



Oamk Journal

Oulun ammattikorkeakoulun julkaisuja

Tämä on alkuperäisen julkaisun rinnakkaistallenne. Rinnakkaistallenne saattaa erota alkuperäisestä sivutuksestaan ja painoasultaan.

This is an electronic reprint of the original publication. This version may differ from the original in pagination and typographic detail.

Käytä viittauksessa alkuperäistä lähdettä/Please cite the original version:

Saunamäki, S., Andersson, R., & Paalimäki-Paakki, K. (2025). Tekoäly ikään liittyvien silmäsairauksien etänäöntutkimuksessa. *Oamk Journal*, (55). Oulun ammattikorkeakoulu. <http://urn.fi/urn:nbn:fi-fe2025042831580>

METATIEDOT

Tyyppi: Artikkel

Julkaisija: Oulun ammattikorkeakoulu

Julkaisunumero: 55/2025

Julkaisuvuosi: 2025

Tekijätiedot: Saunamäki Saana, Andersson Robert, Paalimäki-Paakki Karoliina

Oikeudet: [CC BY-SA 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/)

Kieli: suomi

Pysyvä osoite: <http://urn.fi/urn:nbn:fi-fe2025042831580>

Tiivistelmä: Ikääntyvän väestön silmäsairauksien lisääntyminen haastaa terveydenhuoltoa ja korostaa innovatiivisten silmäterveyden ratkaisujen tarvetta. Artikkel

kuvailee tekoälyanalyysiavusteisia silmäterveyden tutkimuksia osana optikkoliikkeiden etänäöntutkimuksia. Tekoälypohjaiset verkkokalvon kuvantamis- ja analyysimenetelmät sekä ennustavat koneoppimismallit tarjoavat työkaluja silmäsairauksien varhaiseen tunnistamiseen etänäöntutkimuksissa. Erityisen lupaavia ovat testit, jotka perustuvat verkkokalvon kuvantamiseen ja tekoälypohjaiseen kuvantunnistukseen. Tekoälyn yhdistäminen etänäöntutkimuksiin tarjoaa mahdollisuuksia laajentaa optikkoliikkeiden palveluita lisäämällä tarkkoja ja nopeita silmäsairauksien varhaisen tunnistamisen testejä vapauttaen optometristit keskittymään tulkintaan ja jatkohoitoon.

Tekoäly ikään liittyvien silmäsairauksien etänäöntutkimuksessa

30.4.2025 - Saunamäki Saana, Andersson Robert, Paalimäki-Paakki Karoliina

Tekoäly avaa uusia mahdollisuuksia ikään liittyvien silmäsairauksien, kuten glaukooman, kaihin, silmänpohjan ikärappeuman ja diabeettisen retinopatian varhaisessa tunnistamisessa ja seurannassa. Näkemisen ja silmäterveyden etätutkimuksen edistäminen tekoälypohjaisiin analyysimenetelmiin voi parantaa diagnostiikan tarkkuutta ja nopeutta sekä lisätä terveydenhuollon palveluiden saavutettavuutta. Teknologia tarjoaa ratkaisuja ikääntyvän väestön aiheuttamiin kasvaviin terveydenhuollon haasteisiin vapauttaen samalla resursseja keskittymään yksilölliseen hoitoon. Scoping-katsauksessa kartoitettiin tekoälyn mahdollistamia ratkaisuja ikääntymiseen liittyvien silmäsairauksien varhaisessa tunnistamisessa optikkoliikkeiden etänäöntutkimuksissa.

Etänäöntutkimus on näöntarkastuksen menetelmä, jossa optometrismi ohjaa etänä näönmääritystä eli subjektiivista refraktiota foropterin ja ohjelmistosovelluksen avulla. Paikalla oleva tekniikka ohjeistaa potilasta tutkimuksen aikana. (Huang ym., 2022.) Tutkimuksissa (Blais ym., 2024; Kapur ym., 2024) on havaittu, että koulutetun tekniikon toteuttama etänäöntutkimus vastaa laadultaan kasvokkain optometristin suorittamaa näönmääritystä. Etäyhteyden avulla toteutettu näöntutkimus voi osaltaan helpottaa optometrastien resurssipulaa erityisesti alueilla, joilla palvelut ovat rajalliset (Blais ym., 2024; Huang ym., 2022; Kapur ym., 2024).

