



Maram Almakdisy ja Laura Karhula

## Sopisiko taittovirhekirurgia sinulle?

Kuvaileva kirjallisuuskatsaus myopian ja astigmatian määrän vaikutuksesta taittovirhekirurgian komplikaatioiden esiintyvyyteen

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Optometristi (AMK)

Optometrian tutkinto-ohjelma

Opinnäytetyö

31.10.2023

Tekijä	Maram Almakdisy ja Laura Karhula
Otsikko	Sopisiko taittovirhekirurgia sinulle?
Sivumäärä	43 sivua
Aika	31.10.2023
Tutkinto	Optometrismi (AMK)
Tutkinto-ohjelma	Optometrian tutkinto-ohjelma
Ohjaajat	Lehtori Johanna Valtanen Lehtori Saija Flinkkilä
<p>Opinnäytetyön tarkoituksena oli arvioida, onnistuuko taittovirheleikkaus henkilöille, joilla on korkea myopia ja astigmatia samassa määrin, kuin myopian ja astigmatian määrän ollessa pienempi. Tavoitteena oli tuoda esiin taittovirhekirurgian eri leikkausmenetelmät, niiden väliset erot, leikkauksissa esiintyvät komplikaatiot ja komplikaatioiden yleisyys myopian ja astigmatian määrän perusteella.</p> <p>Työ toteutettiin kuvailevana kirjallisuuskatsauksena. Opinnäytetyöllä vastattiin seuraaviin kysymyksiin: “Onko myopian ja astigmatian määrällä vaikutusta taittovirhekirurgian komplikaatioiden esiintyvyyteen?” ja “Onko komplikaatioiden esiintyvyydessä eroa PRK-, LASIK- ja SMILE-leikkauksien jälkeen?”.</p> <p>Kirjallisuuskatsaukseen valikoitui 13 tutkimusta menneen 10 vuoden ajalta, joissa käsitellään PRK-, LASIK- ja SMILE- leikkauksia. Valitut tutkimukset haettiin Pubmed-, ProQuest- ja Journal of Student Research- tietokannoista. Tutkimukset käsittelevät taittovirhekirurgian onnistumista, turvallisuutta, ennakoitavuutta ja stabiliteettia.</p> <p>Tutkimustulosten mukaan komplikaatioiden esiintyminen voi lisääntyä taittovirheen määrän kasvaessa. Uusintaleikkaukseen joutumisen todennäköisyys kasvaa taittovirheen ollessa suurempi.</p> <p>Tutkimustuloksista voidaan päätellä, että vaikka komplikaatioiden todennäköisyys näyttäisi olevan suurempi myopian ja astigmatian määrän kasvaessa, niiden esiintyminen on silti vähäistä. Näin ollen taittovirhekirurgia on sopiva korjausmenetelmä niin suurille kuin pienille määrille myopiaa ja astigmatiaa.</p>	
Avainsanat	Myopia, astigmatia, taittovirhekirurgia, SMILE, LASIK, PRK

Author	Maram Almakdisy and Laura Karhula
Title	Is Refractive Surgery Right For You?
Number of Pages	43 pages
Date	31st of October 2023
Degree	Bachelor of Health Care
Degree Programme	Optometry
Instructors	Johanna Valtanen, Senior Lecturer Saija Flinkkilä, Senior Lecturer
<p>The purpose of the thesis was to estimate whether refractive surgery is successful equally for both people with high or low myopia and astigmatism. The aim was to highlight the different surgical methods of refractive surgery, the differences between them, possible complications and their prevalence based on the amount of myopia and astigmatism.</p> <p>The study was conducted as a descriptive literature review. The thesis answered the following questions: "does the amount of myopia and astigmatism have an effect on the incidence of complications in refractive surgery?" and "Is there a difference in the incidence of complications after PRK, LASIK and SMILE surgeries?".</p> <p>13 studies from the past 10 years dealing with PRK, LASIK and SMILE surgeries were selected for the literature review. The selected studies were carried out by using Pubmed, ProQuest and Journal of Student Research databases. The research studied the success, safety, predictability and stability of the refractive surgery.</p> <p>According to research results, the occurrence of complications may increase as the amount of refractive error increases. The higher the refractive error, the greater the probability of reoperation.</p> <p>Based on the study results, it can be concluded that even if the probability of complications seems to be higher as the amount of myopia and astigmatism increases, their occurrence is still low. Consequently, refractive surgery is a suitable correction method for both high and low myopia and astigmatism.</p>	
Keywords	Myopia, astigmatism, refractive surgery, SMILE, LASIK, PRK

## Sisällys

Johdanto	1
1 Taittovirhe	2
1.1 Myopia	2
1.1.1 Riskitekijät	3
1.1.2 Ennaltaehkäisy ja hoitomahdollisuudet	3
1.2 Astigmatia	5
1.2.1 Astigmatian jaottelu	5
1.2.2 Astigmatian määrän määrittäminen	6
2 Sarveiskalvon rakenne	7
2.1 Kyynelfilmi	8
2.2 Epiteeli	8
2.3 Bowmanin kerros	9
2.4 Strooma	9
2.5 Duan kerros	10
2.6 Descemetin kalvo	10
2.7 Endoteeli	10
3 Taittovirhekirurgian leikkausmenetelmät	11
3.1 ReLex SMILE	11
3.2 LASIK ja FemtoLASIK	12
3.3 PRK	13
3.4 Muut leikkausmenetelmät	14
4 Taittovirhekirurgian vasta-aiheet	15
5 Leikkauskomplikaatiot	16
5.1 Intraoperatiiviset komplikaatiot	16
5.2 Näöntarkkuuteen vaikuttavat komplikaatiot	17
5.2.1 Refraktio	17
5.2.2 Näkökenttä	17
5.3 Komplikaatiot sarveiskalvossa	18
5.4 Lämpäkomplikaatiot	20
5.5 Tulehdukset	21
5.6 Kuivasilmäisyys	22
6 Opinnäytetyön toteutus	23

