkit dementiasta tai kognitiivisesta heikentymisestä jäädä algoritmilta huomaamatta. Vastaavasti jos raja-arvoja laskettaisiin väärien negatiivisten vähentämiseksi, lisääntyisivät väärät positiiviset. Eli väärät tulokset korreloivat keskenään. Lisäksi eri alaryhmille sopii erilaiset raja-arvot, jolloin raja-arvojen yksiselitteinen siirtäminen on hankalaa.

Koneoppimismenetelmien ominaisuudet ja piirteet luovat haasteita niiden käyttöön diagnostiikassa. Haasteena on esimerkiksi algoritmien mahdollinen puolueellisuus, mikäli algoritmiin käytetty tietojoukko on puolueellinen tai käytetty koneoppimismenetelmä on väärä.[8] Algoritmin tuloksen tarkkuuteen vaikuttavat myös algoritmin käyttämät ominaisuudet, joiden pohjalta ennuste on tehty. Jos lähtöarvojen tarkkuus on heikko, ei tulokseltakaan voida odottaa hyvää tarkkuutta.[18] Koneoppimisalgoritmit eivät pysty ymmärtämään ympäröivää tilannetta tai maailmaa ja niiltä puuttuu kyky tulkita. Ne pystyvät antamaan ennusteita vain tilastojen pohjalta, eivätkä ne ymmärrä taustalla olevia olosuhteita. Kun kyseessä on dementia, on

tämä suuri haaste. Dementia esiintyy monilla erilaisilla tavoilla eri ihmisillä, eikä koneoppiminen pysty määrittelemään onko henkilön unohtelu oikeasti dementia vai jokin esimerkiksi stressin takia ilmenevä ilmiö. Olosuhteet vaikuttavat diagnostiikassa paljon, joten koneoppimisen käyttö potilastilanteissa tai -datalla on haasteellista.[8]

Algoritmeja dementian diagnosointiin on kehitetty monia erilaisia. Monet algoritmit on kuitenkin kehitetty aivan itsenäisinä kokonaisuuksia tutkimusmielessä. Tavat raportoida algoritmeista vaihtelevat ja ovat joissain tapauksissa puutteellisia, niin että niitä ei voida toistaa. Tällaisten tulosten vertailu on hankalaa ja joskus jopa mahdotonta. Ei pystytä toteamaan onko suorituskyvyissä eroja, kun menetelmät ja käytetyt ominaisuudet eroavat toisistaan merkittävästi.[15] Tämä vaikeuttaa tulosten validointia ja voi mahdollisesti myös haitata kehitystä. Jos tulosten suoraviivainen vertailu olisi helpompaa, voisi algoritmeista löytyä joitakin yhtäläisyyksiä. Yhtäläisyydet voisivat viedä tutkimusta oikeampaan suuntaan ja algoritmeja voitaisiin optimoida paremmin.[26] Useimmissa tapauksissa algoritmin suorituskyky ilmoitetaan vain kyseiselle tietojoukolle. Vain harvoissa tutkimuksissa pohditaan menetelmän toimivuutta toiselle tietojoukolle tai otetaan kantaa tietojoukkojen epäjohdonmukaisuuksiin. Tämä ei osaltaan edistä vertailtavuutta.[15]