Potilaat ja terveydenhuollon ammattilaiset suhtautuvat etänäöntutkimuksiin vähemmän luottavaisesti kuin perinteisiin kasvokkain toteutettaviin tutkimuksiin. Tämä voi osittain johtua siitä, että heidän kokemuksensa etäpalveluiden hyödyntämisestä ovat vielä melko vähäisiä. (Blais ym., 2024.)

Tekoäly silmien terveystarkastuksessa

Tekoälyn ja ihmisen yhteistyöhön perustuvat työprosessit tarjoavat merkittäviä mahdollisuuksia silmäterveydenhuollon kehittämiseen (kuva 1). Tutkimukset osoittavat,

että tekoälyn käyttö kuvien analysoinnissa ennen ihmisen tekemää arviota voi tehostaa diagnostiikkaa ja mahdollistaa skaalautuvien ratkaisujen kehittämisen silmäterveyden tarpeisiin (Dow ym., 2023). Lisäksi tekoälyä hyödyntävät mallit voivat tukea resurssien tehokkaampaa kohdentamista hoitoon ja seurantaan, mikä parantaa hoitoketjujen toimintaa ja hoidon saatavuutta (Wright & Diamond, 2015).



KUVA 1. Tekoälyn tuottama kuva tekoälyn käytöstä silmien terveystarkastuksessa (kuva: Microsoft Copilot, 2025).

Tekoälyn hyödyntäminen diagnostiikassa tarjoaa mahdollisuuden nopeuttaa ja tehostaa tulosten tarkistusta, jolloin optometristit voivat keskittyä enemmän potilaan ohjaukseen ja arvioon. Tekoälyanalyysin ja optometristin varmentaman kaksivaiheisen tarkistusprosessin on todettu parantavan diagnostiikan tarkkuutta ja auttavan tunnistamaan ne potilaat, jotka

tarvitsevat jatkotutkimuksia tai erikoislääkärin hoitoa oikea-aikaisesti. Lisäksi tekoälyn avulla voidaan palvella useampia potilaita samanaikaisesti eri toimipisteissä, mikä voi merkittävästi parantaa palveluiden saavutettavuutta ja lyhentää tutkimusjonoja, erityisesti alueilla, joilla näönhuollon palveluja on rajallisesti saatavilla (Li ym., 2021).

Suomessa optometristien korkea koulutustaso tukee heidän kykyään havaita silmäterveyteen liittyviä ongelmia. Tutkimusten mukaan optometristien arviot vastaavat lääkärin diagnoosia ICD10-pohjaisissa tautiluokissa 88,4 prosentin tarkkuudella (Numminen & Wuotila, 2016). Tekoäly voi entisestään parantaa tätä tarkkuutta vähentämällä inhimillisiä virheitä ja auttamalla havaitsemaan poikkeavuuksia, jotka saattaisivat jäädä muuten huomaamatta.

Tekoäly ikään liittyvien silmäsairauksien tunnistamisessa

Tekoäly tarkoittaa tietokoneiden kykyä jäljitellä ihmisen älykkyyttä (Kaplan, 2016). Silmälääketieteessä erityisesti tekoälyn alaluokat koneoppiminen ja syväoppiminen ovat keskeisiä (Li ym., 2021; Stuermer & Martin, 2022; Yang ym., 2021). Koneoppiminen mahdollistaa x-järjestelmien oppimisen datasta ilman tarkkaa ohjelmointia (Samuel, 1959), kun taas syväoppiminen hyödyntää neuroverkkoja ja monikerroksisia algoritmeja monimutkaisiin tehtäviin, kuten kuvantunnistukseen (LeCun ym., 2015).

Tekoälyllä on kasvava rooli silmäsairauksien hoidossa, erityisesti niiden seulonnassa, diagnosoinnissa ja päätöksenteon tukena (Li ym., 2021; Stuermer & Martin, 2022; Tan ym., 2022; Yang ym., 2021). Syväoppimista on hyödynnetty laajasti silmäkuvantamisessa, erityisesti silmänpohjakuvien ja optisen koherenssitomografian (OCT) analyysissä (Burton ym., 2021; Stuermer & Martin, 2022; Tan ym., 2022; Yang ym., 2021). Tekoälyn sovellukset silmälääketieteessä ovat keskittyneet yleisimpiin silmäsairauksiin (Perepelkina & Fulton, 2021). Syväoppimisen avulla on voitu tehokkaasti tunnistaa keskeisiä ikään liittyviä silmäsairauksia, kuten diabeettista retinopatiaa (Abràmoff ym., 2016; Gulshan ym., 2016; Ting ym., 2017), glaukoomaa (Almazroa ym., 2015; Z. Li ym., 2018; Ting ym., 2017) ja silmänpohjan ikärappeumaa (AMD) (Burlina ym., 2017; Grassmann ym., 2018; Kawczynski ym., 2020).