6.1	Tutkimusmenetelmä	23
6.2	Aineiston kerääminen ja analysointi	23
7	Tulokset	26
7.1	Tutkimukset	26
7.2	Tehokkuus, turvallisuus ja ennustettavuus	29
7.3	Komplikaatiot	32
8	Pohdinta	35
	Lähteet	37

## Johdanto

Opinnäytetyössä käsitellään tuloksia myopian ja astigmatian korjaamisesta taittovirhekirurgialla. Yleisesti käytettyjä taittovirhekirurgian tekniikoita ovat PRK, LASIK, LASEK, FemtoLASIK ja SMILE. Taittovirheleikkauksella voi saavuttaa täyden riippumattomuuden silmälaseista ja piilolinseistä. (Pniakowska & Jurowski & Wierzbowska 2023.)

Taittovirheitä ovat myopian ja astigmatian lisäksi myös hyperopia ja presbyopia. Presbyopian ja hyperopian korjaamiseksi suositellaan linssileikkausta (IOL) taittovirheleikkauksen sijaan. (Alió & Grzybowski & Romaniuk 2014.)

Taittovirhekirurgian menetelmien lopputuloksien välillä voi olla eroavaisuutta taittovirheen tyyppiä tai määrää tarkastellessa. Esimerkiksi korkeiden taittovirheiden korjauksen lopputulos on yleensä huonommin ennustettavissa ja leikkauksen jälkeen saavutetulla refraktiolla voi olla huono stabiilisuus. Taittovirheen määrä antaa suuntaa sille, millaisella menetelmällä saadaan paras lopputulos. (Katz 2016d: 15; Katz 2016c: 20; Katz 2016b: 29.)

Opinnäytetyön tavoitteena oli lisätä tietoisuutta myopian ja astigmatian voimakkuuden määrän vaikutuksesta mahdollisiin taittovirhekirurgiasta aiheutuviin komplikaatioihin. Opinnäytetyö on suunnattu optometrian ammattilaisille ja optometristiopiskelijoille. Optisen alan ammattilaiset voivat hyötyä tiedosta taittovirhekirurgiaan harkitsevan asiakkaan ohjeistamisessa sekä oman tietoisuuden lisäämisellä.

Opinnäytetyö toteutettiin kuvailevana kirjallisuuskatsauksena. Työssä pyrittiin vastaamaan kysymyksiin "Onko myopian ja astigmatian määrällä vaikutusta taittovirhekirurgian komplikaatioiden esiintyvyyteen?" ja "Onko komplikaatioiden esiintyvyydessä eroa PRK-, LASIK- ja SMILE- leikkauksien jälkeen?". Opinnäytetyötä, jossa tarkastellaan voimakkuuksien vaikutusta taittovirhekirurgian onnistumisen todennäköisyyteen, ei ole aikaisemmin tehty. Opinnäytetyöhön valikoitui 13 tutkimusta, joissa käsitellään eri leikkauksen menetelmien ennustettavuutta ja turvallisuutta matalasta aina korkeaan taittovirheeseen saakka.

# 1 Taittovirhe

Taittovirheitä ovat myopia, hyperopia, astigmatia ja presbyopia. Taittovirheeseen vaikuttaa sarveiskalvon, mykiön ja verkkokalvon välinen vuorovaikutus. Muutokset tässä vuorovaikutuksessa aiheuttavat taittovirheen sfäärisen voimakkuuden. Astigmatian sylinteri voimakkuuteen vaikuttavat sarveiskalvo ja mykiö. (Varssano 2012: 15.) Taittovirheitä käsittelevässä osiossa ei käsitellä myopian ja astigmatian lisäksi hyperopiaa ja presbyopiaa valittujen poissulkukriteerien vuoksi.

## 1.1 Myopia

Myopia eli likinäköisyys on yksi johtavista näkövammaisuuden syistä maailmanlaajuisesti ja sen esiintyvyys kasvaa jatkuvasti (Mountjoy ym. 2018: 1; Németh ym. 2021: 853–854). Myopia lisää muiden silmäsairauksien kuten kaihin, glaukooman, myooppi-sen makulopatian (Pärssinen & Wedenoja 2021) ja verkkokalvon irtoamisen riskejä, jotka voivat aiheuttaa näön menetyksen (Németh ym. 2021: 854).

Myopia on silmän taittovirhe, joka saa valon kohdistumaan verkkokalvon eteen, eikä verkkokalvolle. Sen seurauksena kaukana olevat kohteet näyttävät epäselviltä. Myopia johtuu joko siitä, että silmän aksiaalinen pituus on liian pitkä (Mountjoy ym. 2018: 1) tai siitä, että sarveiskalvo ja/tai mykiö ovat liian kaarevia (Németh ym. 2021: 855).