5 Pohdinta

Dementian diagnosointia algoritmien avulla on tutkittu runsaasti. Huomattavasti enemmän on kuitenkin tutkittu kuvantamismenetelmin saatuja tuloksia. On tutkittu, pystytäänkö kouluttamaan algoritmeja, jotka tunnistavat kuvista poikkeavuudet, jotka viittaavat dementiaan. Lääketieteen ja tekniikan kehityksen myötä, kuvasta tunnistavat algoritmit ovat saavuttaneet hyviä tuloksia. Mielestäni on kuitenkin tärkeä pohtia, kuinka tämä edistää varhaisen dementian tunnistamista. Terveystieteiden huollossa ei lähtökohtaisesti käytetä kuvantamismenetelmiä, ellei ole syytä epäillä, että tuloksista löytyy jotain. Kuvantamismenetelmät ovat kalliita ja altistavat potilasta säteilylle. Jotta dementian tapauksessa saadaan syy epäillä jotain, on potilaan täytynyt saada kognitiivisista testeistä huomiota herättäviä tuloksia. Lisäksi hänellä on täytynyt esiintyä kognitiivisen heikentymisen merkkejä. Tällöinkään pään kuvaaminen ei ole jokaisen kohdalla ensisijainen käytetty hoitopolku. On siis harvinaista, jos vasta pään kuvasta todetaan henkilön sairastavan dementiaa, koska pään kuvat eivät ole myöskään tuloksia, joita kontrolloitaisiin tietyin aikavälein terveillä ihmisillä. Pohdin myös sitä, että käytetäänkö kaikki taustatietojen tarjoama potentiaali hyödyksi, jos tutkitaan vain kuvasta tunnistamista. Dementia on kuitenkin laaja-alainen sairaus, joka on huomattavissa potilaasta ensisijaisesti muillakin tavoilla, kuin pään kuvantamisella. Dementian varhaisten merkkien tunnistukseen voisivat mielestäni parhaiten sopia menetelmät, jotka hyödyntävät potilaan kognitiivista tilaa ja sen arvioinnista saatuja tuloksia.

Dementian diagnosointi on haastavaa myös normaalein keinoin. Sairaus on hyvin yksilöllinen ja se alkaa hyvin salakavalasti. Varhaisten kognitiivisen heikentymisen merkkien arvellaan usein johtuvan normaaliin ikääntymiseen liittyvästä heikentymisestä tai jostain testitilanteeseen vaikuttaneesta seikasta. Lääkäreiden tulee olla valppaita ja asiaan paneutuneita, jotta he huomaavat varhaiset merkit dementiaasta ja pystyvät jo niiden pohjalta tekemään diagnoosin[3]. Ihanteellista olisi, jos algoritmeilla pystyttäisiin tekemään dementian diagnoosi, koska silloin diagnoosiin ei vaikuttaisi lääkärin vireystila, valveutuneisuus asiaan tai inhimilliset virheet. Tämä myös keventäisi terveydenhuollon taakkaa, kun dementia-diagnoosi ei vaatisi yhtä monivaiheista prosessia. Algoritmien käyttö dementian diagnosoinnissa ei kuitenkaan vaikuta tapahtuvan vielä lähitulevaisuudessa.

Useissa tutkimuksissa on yritetty selvittää, voidaanko algoritmeilla määrittää dementian eri tasoja, kuten kognitiivinen heikentymä ja dementia. Suurimmassa osassa tutkimuksia on tavoitteena tunnistaa kognitiivinen heikentyminen terveestä[17]. Erityyppisten dementioiden erottamista toisistaan on myös tutkittu, mutta huomattavasti vähemmän. Sitä selittää varmasti se, että eri dementiaoireyhtymien erottaminen toisistaan on vaikeaa. Monet dementioiden yhteiset kliiniset piirteet ovat päällekkäisiä[6]. Tutkimusmäärien ero on myös ymmärrettävä, koska varhaisen dementian merkkien tunnistamista algoritmein tukee ajatus, että ensin nähdään kognitiivista heikentymistä. Jos halutaan erottaa dementian tyypit toisistaan, on silloin jo selvää, että potilaalla on dementia.

Kehitettyjä algoritmeja on monia, joista toiset käyttävät samoja koneoppimismenetelmiä, mutta eri tietojoukkoa ja toiset täysin eri menetelmiä. Tutkimuksista saadut tulokset vaihtelevat keskenään suhteellisen paljon. Monissa tutkimuksissa saadaan aikaan korkeita tarkkuuksia kehitetylle algoritmille. Kuitenkin jossain toisessa tutkimuksessa on käytetty samaa koneoppimismenetelmää, mutta tulos on merkittävästi erilainen. Tulosten suora vertailu on mahdotonta. Käytetyt menetel-