Esimerkiksi AMD:n diagnosoinnissa ja hoitotarpeen ennustamisessa hyödynnetään syväoppimista, joka mahdollistaa yksilölliset hoitovaihtoehdot (Crincoli ym., 2024). Kaihin hoidossa tekoäly tarkentaa linssilaskelmia ja ennustaa kapselin samentumisen kehittymistä sekä YAG-laserkapsulotomian tarpeen (Gutierrez ym., 2022). Glaukooman

havaitsemisessa tekoäly tukee näköhermon ja sen keskuskuopan analyysiä sekä kammiokulman vaiheen arviointia edistyneillä algoritmeilla (Almazroa ym., 2015; Soh ym., 2024).

Lisäksi tekoälyn hyödyntäminen etuosan sairauksien, kuten sarveiskalvosairauksien, diagnostiikassa ja hoidon suunnittelussa on yleistymässä. Tulevaisuuden kehitykset, kuten monitoimiset algoritmit, voivat merkittävästi parantaa kustannustehokkuutta mahdollistamalla useiden sairauksien, kuten kaihin, sekä sarveiskalvon rakenteellisten muutosten diagnosoinnin yhdellä tutkimuksella (Gutierrez ym., 2022; Rampat ym., 2021).

Tekoälyn suorituskyky ikään liittyvien silmäsairauksien tunnistamisessa

Katsaukseen sisällytettiin 45 kansainvälistä tutkimusta, jotka käsittelivät tekoälyn käyttöä ikääntymiseen liittyvien silmäsairauksien tutkimuksissa optikkoliikkeen etänäöntutkimuksissa. Suurin osa tutkimuksista keskittyi diabeettiseen retinopatiaan (64 %) ja glaukoomaan (20 %). Kaihin (2 %) ja silmänpohjan ikärappeuman (7 %) sekä useamman silmäsairauden (7 %) tutkimukset olivat selkeästi vähälukuisempia.

Yleisimmin käytetty tekoälyteknologia oli konvolutiiviset neuroverkkoarkkitehtuurit (CNN) (42 %). Muita käytettyjä menetelmiä olivat autonomiset seulontajärjestelmät (22 %), siirtooppimiseen perustuvat mallit (9 %), segmentointi- ja kuvankäsittelyalgoritmit (9 %), yleiset tekoälyalgoritmit ja koneoppimismallit (9 %) sekä erikoistuneet syväoppimismallit (2 %). (Saunamäki, 2024.)

Tekoälyavusteiset järjestelmät osoittavat korkeaa suorituskykyä silmäsairauksien seulonnassa ja diagnosoinnissa. Tarkkuus (accuracy), joka mittaa kaikkien oikeiden ennusteiden osuutta, ylitti useimmissa tutkimuksissa 80 prosenttia, mikä osoittaa tekoälyn yleisen luotettavuuden. Herkkyys (sensitivity) eli tekoälyn kyky tunnistaa sairaustapaukset, oli erityisen korkea: yli 90 prosenttia tutkimuksista saavutti vähintään 80 prosentin herkkyuden, ja joissakin tapauksissa saavutettiin jopa 100 prosenttia. Tämä tarkoittaa, että tekoäly tunnistaa sairaustapaukset erittäin luotettavasti. Spesifisyys (specificity), joka mittaa kykyä tunnistaa sairaudettomat tapaukset, oli harvemmin raportoitu, mutta vaihteli tutkimuksissa 75–78 prosentin välillä, mikä osoittaa kohtuullista kykyä välttää vääriä positiivisia tuloksia. Nämä tulokset vahvistavat tekoälyn potentiaalin tehokkaana työkaluna silmäsairauksien seulontaan ja diagnostiikkaan. (Saunamäki, 2024.)

Diabeettinen retinopatia tekoälytutkimuksessa

Diabeettinen retinopatia on diabeteksen yleinen komplikaatio, joka aiheuttaa merkittävää näön heikkenemistä ja on yksi työikäisten yleisimmistä sokeuden syistä maailmanlaajuisesti (Cheung ym., 2010). Koska diabeettisen retinopatian varhainen havaitseminen on kriittistä, suositellaan diabeetikoille vuosittaisia silmätutkimuksia, joissa verkkokalvo arvioidaan silmänpohjakuvauksen avulla (Suomalaisen Lääkäriseuran Duodecimin, Suomen Silmälääkäriyhdistyksen, & Diabetesliiton lääkarineuvoston asettama työryhmä, 2024). Tekoälyalgoritmit ovat osoittautuneet tehokkaaksi työkaluksi diabeettisen retinopatian seulonnassa, sillä ne tarjoavat nopeita ja tarkkoja tuloksia verrattuna perinteisiin menetelmiin (Grzybowski ym., 2020).