Myopia on luokiteltu International Myopia Institute (IMI)- mukaan korkeaksi, kun silmän taittovirhe on  $\leq -6,00D$  (Németh ym. 2021: 855). Myopiaa kutsutaan korkeaksi, kun sfäärinen ekvivalentti on  $-6 D$  ja  $-10 D$  välissä. Potilailla, joilla on sfäärinen ekvivalentti  $\leq -10,00 D$  vähintään yhdessä silmässä, määriteltiin olevan erittäin korkea myopia. (Xu & Li & Shan & Du & Jin & Zhou 2023.) Opinnäytetyö toteutettiin IMI- luokittelun mukaan.

Myopia voi alkaa missä tahansa iässä. Yleensä se kuitenkin tapahtuu kouluikässä, kun silmän aksiaalinen pituus lisääntyy lapsen kehityksen mukana (Pärssinen & Wedenoja 2021). Myopiaa voidaan korjata silmälaseilla, piilolinssillä tai taittovirhekirurgialla. Visuaalisesta korjauksesta riippumatta sokeuden riski saattaa kasvaa silmän aksiaalisen pituuden kasvaessa, varsinkin korkean myopian kohdalla. (Mountjoy ym. 2018: 1.)

### 1.1.1 Riskitekijät

Myopiaan liittyy monia erilaisia riskitekijöitä, joista osaan henkilö itse voi vaikuttaa ja estää niiden esiintymisen. Riskitekijöitä ovat esim. perinnöllisyys, sukupuoli, syntymäolosuhteet, ympäristötekijät, lähityön määrä, riittämätön valaistus, digitaalisten älylaitteiden käyttäminen ja suonikalvon paksuus. Tutkimuksissa, joissa on ollut eri etnisistä ryhmistä olevia henkilöitä mukana, on todettu myopian riskin kasvavan, jos toisella tai molemmilla vanhemmista on myopia. Naisilla myopia etenee nopeammin, kuin miehillä. (Németh ym. 2021: 859–862.)

Likinäköisyys on korkeampi esikoisilla verrattuna muihin lapsiin ja erittäin alhainen syntymäpaino vaikuttaa merkittävästi silmän kehitykseen pitkällä aikavälillä. Merkittävä enenaikaisuus, joka liittyy keskosten retinopatian kehittymiseen, on myös hyvin tunnistettu myopian syy. Kesä- tai syyskuukausina syntyneillä koehenkilöillä myopian esiintyvyys oli suurempi kuin talvella syntyneillä, mikä saattaa liittyä luonnonvalolle altistumisen tasoon varhaisen perinataalikauden aikana. (Németh ym. 2021: 860.)

Myös ympäristötekijät vaikuttavat myopian esiintymiseen. Näistä myopian puhkeamiseen vaikuttava suurin riskitekijä on sisätiloissa vietetty aika. Tämä siksi, koska ultraviolettivalon (UV) puuttumisella on vaikutusta aksiaalisen myopian puhkeamiseen. Lisäksi älylaitteiden liika käyttäminen, pitkään kestävä lähityö ilman taukoja ja lyhyt katseletäisyys hämärässä valossa voivat edistää myopian alkamista ja nopeuttaa sen etenemistä. (Németh ym. 2021: 861–862.)

Silmän rakenteissa olevat ohuemmat suonikalvot liittyvät myopian kehittymiseen. Nuorilla ihmisillä suonikalvo ohenee, kun he lukevat mustaa tekstiä valkoiselta pohjalta ja paksunee, kun he lukevat valkoista tekstiä mustalta taustalta. Tämän takia on suositeltu lukemaan tekstiä mustalta näytöltä tai tabletilla muokkaamalla esim. näytön asetuksia. (Németh ym. 2021: 861.)

### 1.1.2 Ennaltaehkäisy ja hoitomahdollisuudet

Tärkeimmät toimenpiteet, joita voidaan toteuttaa myopian kehittymisen ehkäisemiseksi ja myopian etenemisen vähentämiseksi ovat elämäntavat, ympäristövaikutusten optimointi, atropiinia sisältävien silmätippojen käyttö sekä optiset laitteet, mukaan lukien silmälasit, piilolinssit ja ortokeratologia. Myös lapsuudessa ulkona vietetty aika suojaa

osittain myopian kehittymiseltä (Mountjoy ym. 2018: 2), koska silloin verkkokalvosta vapautuu dopamiinia ja lisääntynyt dopamiinin vapautuminen näyttäisi estävän lisääntyntä aksiaalista venymistä. Monet tutkimukset osoittavat, että mahdollisuus myopian kehittymiselle vähenee noin kolmanneksella, jos ulkona vietettyä tuntien määrä viikossa lisätään 0–5:sta 14 tuntiin tai enemmän. (Németh ym. 2021: 862.)

Läheisen katseluetäisyyden ja jatkuvan lukemisen tunnistamisella mahdolliseksi myopian riskitekijöiksi voi olla merkittävää kansanterveydellistä merkitystä. Terveyttä edistävät viestit voisivat kannustaa lapsia lukemaan kirjaa kauempaa ja pitämään taukoja jatkuvan lukemisen välissä, mikä vähentää myopian etenemistä. (Ip ym. 2008.)