mät ja vaikuttavat tekijät ovat erilaiset lähes jokaisessa algoritmossa. Lisäksi useiden tutkimusten tulokset eivät ole toistettavissa eivätkä todennettavissa. Tämä horjuttaa tulosten uskottavuutta. Dementian tunnistamiseen luodut algoritmit näyttävät mielestäni siten, että monet tutkijat ovat halunneet luoda oman algoritminsa ja lähes jokainen on saanut sillä suhteellisen hyviä tuloksia. Se, että monet saavat kehittämillään menetelmillä hyviä tuloksia, voi vaikuttaa lupaavalta. Omasta mielestäni tutkimusten luotettavuus voisi olla parempi. Useissa tutkimuksissa jätetään huomiotta se, että ne toimivat huonosti eri etnisille ryhmille tai että niiden koulutusjoukoissa esiintyy vinoumaa.

Kukaan ei ole tähän mennessä löytänyt yhtä hyvää tapaa käyttää tiettyjä tietojoukkoja tai tiettyä koneoppimismenetelmää, jolla varmasti saataisiin luotettavat tulokset. Voi olla, että vain yhtä hyvää tapaa ei ole olemassa, mutta mitään menetelmän ja tietojoukon yhdistelmää ei ole toistettu useissa tutkimuksissa ja todistettu sen toimivuutta. Mikään nykyisistä jo kehitetyistä algoritmeista ei ole siis noussut ylitse muiden. Se kertoo siitä, että dementiaa diagnosoivien algoritmien kehitys ei ole vielä tarpeeksi pitkällä. Algoritmeja on kehitetty lähinnä mielenkiinnosta tutkia asiaa. Käytetyt menetelmät eivät ole sellaisenaan käytettävissä terveydenhuollossa. Mitään algoritmia ei ole viety vielä niin pitkälle, että siitä olisi suunniteltu terveydenhuoltoon soveltuvaa käyttäjärajapintaa, jossa potilaan tiedot antamalla hänelle voitaisiin antaa diagnoosi. Nykyiset menetelmät ovat keskittyneet vielä siihen, voidaanko joukosta erottaa terveet ja dementiaa sairastavat.

Algoritmit eivät tällä hetkellä tuota sellaisia tuloksia, että niiden pohjalta voitaisiin antaa diagnooseja. Joidenkin algoritmien tuottamat tulokset vaikuttavat lupaavilta, joten niiden käyttöä voitaisiin harkita diagnosoinnin apuna. Koneoppimisen käyttö diagnostiikan tukena on lähivuosina noussut erittäin kiinnostavaksi aiheeksi. Sen haasteita tunnistetaan hyvin, mutta erityisesti se nähdään suurena mahdollisuutena. Koneoppimisen soveltamista dementian diagnosointiin tutkitaan selkeästi

paljon ja sitä pidetään mahdollisuutena. Koen, että tulevaisuudessa on hyvin mahdollista, että koneoppimista ja algoritmeja voidaan tulla hyödyntämään dementian diagnosoinnin tukena. Näen kuitenkin todennäköisempänä, että algoritmeja tullaan hyödyntämään kuvantamismenetelmin saaduissa tuloksissa aikaisemmin, kuin kognitiivisten tietojen pohjalta diagnosoinnissa.

6 Yhteenveto

Tässä tutkielmassa tarkasteltiin algoritmien käyttöä dementian diagnosoinnissa. Dementian diagnosointiin on kehitetty monia erilaisia algoritmeja. Käytetyt menetelmät eroavat toisistaan ja mikään tietty menettelytapa ei ole noussut ylitse muiden. Dementian diagnosointi algoritmeja hyödyntämällä on haasteellista, koska taudin kuva on niin haastava. Algoritmien kyky ymmärtää yksilöllisiä kognitiivisia heikentymiä ei ole riittävä. Jo kehitetyillä menetelmillä on haasteita tunnistaa erot muun muassa koulutuksessa ja etnisyydessä. Algoritmien käyttö diagnostiikassa luo myös eettisiä ongelmia, kuten menetelmän läpinäkyvyys ja potilaan yksityisyys, jotka pitää ottaa huomioon tulevaisuuden kehityksessä.