Kahdeksassa tutkimuksessa tekoälyalgoritmia verrattiin ihmisen suoritukseen. Kaikissa tutkimuksissa tekoälyalgoritmit saavuttivat lähes yhtä korkean herkkyuden diabeettisen retinopatian tunnistuksessa kuin asiantuntijat. (Boyle ym., 2024; Heydon ym., 2021; Jimenez-Carmona ym., 2021; Lee ym., 2021; Mokhashi ym., 2022; Musetti ym., 2024; Pareja-Ríos ym., 2022; Shah ym., 2020.)

Tekoälyn erityisen korkea herkkyys, joka useimmissa tutkimuksissa ylitti 90 prosenttia (Saunamäki, 2024), tekee siitä erityisen hyödyllisen diabeettisen retinopatian seulonnassa, sillä se tunnistaa valtaosan sairaustapauksista ja vähentää riskiä, että hoitoa tarvitsevia potilaita jää diagnosoimatta (Boyle ym., 2024). Markkinoilla on jo saatavilla useita tekoälyohjelmistoja, jotka ovat saaneet CE-merkinnän Euroopassa tai Yhdysvaltain elintarvike- ja lääkeviraston (FDA, Food and Drug Administration) hyväksynnän kliiniseen käyttöön diabeettisen retinopatian seulontaa varten (Li ym., 2021).

Tekoälyn käyttöönoton haasteet

Samalla tekoälyteknologian hyödyntämiseen liittyy myös merkittäviä eettisiä ja juridisia haasteita. Näihin kuuluvat muun muassa tietosuoja, vinoumat ja järjestelmien läpinäkyvyys sekä vastuun ja sääntelyn kysymykset. Näiden asioiden huomioiminen on tärkeää, jotta tekoälyratkaisut voidaan integroida turvallisesti ja vastuullisesti silmänsairauksien hoitoon. (Grzybowski ym., 2020; Kumar ym., 2022; Rampat ym., 2021; Soh ym., 2024; Yang ym., 2021.)

Tekoälyjärjestelmiä kutsutaan usein ”mustiksi laatikoiksi”, koska niiden toimintaa on vaikea ymmärtää, sillä ne perustuvat oppimiseen ohjelmoinnin sijaan. Tästä syystä on ehdotettu, että lääketieteellisiä tekoälyjärjestelmiä hyödynnettäisiin ensisijaisesti varmistustyökaluina. Silloin niiden antamat tulokset tarkistetaan ja varmistetaan vastaamaan hoitostandardeja sen sijaan, että niitä käytettäisiin suoraan hoitopäätösten tekemiseen (Sullivan & Scweikart, 2019).

Tekoäly optikkoliikkeiden tulevaisuudessa

Tekoälyn käyttö yleistyy silmän valokerroskuvauslaitteissa (OCT) ja niihin liittyvissä algoritmeissa, mikä tuo merkittäviä hyötyjä erityisesti silmänpohjakuvien analysointiin (Burton ym., 2021; J. P. O. Li ym., 2021). Tekoälyn suurin etu on sen kyky tehostaa analyysiprosessia, mikä tukee sekä diagnoosien tekemistä että hoitopäätösten suunnittelua (Cleland ym., 2023; Hasan ym., 2024; Z. Li ym., 2023). Suomessa optikkoliikkeissä on jo laajalti käytössä silmänpohjakameroita, ja OCT-laitteiden käyttö lisääntyy jatkuvasti, mikä luo hyvän perustan tekoälyn hyödyntämiselle silmänsairauksien seulonnassa ja diagnosoinnissa (Tast, 2020).

Tekoäly ja oheiskuvantamistutkimukset voivat merkittävästi laajentaa etänäöntutkimusten palveluvalikoimaa optikkoliikkeissä. Näiden avulla voidaan tunnistaa silmänsairauksia entistä tarkemmin ja nopeammin, mikä vapauttaa optometristit tulosten tulkintaan ja jatkohoidon tarpeen suunnitteluun sekä auttaa silmälääkäreitä kohdentamaan resurssit niille potilaille, jotka tarvitsevat kiireellistä hoitoa.