Atropiini on antikolinerginen salpaaja, jolla on tärkeä rooli erilaisissa silmäkudoksissa. Se hidastaa silmän aksiaalista venymistä ja auttaa hillitsemään myopian etenemistä, mutta sen optimaalista annosta ei vielä tiedetä (Zhao & Cai & Ding & Dai 2020). Atropiini parantaa kovakalvon verenkiertoa suonikalvon läpi, paksuntaa kovakalvokudosta ja vähentää sen elastisuutta ja taipumusta venymiselle (Németh ym. 2021: 866).

Myopian korjaaminen lapsilla on tärkeää, koska erityisesti silloin myopia etenee nopeasti. Suositus on, että lasten näkö tarkistettaisiin joka vuosi. Myopia korjataan yleensä silmälasilla, mutta näiden lisäksi vaihtoehtona ovat myös piilolinssit. Piilolinssijä pitää osata käsitellä huolellisesti ja olla käyttämättä jatkuvasti sarveiskalvotulehduksen riskin vähentämiseksi. (Pärssinen & Wedenoja 2021.)

Ortokeratologialinssit eli Ortho-K-linssit ovat erityisesti suunniteltuja RGP- piilolinssijä, joita käytetään yön yli. Ne muokkaavat sarveiskalvon muotoa, mikä korjaa tilapäisesti myopian seuraavana päivänä linssin poistamisen jälkeen. (Németh ym. 2021: 865.) Ne eivät sovellu kaikille, esimerkiksi sellaisille, joilla on vaikeaa kuivasilmäisyyttä tai keraatiitti (Zhao ym. 2020). Näön korjaamiseksi suositellaan, että linssijä käytettäisiin vähintään kahdeksan tuntia yössä (Németh ym. 2021: 871).

Taittovirhekirurgia on yksi vaihtoehto myopian hoidossa. Korjausleikkauksessa loivennetaan sarveiskalvon kaarevuutta laserin avulla, minkä seurauksena sarveiskalvon taittovoima vähenee ja tällöin kaukonäön tarkkuus korjaantuu. Ennen leikkausta arvioidaan yksilöllisesti toimenpiteen soveltuvuutta ja mahdolliset riskitekijät. (Pärssinen & Wedenoja 2021.)

## 1.2 Astigmatia

Astigmatia eli hajataitteisuus on taittovirhe, joka vaikuttaa erilaisiin näkötoimintoihin, kuten näöntarkkuuteen ja kontrastiherkkyteen (Mohammadi & Khorrami-Nejad & Hamidirad 2019: 85). Yleensä astigmatia johtuu sarveiskalvon kaarevuuden muutoksista. Astigmatia voi olla synnynnäistä, mutta myös esimerkiksi sarveiskalvolle kohdistetun leikkauksen aiheuttamaa. Myös mykiön muodossa tapahtuneet muutokset voivat aiheuttaa astigmatiaa. Silmä, jossa on astigmatiaa, ei pysty muodostamaan kohteesta pistettä silmän taittovoiman vaihdellessa meridiaanista (polttoviivasta) toiseen. Meridiaanit määritellään päämeridiaaneiksi suurimman ja pienimmän taittovoiman mukaan. (Resan & Vukosavljević & Milivojević 2012: 194.) Näöntarkkuus on alhaisempi silmässä, jossa on korjaamatonta astigmatiaa (Varssano 2012: 28).

Astigmatia voi aiheuttaa ongelmia, kuten epiforaa (kyynelehtiminen), yksipuolista diplopiata, astenooppisia oireita, kuvien vääristymistä (Mohammadi ym. 2019: 85) ja näön hämärtymistä (Varssano 2012: 28). Vaikutus näkökykyyn riippuu sekä astigmatismien määrästä että pupillien koosta (Varssano 2012: 28). Astigmatia korjataan yleensä sfäärissylinteri- linsseillä (Resan ym. 2012: 194), joita voidaan käyttää silmälaseissa ja pehmeissä piilolinsseissä (Varssano 2012: 15).

### 1.2.1 Astigmatian jaottelu

Astigmatian tyypin diagnosointi on tärkein asia, joka tulee ottaa huomioon ennen sen korjaamista. (Mohammadi ym. 2019: 86.) Astigmatia luokitellaan kahteen eri tyyppiin: säännölliseen ja epäsäännölliseen. Astigmatiaa kutsutaan säännölliseksi, kun kaksi päämeridiaania ovat  $90^\circ$  toisiinsa nähden. Muissa tapauksissa astigmatia on epäsäännöllinen. (Resan ym. 2012: 194.)

Astigmatia myös jaotellaan akselinsuuntien perusteella: säännönmukainen, kun jyrkin meridiaani on vertikaalisuunnassa lähellä  $90^\circ$ , säännönvastainen, kun jyrkin meridiaani on horisontaalisuunnassa lähellä  $180^\circ$  ja vinojen suuntien astigmatia, kun päämeridiaanit eivät ole lähellä  $90^\circ$  ( $\pm 20^\circ$ ) eikä  $180^\circ$  ( $\pm 20^\circ$ ) (Resan ym. 2012: 194).