Tutkimuskysymyksiin saatiin seuraavia vastauksia. Dementiaa on yritetty diagnosoida käyttämällä erilaisia koneoppimisen menetelmiä. Tällaisia menetelmiä ovat olleet esimerkiksi päätöspuu, KNN, satunnaismetsä ja SVM. Lisäksi on kokeiltu myös neuroverkkoja. Neuroverkkoja on kuitenkin käytetty vähemmän dementian diagnosointiin kyselydatan perusteella ja hyödynnetty enemmän kuvantamismenetelmin saatujen tulosten kanssa. Erilaisten musta laatikko -algoritmien käyttö diagnostiikassa luo enemmän eettisiä haasteita kuin valkoisen laatikon mallin koneoppimismenetelmät.

Algoritmeilla ei voida aikaistaa dementian diagnoosin saamista. Nykyisillä menetelmillä se ei ole mahdollista, sillä algoritmeja ei ole vielä kehitetty niin pitkälle, että varhaiset dementian vaiheet voitaisiin luotettavasti tunnistaa. Tutkimuksissa

on vielä tässä vaiheessa keskitytty pääosin kouluttamaan algoritmeja tunnistamaan dementiaa sairastavat terveistä.

Dementian eri tyyppjä ei voida tunnistaa algoritmeilla. Menetelmissä on keskitytty lähinnä lievän kognitiivisen heikentymän ja dementian tunnistamiseen. Tutkimuksissa on kehitetty joitakin menetelmiä, joilla pyritään erottamaan kahta dementian tyyppiä toisistaan. Näiden tutkimusmateriaalina ei kuitenkaan ole pääosin ollut kyselydata tai käytösmallit, vaan kuvantamismenetelmät. Dementian eri tyyppien erottaminen toisistaan on erittäin haasteellista, sillä tyypeillä on keskenään samanlaisia kliinisiä piirteitä.

Tulevaisuudessa on todennäköistä, että algoritmeja voidaan hyödyntää dementian diagnosoinnin tukena. Algoritmien avulla voidaan pyrkiä aikaistamaan dementian diagnosointia, jos ne kehittyvät tunnistamaan paremmin kognitiivista heikentymistä ja eri ihmisryhmien ominaisuuksia. Mikäli dementian diagnosointiin kehitetään algoritmeja, on todennäköistä, että ne eivät käytä hyödykseen pelkästään kuvantamismenetelmien tuloksia tai kognitiivisia tuloksia, vaan yhdistävät kaikki mahdolliset potilastiedot hyödykseen.

Lähdeluettelo

- [1] J. Quinn, *Dementia*. Newark, UNITED KINGDOM: John Wiley & Sons, Incorporated, 2014, ISBN: 978-1-118-65622-8. url: <http://ebookcentral.proquest.com/lib/kutu/detail.action?docID=1480869> (viitattu 16.10.2024).
- [2] N. Mccombe, X. Ding, G. Prasad et al., "Alzheimer's Disease Assessments Optimized for Diagnostic Accuracy and Administration Time", *IEEE Journal of Translational Engineering in Health and Medicine*, vol. 10, s. 1–9, 2022, Conference Name: IEEE Journal of Translational Engineering in Health and Medicine, ISSN: 2168-2372. DOI: 10.1109/JTEHM.2022.3164806. url: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9750036> (viitattu 17.11.2024).
- [3] P. Gareri, A. M. Cotroneo, G. Gelmini et al., "An algorithm for the early diagnosis and correct approach to dementia management: results of a multiprofessional team", en, *Aging Clinical and Experimental Research*, vol. 36, nro 1, s. 102, toukokuu 2024, ISSN: 1720-8319. DOI: 10.1007/s40520-024-02749-z. url: <https://doi.org/10.1007/s40520-024-02749-z> (viitattu 01.10.2024).
- [4] K. R. Jean ja V. M. Dotson, "Dementia: Common Syndromes and Modifiable Risk and Protective Factors", *Neurologic Clinics*, Neuropsychology for Neurologists, vol. 42, nro 4, s. 793–807, marraskuu 2024, ISSN: 0733-8619. DOI: 10.1016/j.ncl.2024.05.005. url: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0733861924000288> (viitattu 14.10.2024).