Saana Saunamäki

Valmistunut optometristiksi (ylempi AMK) Oulun ammattikorkeakoulun Hyvinvoinnin digitaaliset ratkaisut tutkinto-ohjelmasta

Robert Andersson

yliopettaja

Hyvinvointi ja kulttuuri

Oulun ammattikorkeakoulu

Karoliina Paalimäki-Paakki

yliopettaja

Artikkeli perustuu opinnäytetyöhön:

Saunamäki, S. (2024). *Tekoäly ikään liittyvien silmäsairauksien etänäöntutkimuksessa – scoping-katsaus* [YAMK-opinnäytetyö, Oulun ammattikorkeakoulu, Hyvinvoinnin digitaaliset ratkaisut - tutkinto-ohjelma]. Theseus. <https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-2024121837202>

Lähteet

- Abràmoff, M. D., Lou, Y., Erginay, A., Clarida, W., Amelon, R., Folk, J. C., & Niemeijer, M. (2016). Improved Automated Detection of Diabetic Retinopathy on a Publicly Available Dataset Through Integration of Deep Learning. *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, 57(13), 5200. <https://doi.org/10.1167/iovs.16-19964>
- Almazroa, A., Burman, R., Raahemifar, K., & Lakshminarayanan, V. (2015). Optic Disc and Optic Cup Segmentation Methodologies for Glaucoma Image Detection: A Survey. *Journal of Ophthalmology*, 2015(1), 1–28. <https://doi.org/10.1155/2015/180972>
- Blais, N., Tousignant, B., & Hanssens, J.-M. (2024). Comprehensive Primary Eye Care: A Comparison Between an In-Person Eye Exam and a Tele-Eye Care Exam. *Clinical Optometry*, 16, 17–30. <https://doi.org/10.2147/OPTO.S436659>
- Boyle, J., Vignarajan, J., & Saha, S. (2024). Automated Diabetic Retinopathy Diagnosis for Improved Clinical Decision Support. *Studies in Health Technology and Informatics*, 310, 1490–1491. <https://doi.org/10.3233/SHTI231259>
- Burlina, P. M., Joshi, N., Pekala, M., Pacheco, K. D., Freund, D. E., & Bressler, N. M. (2017). Automated Grading of Age-Related Macular Degeneration From Color Fundus Images Using Deep Convolutional Neural Networks. *JAMA Ophthalmology*, 135(11), 1170. <https://doi.org/10.1001/jamaophthalmol.2017.3782>
- Burton, M. J., Ramke, J., Marques, A. P., Bourne, R. R. A., Congdon, N., Jones, I., Ah Tong, B. A. M., Arunga, S., Bachani, D., Bascaran, C., Bastawrous, A., Blanchet, K., Braithwaite, T., Buchan, J. C., Cairns, J., Cama, A., Chagunda, M., Chuluunkhuu, C., Cooper, A., ... Faal, H. B. (2021). The Lancet Global Health Commission on Global Eye

Health: vision beyond 2020. *The Lancet Global Health*, 9(4), e489–e551.

[https://doi.org/10.1016/S2214-109X\(20\)30488-5](https://doi.org/10.1016/S2214-109X(20)30488-5)

Cheung, N., Mitchell, P., & Wong, T. Y. (2010). Diabetic retinopathy. *The Lancet*, 376(9735), 124–136. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(09\)62124-3](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(09)62124-3)

Cleland, C. R., Rwiza, J., Evans, J. R., Gordon, I., MacLeod, D., Burton, M. J., & Bascaran, C. (2023). Artificial intelligence for diabetic retinopathy in low-income and middle-income countries: a scoping review. *BMJ Open Diabetes Research & Care*, 11(4). <https://doi.org/10.1136/BMJDR-2023-003424>

Crincoli, E., Sacconi, R., Querques, L., & Querques, G. (2024). Artificial intelligence in age-related macular degeneration: state of the art and recent updates. *BMC Ophthalmology*, 24(1), 121. <https://doi.org/10.1186/s12886-024-03381-1>

Dow, E. R., Khan, N. C., Chen, K. M., Mishra, K., Perera, C., Narala, R., Basina, M., Dang, J., Kim, M., Levine, M., Phadke, A., Tan, M., Weng, K., Do, D. V., Moshfeghi, D. M., Mahajan, V. B., Mruthyunjaya, P., Leng, T., & Myung, D. (2023). Artificial Intelligence-Human Hybrid Workflow Enhances Teleophthalmology for the Detection of Diabetic Retinopathy. *Ophthalmology Science*, 3(4), 100330. <https://doi.org/10.1016/j.xops.2023.100330>