Astigmatia voi olla yhdistettynä sekä myopian että hyperopian kanssa ja sen mukaan säännöllinen astigmatia jaotellaan seuraavasti: yksinkertainen myooppinen astigmatia

(simple myopic), yksinkertainen hyperooppinen astigmatia (simple hyperopic), yhdistetty myooppinen astigmatia (compound myopic), yhdistetty hyperooppinen astigmatia (compound hyperopic), ja seka-astigmatia (mixed) (Mohammadi ym. 2019: 86; Resan ym. 2012: 195).

Yksinkertaisessa myooppisessa astigmatiassa yksi meridiaani on emmetrooppinen (verkkokalvolla) ja toinen myooppinen (verkkokalvon edessä). Yhdistetty myooppinen astigmatia ilmenee, kun molemmat päämeridiaanit ovat myooppisia ja vetävät polttoviivat verkkokalvolta lasiaseen. Yksinkertaisessa hyperooppisessa astigmatiassa yksi meridiaani on emmetrooppinen ja toinen hyperooppinen (verkkokalvon takana). Yhdistetty hyperooppinen astigmatia voi esiintyä silloin, kun molemmat päämeridiaanit ovat hyperooppisia ja vetävät polttoviivat verkkokalvon taakse. Seka-astigmatia esiintyy, kun toinen meridiaani on hyperooppinen ja toinen myooppinen. (Resan ym. 2012: 195.)

### 1.2.2 Astigmatian määrän määrittäminen

Keratometri on laite, jota käytetään sarveiskalvon taitevoiman arvon määrittämiseen. Se mittaa sarveiskalvon kaksi päämeridiaania, joiden välistä eroa kutsutaan keratometriseksi astigmatiaksi. Meridiaanit ovat kohtisuorassa toisiaan vastaan, jos astigmatia on säännöllistä. Keratometrillä sarveiskalvon pinnan kaarevuussäteen laskeminen on altis virheille, koska vain sarveiskalvon anteriorinen (etummainen) pinta mitataan tarkasti. Toinen keratometrin haittapuoli on se, että se mittaa sarveiskalvon keskiosaa vain 3 mm verran, ei kokonaan. (Varssano 2012: 22–29.)

Toinen tapa astigmatian määrittämiselle on retinoskooppi, jonka avulla pystytään määrittämään silmän taittovirhe objektiivisesti. Silmän eteen laitetaan sfäärisiä- ja sylinterilinssejä, kunnes taittovirhe on neutraloitu. Samalla saadaan tietoa astigmatian säännöllisyydestä ja määrästä. (Varssano 2012: 29.)

Sarveiskalvon topografia on konseptiltaan samanlainen kuin perinteinen keratometria, mutta se kartoittaa sarveiskalvon pinnan läheltä keskustaa aina 4 tai 5 mm:n päähän keskustasta, eli mitattu alue on hieman suurempi kuin keratometrillä. Topografia koostuu useista samankeskeisistä valaistuista renkaista, joiden tiedot yhdistetään värikartaksi, joka näyttää sarveiskalvon kaarevuuden useissa tuhansissa pisteissä sarveiskalvon pinnalla. (Varssano 2012: 29.)

## 2 Sarveiskalvon rakenne

Sarveiskalvo on avaskulaarinen (verisuoneton) läpinäkyvä kudosis, joka sijaitsee silmän etuosan keskellä, etukammion ja iiriksen edessä. Se on välttämätön visuaalisen toiminnan kannalta ja mikä tahansa häiriö sarveiskalvon läpinäkyvyydessä aiheuttaa näön heikentymisen. (Pang & Lennikov & Yang 2021.) Sarveiskalvo koostuu viidestä eri kerroksesta, jotka ovat uloimmasta kerroksesta sisimpään: epiteeli, Bowmanin kerros, strooma, Descemetin kalvo ja endoteeli (Liu & Li 2021; Pang ym. 2021). Viime vuosina on todettu sarveiskalvolta löytyvän myös Duan-kerros, joka sijaitsee strooman ja Descemetin kalvon välissä (Sridhar 2018).

Sarveiskalvo on kupera, asfäärinen, ovaalin näköinen ja sen halkaisija horisontaalisesti on noin 11–12 mm. Sarveiskalvo on valoa läpäisevä kudosis, joka taittaa ja kohdistaa valonsäteitä verkkokalvolle taitekertoimilla 1.376 ja taittovoimalla, joka on noin 40–44 dioptriaa. (Sridhar 2018.) Sarveiskalvon taittovoima on kaksi kolmasosaa silmän kokonaistaittovoimasta ja sen takia sarveiskalvon leikkaus on taittovirhekorjauksen päätukupilari (Kim & Barrio & Wilkins & Cochener & Ang 2019: 2086; Sridhar 2018).

Sarveiskalvo ohenee iän myötä ja sen keskipaksuus normaaleissa silmissä on 551–565 µm, joka kasvaa asteittain periferiaa kohti mennessä. Tämä johtuu siitä, että sarveiskalvon strooman kollageenisäikeiden määrä lisääntyy sarveiskalvon reuna-alueilla. (Sridhar 2018.) Sarveiskalvon paksuuden voi mitata eri laitteilla, esim. kädessä pidettävällä ultraäänipakymetrillä, ultraäänibiomikroskoopilla ja käyttämällä Artemis-2 ultraääniskanneria hyvin korkealla taajuudella (Al-Farhan & Al-Otaibi 2012).