- [5] M. Noroozi, M. Gholami, H. Sadeghsalehi et al., "Machine and deep learning algorithms for classifying different types of dementia: A literature review", *Applied Neuropsychology: Adult*, elokuu 2024, Publisher: Routledge _eprint: <https://doi.org/10.1080/23279095.2024.2382823>, ISSN: 2327-9095. DOI: 10.1080/23279095.2024.2382823. url: <https://doi.org/10.1080/23279095.2024.2382823> (viitattu 01. 10. 2024).
- [6] R. Magdy ja M. Hussein, "Cognitive, Psychiatric, and Motor Symptoms-Based Algorithmic Approach to Differentiate Among Various Types of Dementia Syndromes", en, *Journal of Nervous & Mental Disease*, vol. 210, nro 2, s. 129–135, helmikuu 2022, ISSN: 1539-736X, 0022-3018. DOI: 10.1097/NMD.0000000000001428. url: <https://journals.lww.com/10.1097/NMD.0000000000001428> (viitattu 02. 10. 2024).
- [7] T. Manríquez Roa ja N. Biller-Andorno, "Black box algorithms in mental health apps: An ethical reflection", en, *Bioethics*, vol. 37, nro 8, s. 790–797, 2023, _eprint: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1111/bioe.13215>, ISSN: 1467-8519. DOI: 10.1111/bioe.13215. url: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/bioe.13215> (viitattu 17. 11. 2024).
- [8] G. Nandan, A. Lakkshmanan ja M. T. A. Reddy, "Early Detection of Dementia Disease using Machine Learning", teoksessa *2024 International Conference on Inventive Computation Technologies (ICICT)*, ISSN: 2767-7788, huhtikuu 2024, s. 163–168. DOI: 10.1109/ICICT60155.2024.10544484. url: <https://ieeexplore.ieee.org/document/10544484> (viitattu 17. 11. 2024).
- [9] W. N. Price II, "Regulating Black-Box Medicine", *Michigan Law Review*, vol. 116, nro 3, s. 421–474, joulukuu 2017, Publisher: Michigan Law Review Association, ISSN: 00262234. DOI: 10.36644/mlr.116.3.regulating. url: <https://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=bth&AN=126540652&site=ehost-live&scope=site> (viitattu 17. 11. 2024).

- [10] J. M. Durán ja K. R. Jongsma, "Who is afraid of black box algorithms? On the epistemological and ethical basis of trust in medical AI", English, *Journal of Medical Ethics*, vol. 47, nro 5, s. 329–335, toukokuu 2021, Num Pages: 329-335 Place: London, United Kingdom Publisher: BMJ Publishing Group LTD Section: Feature article, ISSN: 03066800. DOI: 10.1136/medethics-2020-106820. url: <https://www.proquest.com/docview/2519625860/abstract/2BC7518D86F7438FPQ/1> (viitattu 17.11.2024).
- [11] O. Loyola-González, "Black-Box vs. White-Box: Understanding Their Advantages and Weaknesses From a Practical Point of View", *IEEE Access*, vol. 7, s. 154 096–154 113, 2019, Conference Name: IEEE Access, ISSN: 2169-3536. DOI: 10.1109/ACCESS.2019.2949286. url: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8882211> (viitattu 18.11.2024).
- [12] M. F. Folstein, S. E. Folstein ja P. R. McHugh, "'Mini-mental state': A practical method for grading the cognitive state of patients for the clinician", *Journal of Psychiatric Research*, vol. 12, nro 3, s. 189–198, marraskuu 1975, ISSN: 0022-3956. DOI: 10.1016/0022-3956(75)90026-6. url: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0022395675900266> (viitattu 23.01.2025).
- [13] Käypähoito-suositus. "Muistipotilaan arviointi ja arvioinnin työkalut", Suomalainen Lääkäriseura Duodecim. (joulukuu 2023), url: <https://www.kaypahoito.fi/nix02416> (viitattu 14.10.2024).
- [14] B. N. Harding, J. S. Floyd, J. F. Scherrer et al., "Methods to identify dementia in the electronic health record: Comparing cognitive test scores with dementia algorithms", en, *Healthcare*, vol. 8, nro 2, s. 100 430, kesäkuu 2020, ISSN: 22130764. DOI: 10.1016/j.hjdsi.2020.100430. url: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2213076420300294> (viitattu 01.10.2024).