Grassmann, F., Mengelkamp, J., Brandl, C., Harsch, S., Zimmermann, M. E., Linkohr, B., Peters, A., Heid, I. M., Palm, C., & Weber, B. H. F. (2018). A Deep Learning Algorithm for Prediction of Age-Related Eye Disease Study Severity Scale for Age-Related Macular Degeneration from Color Fundus Photography. *Ophthalmology*, 125(9), 1410–1420. <https://doi.org/10.1016/j.ophtha.2018.02.037>

Grzybowski, A., Brona, P., Lim, G., Ruamviboonsuk, P., Tan, G. S. W., Abramoff, M., & Ting, D. S. W. (2020). Artificial intelligence for diabetic retinopathy screening: a review. *Eye*, 34(3), 451–460. <https://doi.org/10.1038/S41433-019-0566-0>

Gulshan, V., Peng, L., Coram, M., Stumpe, M. C., Wu, D., Narayanaswamy, A., Venugopalan, S., Widner, K., Madams, T., Cuadros, J., Kim, R., Raman, R., Nelson, P. C., Mega, J. L., & Webster, D. R. (2016). Development and Validation of a Deep Learning Algorithm for Detection of Diabetic Retinopathy in Retinal Fundus Photographs. *JAMA*, 316(22), 2402. <https://doi.org/10.1001/jama.2016.17216>

Gutierrez, L., Lim, J. S., Foo, L. L., Ng, W. Y., Yip, M., Lim, G. Y. S., Wong, M. H. Y., Fong, A., Rosman, M., Mehta, J. S., Lin, H., Ting, D. S. J., & Ting, D. S. W. (2022). Application of artificial intelligence in cataract management: current and future directions. *Eye and Vision*, 9(1), 3. <https://doi.org/10.1186/s40662-021-00273-z>

Hasan, M. M., Phu, J., Sowmya, A., Meijering, E., & Kalloniatis, M. (2024). Artificial intelligence in the diagnosis of glaucoma and neurodegenerative diseases. *Clinical and Experimental Optometry*, 107(2), 130–146. <https://doi.org/10.1080/08164622.2023.2235346>

Heydon, P., Egan, C., Bolter, L., Chambers, R., Anderson, J., Aldington, S., Stratton, I. M., Scanlon, P. H., Webster, L., Mann, S., du Chemin, A., Owen, C. G., Tufail, A., & Rudnicka, A. R. (2021). Prospective evaluation of an artificial intelligence-enabled algorithm for automated diabetic retinopathy screening of 30 000 patients. *British Journal of Ophthalmology*, 105(5), 723–728. <https://doi.org/10.1136/bjophthalmol-2020-316594>

Huang, J., Li, X., Yan, T., Wen, L., Pan, L., & Yang, Z. (2022). The Reliability and Acceptability of RDx-Based Tele-Controlled Subjective Refraction Compared with Traditional Subjective Refraction. *Translational Vision Science & Technology*, 11(11), 16. <https://doi.org/10.1167/tvst.11.11.16>

Jimenez-Carmona, S., Alemany-Marquez, P., Alvarez-Ramos, P., Mayoral, E., & Aguilar-Diosdado, M. (2021). Validation of an Automated Screening System for Diabetic Retinopathy Operating under Real Clinical Conditions. *Journal of Clinical Medicine*, 11(1), 14. <https://doi.org/10.3390/jcm11010014>

Kaplan, J. (2016). *Artificial Intelligence: What Everyone Needs to Know*. Oxford University Press.

Kapur, N., Sabherwal, S., Sharma, P., Nayab, J., Koh Pei Chen, P., Srivastava, S., & Majumdar, A. (2024). Assessing the reliability of tele-refraction for real time consultation with a remote optometrist. *PLoS ONE*, 19(6), e0299491. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0299491>

Kawczynski, M. G., Bengtsson, T., Dai, J., Hopkins, J. J., Gao, S. S., & Willis, J. R. (2020). Development of Deep Learning Models to Predict Best-Corrected Visual Acuity from Optical Coherence Tomography. *Translational Vision Science & Technology*, 9(2), 51. <https://doi.org/10.1167/tvst.9.2.51>

Kumar, H., Goh, K. L., Guymer, R. H., & Wu, Z. (2022). A clinical perspective on the expanding role of artificial intelligence in age-related macular degeneration. *Clinical and Experimental Optometry*, 105(7), 674–679.