Sarveiskalvo on silmäkudoksien ja ulkoisen ympäristön välillä oleva rajapinta, joka suojaaa silmän sisällä olevia rakenteita infektioilta yhteistyössä jatkuvan räpyttelyn ja kyynelnesteen virtauksen kanssa. Kyynel neste ja räpyttely pitävät sarveiskalvon pinnan puhtaana huuhtomalla pois silmän pinnalle kiinnittyneitä vieraita aineita ja bakteereita. (Liu & Li 2021; Sridhar 2018.)

Sarveiskalvo saa happea suoraan tai epäsuorasti ilmakehästä ja mahdollinen hypoksia (hapen saanti ei täytä kudoksen tarpeita) vaikuttaa sarveiskalvoon monin tavoin. Se voi aiheuttaa epiteelin estetoimintaan häiriötä, sarveiskalvon strooman ohenemista, endoteelin toimintahäiriötä, aineenvaihdunta muutoksia stroomassa ja siitä seuraavaa sar-

veiskalvon turvotusta. Sarveiskalvon hypoksia voi johtua monista eri syistä, esim. piilolinssien pitkäaikaisesta käytöstä, sarveiskalvon tulehduksesta, keuhkojen sairauksista ja uniapneasta. (Pang ym. 2021.)

## 2.1 Kyynelfilmi

Sarveiskalvon pinnalla olevat pienet epätasaisuudet peittyvät tasaisen ja säännöllisen kyynelkalvon alle. Kyynelkalvo on hapen ja immunoglobuliinin lähde ja ensimmäinen kerros, jonka kanssa valo joutuu kosketuksiin. Kyynelfilmissä on kolme eri kerrosta, jotka ovat geelimäisiä ja toimivat yhdessä voidellakseen ja kostuttaakseen silmän sarveis- ja sidekalvoa. (Sridhar 2018.)

Päällimmäisin kerros on lipidikerros, joka koostuu Meibomian rauhasen öljyisistä eritteistä. Öljyinen kerros tarjoaa tärkeän esteen kyynelkalvon haihtumista vastaan. Keskimäinen kerros on vesipitoinen, joka tuotetaan kyynelrauhasten eritteestä. Kyynelrauhaset sijaitsevat ylemmässä lateraalisessa kiertoradassa sidekalvon stroomassa. (Sridhar 2018.)

Kyynelfilmin sisin kerros on musiinikerros, joka sijaitsee suoraan sarveiskalvon tai sidekalvon päällä. Musiinikerrosta tuottavat ensisijaisesti sidekalvon pikarisolut sekä sarveiskalvon ja sidekalvon epiteelisolut. Pikarisolut näyttävät olevan tärkeitä immuunivontatoimintojen suorittamisessa. (Sridhar 2018.)

## 2.2 Epiteeli

Sarveiskalvon epiteeli on sileä pinta, joka estää kemikaalien, veden ja mikrobien pääsyn sarveiskalvon alempiin kerroksiin. Sen paksuus on noin 50 µm, ja se koostuu keratinisoitumattomasta, kerrostuneesta levyepiteelistä. Sarveiskalvon epiteelisolujen elinikä on 7–10 päivää ja ne käyvät läpi involuutiota, apoptoosia ja hilseilyä. (Sridhar 2018.) Epiteeli koostuu 5–7 solukerroksesta, joissa on kolmentyyppisiä soluja: pinnalliset solut, siipisolut ja tyvisolut (Pang ym. 2021; Sridhar 2018). Epiteelisolut pysyvät kiinni toisissaan sivukalvoilla olevien desmosomien avulla (Sridhar 2018).

Epiteelin pintasolut estävät kyynelten pääsyn solujen välisiin tiloihin. Ne koostuvat 2–3 monikulmasoluja sisältävästä kerroksesta. Siipisolut ovat nimetty siipimäisen muotonsa

perusteella ja ne koostuvat 2–3 kerroksesta. Tyvisolut ovat joko kuutiomaisia tai pylväsmäisiä. Ne ovat siipi- ja pinnallisten solujen lähde, koska ne ovat ainoat sarveiskalvon epiteelisolut, jotka kykenevät mitooseen (Sridhar 2018.). Se vahvistaa sarveiskalvon ja ulkoisen ympäristön välistä estettä (Pang ym. 2021).

### 2.3 Bowmanin kerros

Bowmanin kerroksen paksuus on 12  $\mu\text{m}$ , joka ohenee iän myötä. Se koostuu tyypin I ja V kollageeneista sekä proteoglykaaneista. Bowmanin kerros ei ole todellinen kalvo, vaan se on soluton kondensaatio, joka sijaitsee epiteelin ja strooman välissä. Bowmanin kerroksella ei ole uudistumiskykyä, jonka vuoksi vaurioituessaan siihen voi jäädä arpi. (Sridhar 2018.)

Jotkut tutkimukset osoittavat, että Bowmanin kerroksella on mekaaninen rooli sarveiskalvon muodon ylläpitämisessä, mikä herätti mielenkiintoa hyödyntämään sitä keratokonuksen hoidossa. Ajatukseksi syntyi, että siirtämällä Bowmanin kerrosta sarveiskalvon keskiosaan, voitaisiin hoitaa keratokonusta tai ainakin pysäyttää sen eteneminen. (Wilson 2023.)