- [15] K. Z. Gianattasio, Q. Wu, M. M. Glymour ja M. C. Power, ”Comparison of Methods for Algorithmic Classification of Dementia Status in the Health and Retirement Study”, en, *Epidemiology*, vol. 30, nro 2, s. 291–302, maaliskuu 2019, ISSN: 1044-3983. DOI: 10.1097/EDE.0000000000000945. url: <https://journals.lww.com/00001648-201903000-00020> (viitattu 02.10.2024).
- [16] F. Zhu, X. Li, D. Mcgonigle et al., ”Analyze Informant-Based Questionnaire for The Early Diagnosis of Senile Dementia Using Deep Learning”, *IEEE Journal of Translational Engineering in Health and Medicine*, vol. 8, s. 1–6, 2020, Conference Name: IEEE Journal of Translational Engineering in Health and Medicine, ISSN: 2168-2372. DOI: 10.1109/JTEHM.2019.2959331. url: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8933438> (viitattu 02.10.2024).
- [17] J. Madden ja A. Khan, ”The Growing Role of Complex Sensor Systems and Algorithmic Pattern Recognition for Vascular Dementia Onset”, English, *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, vol. 10, nro 2, 2019, Place: West Yorkshire, United Kingdom Publisher: Science and Information (SAI) Organization Limited, ISSN: 2158107X. DOI: 10.14569/IJACSA.2019.0100227. url: <https://www.proquest.com/docview/2656394537/abstract/80470012C75240EAPQ/1> (viitattu 03.10.2024).
- [18] S. Aggarwal ja V. Sharma, ”Dementia Identification Using Machine Learning Algorithms: Comparative Analysis”, teoksessa *2023 4th International Conference on Intelligent Engineering and Management (ICIEM)*, toukokuu 2023, s. 1–5. DOI: 10.1109/ICIEM59379.2023.10165739. url: <https://ieeexplore.ieee.org/document/10165739> (viitattu 17.11.2024).
- [19] M. M. Ramyasri, M. Yoga, S. Vetri Vendhan, M. Pramoth Kumar ja S. Karthickeyan, ”Detection of Dementia using Machine Learning Algorithms”, teoksessa *2024 International Conference on Cognitive Robotics and Intelligent Systems (ICC - ROBINS)*, huhtikuu 2024, s. 382–386. DOI: 10.1109/