<https://doi.org/10.1080/08164622.2021.2022961>

LeCun, Y., Bengio, Y., & Hinton, G. (2015). Deep learning. *Nature*, 521(7553), 436–444.

<https://doi.org/10.1038/nature14539>

Lee, A. Y., Yanagihara, R. T., Lee, C. S., Blazes, M., Jung, H. C., Chee, Y. E., Gencarella, M. D., Gee, H., Maa, A. Y., Cockerham, G. C., Lynch, M., & Boyko, E. J. (2021).

Multicenter, Head-to-Head, Real-World Validation Study of Seven Automated Artificial Intelligence Diabetic Retinopathy Screening Systems. *Diabetes Care*, 44(5), 1168–1175.

<https://doi.org/10.2337/dc20-1877>

Li, J.-P. O., Liu, H., Ting, D. S. J., Jeon, S., Chan, R. V. P., Kim, J. E., Sim, D. A., Thomas, P. B. M., Lin, H., Chen, Y., Sakomoto, T., Loewenstein, A., Lam, D. S. C., Pasquale, L. R., Wong, T. Y., Lam, L. A., & Ting, D. S. W. (2021). Digital technology, tele-medicine and artificial intelligence in ophthalmology: A global perspective. *Progress in Retinal and Eye Research*, 82, 100900. <https://doi.org/10.1016/j.preteyeres.2020.100900>

Li, Z., He, Y., Keel, S., Meng, W., Chang, R. T., & He, M. (2018). Efficacy of a Deep Learning System for Detecting Glaucomatous Optic Neuropathy Based on Color Fundus Photographs. *Ophthalmology*, 125(8), 1199–1206.

<https://doi.org/10.1016/j.ophtha.2018.01.023>

Li, Z., Wang, L., Wu, X., Jiang, J., Qiang, W., Xie, H., Zhou, H., Wu, S., Shao, Y., & Chen, W. (2023). Artificial intelligence in ophthalmology: The path to the real-world clinic. *Cell Reports Medicine*, 4(7), 101095. <https://doi.org/10.1016/J.XCRM.2023.101095>

Microsoft Copilot. (2025). Artificial Intelligence in Remote Eye Examinations, professional, blurred background details, crisp and high-tech feel, photography style. Microsoft.

<https://copilot.microsoft.com/>

Mokhashi, N., Grachevskaya, J., Cheng, L., Yu, D., Lu, X., Zhang, Y., & Henderer, J. D. (2022). A Comparison of Artificial Intelligence and Human Diabetic Retinal Image Interpretation in an Urban Health System. *Journal of Diabetes Science and Technology*, 16(4), 1003–1007. <https://doi.org/10.1177/1932296821999370>

Musetti, D., Cutolo, C. A., Bonetto, M., Giacomini, M., Maggi, D., Viviani, G. L., Gandin, I., Traverso, C. E., & Nicolò, M. (2024). Autonomous artificial intelligence versus teleophthalmology for diabetic retinopathy. *European Journal of Ophthalmology*, 35(1), 232–238. <https://doi.org/10.1177/11206721241248856>

Numminen, O., & Wuotila, K. (2016). *Tekes-hanke: Loppuraportti*. Näkemisen ja silmäterveyden toimiala ry. <https://naery.fi/2018/12/10/optisen-alan-tekes-hankkeen-loppuraportti/>

Pareja-Ríos, A., Ceruso, S., Romero-Aroca, P., & Bonaque-González, S. (2022). A New Deep Learning Algorithm with Activation Mapping for Diabetic Retinopathy: Backtesting after 10 Years of Tele-Ophthalmology. *Journal of Clinical Medicine*, 11(17), 4945. <https://doi.org/10.3390/jcm11174945>

Perepelkina, T., & Fulton, A. B. (2021). Artificial Intelligence (AI) Applications for Age-Related Macular Degeneration (AMD) and Other Retinal Dystrophies. *Seminars in Ophthalmology*, 36(4), 304–309. <https://doi.org/10.1080/08820538.2021.1896756>

Rampat, R., Deshmukh, R., Chen, X., Ting, D. S. W., Said, D. G., Dua, H. S., & Ting, D. S. J. (2021). Artificial Intelligence in Cornea, Refractive Surgery, and Cataract: Basic Principles, Clinical Applications, and Future Directions. *Asia-Pacific Journal of Ophthalmology*, 10(3), 268–281. <https://doi.org/10.1097/APO.0000000000000394>