### 2.4 Strooma

Strooma on sarveiskalvon paksuin kerros, jopa 480–500  $\mu\text{m}$  (Navaratnam ym. 2015). Se kattaa noin 90 % sarveiskalvon paksuudesta ja se voidaan jakaa kolmeen osaan: etu-, keski- ja takakerrokseen. Strooma muodostuu kollageenisäikeistä (tyyppi II ja tyyppi V), hermosäikeistä ja keratosyyteistä, jotka tunnetaan myös fibroblasteina. Niillä on tärkeä rooli sarveiskalvon läpinäkyvyyden ylläpitämisessä. (Pang ym. 2021; Tomás-Juan & Larrañaga & Hannekena 2015.)

Strooma on tyypillisesti läpinäkyvä, johtuen strooman kollageenisäikeiden tarkasta järjestäytymisestä. Kollageenisäikeet on järjestetty rinnakkaisiin nippuihin, joita kutsutaan fibrilleiksi. Nämä fibrillit ovat pakattu levyiksi. Ihmissilmän strooma sisältää 200–250 erillistä levyä, joista jokainen on suorassa kulmassa viereisen levyn säikeisiin nähden. Strooman etummaisheet levyt ovat voimakkaasti kiinnitetty toisiinsa ja useimmat niistä asettuvat Bowmanin kerrokseen. (Sridhar 2018.)

Strooman keratosyytit ovat yleensä lepotilassa ja ne ovat toisia sarveiskalvon regeneraatioprosessiin osallistuvia soluja heti sarveiskalvon epiteelisolujen jälkeen (Tomás-Juan ym. 2015). Vaurioituessaan keratosyytit joko läpikäyvät solukuoleman, aktivoituvat regeneroitumaan tai indusoimaan arven muodostumista (Pang ym. 2021).

## 2.5 Duan kerros

Duan kerros, kutsutaan myös nimellä "Pre Descemetin", koska se sijaitsee sarveiskalvossa ennen Descemetin kalvoa. Se on hyvin rajattu, soluton ja vahva kerros, joka koostuu 5–8 kollageenin lamelleista, joiden paksuus vaihtelee 6–15  $\mu\text{m}$  välillä. (Sridhar 2018.) Duan kerroksessa on laaja elastiinisäieverkosto. Se ei sisällä keratosyyttejä, eikä päästä ilmaa lävitse. (Dua & Said 2016.)

Duan kerroksesta ensimmäinen julkaisu aiheutti kiistaa. Monet sarveiskalvokirurgit osoittivat, että Duan kerroksella on ainutlaatuisia ominaisuuksia, kun taas toiset kyseenalaistavat Duan identiteetin erillisenä kerroksena. (Dua & Said 2016.)

## 2.6 Descemetin kalvo

Descemetin kalvo sijaitsee endoteelisolujen litistyneen kerroksen edessä. Se on homogeeninen soluton kerros, joka koostuu tyypin IV kollageenista ja erittyy endoteelisolusta jatkuvasti. Ikääntymisen myötä Descemetin kalvo voi olla jopa 10  $\mu\text{m}$  paksu. Se on joustava ja käpristyy katketessaan. (Sridhar 2018.)

Muutokset Descemetin kalvossa ovat keskeisiä yleisimmän sarveiskalvon endoteelisairauden, "Fuchsin dystrofia", diagnoosissa. Muutoksia havaitaan myös systeemisissä sairauksissa, kuten diabeteksessä, jossa on tunnettuja silmäoireita ja silmänsairauksia, kuten diabeettinen retinopatia, johon liittyy verisuonten endoteelin tyvikalvon paksuuntumista. (Petrela & Patel 2022.)

## 2.7 Endoteeli

Endoteeli on yksisolainen, 5  $\mu\text{m}$  paksuinen kerros, jolla on kuusikulmainen tai monikulmio rakenne ja sijaitsee sarveiskalvon sisäpuolella. Endoteelisolujen päätehtävä on pumpata vesi pois sarveiskalvon stroomasta kohti etukammiota osmoosin kautta, mikä

on tärkeää näön kannalta välttämätöntä sarveiskalvon läpinäkyvyyden säilyttämiseksi. (Pang ym. 2021; Sridhar 2018.)

Endoteelisolut eivät pysty uusiutumaan ja solujen määrä vähenee iän myötä (Tomás-Juan ym. 2015). Endoteelisolutiheyden ikääntymisestä on raportoitu ja solujen keskimääräinen tiheys laskee 3600 (solusta/mm<sup>2</sup>) 5 vuoden iässä 2700 (soluun/mm<sup>2</sup>) 15 vuoden iässä (Navaratnam ym. 2015).

### 3 Taittovirhekirurgian leikkausmenetelmät

Tässä opinnäytetyössä keskitytään käsittelemään lopputuloksia ReLex SMILE-, LASIK, FemtoLASIK- ja PRK-leikkausmenetelmien komplikaatioista. Nämä kolme leikkaustekniikkaa ovat käytössä, yleensä vaihtoehtoina olevia ja erilaisia leikkaustekniikoita. Muita käytössä olevia tai olleita leikkausmenetelmiä ovat: RK, LASEK, ja Epi-LASIK.