- ICC-ROBINS60238.2024.10534009. url: <https://ieeexplore.ieee.org/document/10534009/references#references> (viitattu 17.11.2024).
- [20] A. R. Herzog ja R. B. Wallace, "Measures of Cognitive Functioning in the AHEAD Study", *The Journals of Gerontology: Series B*, vol. 52B, nro Special_Issue, s. 37–48, toukokuu 1997, ISSN: 1079-5014. DOI: 10.1093/geronb/52B.Special_Issue.37. url: https://doi.org/10.1093/geronb/52B.Special_Issue.37 (viitattu 01.02.2025).
- [21] E. M. Crimmins, J. K. Kim, K. M. Langa ja D. R. Weir, "Assessment of Cognition Using Surveys and Neuropsychological Assessment: The Health and Retirement Study and the Aging, Demographics, and Memory Study", *The Journals of Gerontology: Series B*, vol. 66B, nro suppl_1, s. i162–i171, heinäkuu 2011, ISSN: 1079-5014. DOI: 10.1093/geronb/gbr048. url: <https://doi.org/10.1093/geronb/gbr048> (viitattu 01.02.2025).
- [22] M. D. Hurd, P. Martorell, A. Delavande, K. J. Mullen ja K. M. Langa, "Monetary Costs of Dementia in the United States", *New England Journal of Medicine*, vol. 368, nro 14, s. 1326–1334, huhtikuu 2013, Publisher: Massachusetts Medical Society _eprint: <https://www.nejm.org/doi/pdf/10.1056/NEJMsa1204629>, ISSN: 0028-4793. DOI: 10.1056/NEJMsa1204629. url: <https://www.nejm.org/doi/full/10.1056/NEJMsa1204629> (viitattu 01.02.2025).
- [23] Q. Wu, E. J. Tchetgen Tchetgen, T. L. Osypuk, K. White, M. Mujahid ja M. Maria Glymour, "Combining Direct and Proxy Assessments to Reduce Attrition Bias in a Longitudinal Study", en-US, *Alzheimer Disease & Associated Disorders*, vol. 27, nro 3, s. 207, syyskuu 2013, ISSN: 0893-0341. DOI: 10.1097/WAD.0b013e31826cfe90. url: https://journals.lww.com/alzheimerjournal/fulltext/2013/07000/Combining_Direct_and_Proxy_Assessments_to_Reduce.3.aspx (viitattu 01.02.2025).

- [24] K. Z. Gianattasio, A. Ciarleglio ja M. C. Power, ”Development of Algorithmic Dementia Ascertainment for Racial/Ethnic Disparities Research in the US Health and Retirement Study”, eng, *Epidemiology (Cambridge, Mass.)*, vol. 31, nro 1, s. 126–133, tammikuu 2020, ISSN: 1531-5487. DOI: 10.1097/EDE.0000000000001101. (viitattu 01.10.2024).
- [25] O. Uspenskaya-Cadoz, C. Alamuri, L. Wang et al., ”Machine Learning Algorithm Helps Identify Non-Diagnosed Prodromal Alzheimer’s Disease Patients in the General Population”, en, *The Journal of Prevention of Alzheimer’s Disease*, vol. 6, nro 3, s. 185–191, heinäkuu 2019, ISSN: 2426-0266. DOI: 10.14283/jpad.2019.10. url: <https://doi.org/10.14283/jpad.2019.10> (viitattu 17.11.2024).
- [26] M. C. Power, K. Z. Gianattasio ja A. Ciarleglio, ”Implications of the Use of Algorithmic Diagnoses or Medicare Claims to Ascertain Dementia”, *Neuroepidemiology*, vol. 54, nro 6, s. 462–471, lokakuu 2020, ISSN: 0251-5350. DOI: 10.1159/000510753. url: <https://doi.org/10.1159/000510753> (viitattu 01.10.2024).
- [27] M. (Parsapoor (Parsa), M. R. Alam ja A. Mihailidis, ”Performance of machine learning algorithms for dementia assessment: impacts of language tasks, recording media, and modalities”, *BMC Medical Informatics and Decision Making*, vol. 23, nro 1, s. 45, maaliskuu 2023, ISSN: 1472-6947. DOI: 10.1186/s12911-023-02122-6. url: <https://doi.org/10.1186/s12911-023-02122-6> (viitattu 01.10.2024).
- [28] E. R. Mayeda ja C. Shaw, ”Invited Commentary: Algorithmic Dementia Classification—Promises and Challenges”, *American Journal of Epidemiology*, vol. 192, nro 4, s. 535–538, huhtikuu 2023, ISSN: 0002-9262. DOI: 10.1093/aje/kwad003. url: <https://doi.org/10.1093/aje/kwad003> (viitattu 01.10.2024).

-
- [29] M. Kivimäki, G. Livingston, A. Singh-Manoux et al., "Estimating Dementia Risk Using Multifactorial Prediction Models", eng, *JAMA network open*, vol. 6, nro 6, e2318132, kesäkuu 2023, ISSN: 2574-3805. DOI: 10.1001/jamanetworkopen.2023.18132. (viitattu 02.10.2024).