Samuel, A. L. (1959). Some Studies in Machine Learning Using the Game of Checkers. *IBM Journal of Research and Development*, 3(3), 210–229. <https://doi.org/10.1147/rd.33.0210>

Saunamäki, S. (2024). *Tekoäly ikään liittyvien silmäsairauksien etänäöntutkimuksessa – scoping-katsaus* [YAMK-opinnäytetyö, Oulun ammattikorkeakoulu]. Theseus. <https://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-2024121837202>

Shah, P., Mishra, D. K., Shanmugam, M. P., Doshi, B., Jayaraj, H., & Ramanjulu, R. (2020). Validation of Deep Convolutional Neural Network-based algorithm for detection of diabetic retinopathy – Artificial intelligence versus clinician for screening. *Indian Journal of Ophthalmology*, 68(2), 398–405. https://doi.org/10.4103/ijo.IJO_966_19

Soh, Z. Da, Tan, M., Nongpiur, M. E., Xu, B. Y., Friedman, D., Zhang, X., Leung, C., Liu, Y., Koh, V., Aung, T., & Cheng, C. Y. (2024). Assessment of angle closure disease in the

age of artificial intelligence: A review. *Progress in Retinal and Eye Research*, 98, 101227.
<https://doi.org/10.1016/J.PRETEYERES.2023.101227>

Stuermer, L., & Martin, R. (2022). Characterization of technologies in digital health applied in vision care. *Journal of Optometry*, 15, S70–S81.
<https://doi.org/10.1016/j.optom.2022.09.005>

Sullivan, H. R., & Scweikart, S. J. (2019). Are Current Tort Liability Doctrines Adequate for Addressing Injury Caused by AI? *AMA Journal of Ethics*, 21(2), E160–166.
<https://doi.org/10.1001/amajethics.2019.160>

Suomalaisen Lääkäriseuran Duodecimin, Suomen Silmälääkäriyhdistyksen, & Diabetesliiton lääkarineuvoston asettama työryhmä. (2024). *Diabeettinen retinopatia*. Käypä hoito -suositus. Suomalainen Lääkäriseura Duodecim.
<https://www.kaypahoito.fi/xmedia/khp/khp00059.pdf>

Tan, T. F., Li, Y., Lim, J. S., Gunasekeran, D. V., Teo, Z. L., Ng, W. Y., & Ting, D. S. W. (2022). Metaverse and Virtual Health Care in Ophthalmology: Opportunities and Challenges. *Asia-Pacific Journal of Ophthalmology*, 11(3), 237–246.
<https://doi.org/10.1097/APO.0000000000000537>

Tast, P. (2020). Silmäterveydenhuollon peruspalvelut Suomessa. Teoksessa T. Tevameri (toim.), *Missä mennään sote-toimiala? Sosiaali- ja terveysalan toimialaraportti* (Työ- ja elinkeinoministeriön julkaisuja 2020:1). Työ- ja elinkeinoministeriö.
<http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-327-480-8>

Ting, D. S. W., Cheung, C. Y.-L., Lim, G., Tan, G. S. W., Quang, N. D., Gan, A., Hamzah, H., Garcia-Franco, R., San Yeo, I. Y., Lee, S. Y., Wong, E. Y. M., Sabanayagam, C., Baskaran, M., Ibrahim, F., Tan, N. C., Finkelstein, E. A., Lamoureux, E. L., Wong, I. Y., Bressler, N. M., ... Wong, T. Y. (2017). Development and Validation of a Deep Learning System for Diabetic Retinopathy and Related Eye Diseases Using Retinal Images From Multiethnic Populations With Diabetes. *JAMA*, 318(22), 2211.
<https://doi.org/10.1001/jama.2017.18152>

Wright, H. R., & Diamond, J. P. (2015). Service innovation in glaucoma management: using a web-based electronic patient record to facilitate virtual specialist supervision of a shared care glaucoma programme. *British Journal of Ophthalmology*, 99(3), 313–317.
<https://doi.org/10.1136/bjophthalmol-2014-305588>

Yang, J., Fong, S., Wang, H., Hu, Q., Lin, C., Huang, S., Shi, J., Lan, K., Tang, R., Wu, Y., & Zhao, Q. (2021). Artificial intelligence in ophthalmopathy and ultra-wide field image: A survey. *Expert Systems with Applications*, 182, 115068.

<https://doi.org/10.1016/J.ESWA.2021.115068>