#### 3.1 ReLex SMILE

SMILE eli ReLex SMILE (Small Incision Lenticule Extraction) on kolmannen sukupolven leikkaustekniikka, joka tuotiin markkinoille vuonna 2011. Leikkaus toteutetaan VisuMax femtosekuntilaserilla, jonka invasiivisuus on pieni, eikä leikkauksessa tarvitse muodostaa läppää sarveiskalvolle, minkä ansiosta sarveiskalvohermojen vauriot ovat vähäisiä. Leikkauksessa irrotetaan lentikkeli eli haluttu alue sarveiskalvon stroomasta pienen viillon kautta pinsettien avulla. Lentikkelin poisto vaikuttaa sarveiskalvon muotoon, jolloin toivottu lopputulos saavutetaan. (Nicolae & Filip & Filip & Rotaru 2016; Pietilä ym. 2016; Seppänen 2021.)

ReLex SMILE-leikkaus tehdään paikallispuudutuksessa ja kestää yhteensä muutaman minuutin, joista laserointi kestää n. 25 sekuntia (Nicolae ym. 2016). Leikkaus yleensä jaetaan 2 osaan: laserointiin ja lentikkelin manuaaliseen poistoon. Leikkaus voidaan toteuttaa joko suorittamalla laseroinnin ja lentikkelin poiston yksi silmä kerrallaan tai tehdä laserointi kumpaankin silmään, jonka jälkeen lentikkelit vasta poistetaan. Tekemällä yksi silmä kerrallaan on enemmän etuja, kuin tekemällä osissa. (Chansue 2015: 55.)

ReLex SMILE-leikkaus toteutetaan yhdellä laserilla, mikä lisää sen toistettavuutta ja lopputuloksen ennustettavuutta. Se on ainoa laserleikkaustekniikka, jolla voidaan korjata suuria voimakkuuksia myopiasta (-10 D), astigmatiasta (-5 D) ja myooppisesta astigmatiasta (-10 D). (Nicolae ym. 2016.)

ReLex SMILE tuo paljon etuja muihin leikkausmenetelmiin verrattuna, sillä läpättömässä leikkauksessa säästytään siihen liittyviltä komplikaatioilta. Sarveiskalvohermojen vähäisten vaurioiden ansiosta silmien kuivumista leikkauksen jälkeen ei esiinny paljoa. Leikkauksesta parantuminen on nopeaa ja kriittisin vaihe on ohi jo viikossa. (Nicolae ym. 2016.)

### 3.2 LASIK ja FemtoLASIK

LASIK-tekniikassa käytetään mikrokeratomia, millä sarveiskalvon stroomaan leikataan läppä, joka jätetään "saranan" kohdilta kiinni sarveiskalvoon ylä- tai nasaalisesta osasta, riippuen kirurgista. Läppä on halkaisijaltaan 8,5–10 mm. Läpän koko on suurempi hyperooppista silmää leikatessa. (Miller 2006: Luku 29.)

LASIK-tekniikkaa voi käyttää myopian, hyperopian, presbyopian ja astigmatian korjaamiseen. Myopian voi korjata voimakkuuksista -1,00– -14,00 dioptriaa, hyperopian +1,00– +6,00 dioptriaa ja astigmatian 0,75–6,00 dioptriaa. Taittovirheen on pitänyt pysyä vakaana 12–18 kuukauden ajan korkeintaan 0,50 dioptrian muutoksella myooppisessa silmässä ja 0,75 hyperooppisessa. (Miller 2006: Luku 29.)

Leikkaus kestää noin 5 minuuttia. Leikkauksen loputtua läppä kiinnitetään takaisin stroomaan, minkä yhteydessä pidetään huolta, ettei läpän alle jää roskia tai läppään ryppyjä. Silmää pidetään tämän jälkeen auki 2–5 minuuttia tippojen laitton yhteydessä, minkä jälkeen silmää pidetään kiinni 15–40 minuuttia, mikä tehostaa läpän takaisin kiinnittymistä. (Miller 2006: Luku 29.)

Potilaalle voidaan leikkauksen jälkeen laittaa suojaava piilolinssi esimerkiksi, jos läppä kiinnittyy huonosti tai on siirtynyt pois paikoiltaan. Jotkut kirurgit eivät suosittele piilolinssin asettamista silmään, koska se lisää riskiä bakteeriperäiseen keratiittiin. (Miller 2006: Luku 29.)

Näkö voi olla normaali jo heti leikkauksen jälkeen. Viimeistään viikon kuluttua leikkauksesta näön pitäisi olla normaali, jolloin voidaan myös arvioida mahdollista jäännösrefraktiota. Näön heikkenemisen voi selittää esimerkiksi läpän alle jääneet roskat tai läpässä olevat rypyt. (Miller 2006: Luku 29.)

Myöhemmin tullut FemtoLASIK (FSLASIK), käytetty myös nimeä IntraLASIK, on läppäleikkaus, jossa käytetään laserina femtosekuntilaseria, kuten ReLex SMILE-leikkauksessa. Se on tarkempi, turvallisempi ja helpompi kohdistaa, joka takaa lopputuloksen olevan helpommin ennustettavissa. Tämän ansiosta komplikaatioiden esiintyminen on vähäisempää tavalliseen LASIK-tekniikkaan verrattuna. (Miller 2006: Luku 29; Pallikaris & Sahin 2018: 21.)

### 3.3 PRK

PRK- laserleikkaus toteutetaan käyttämällä eksimeerilaseria ja se soveltuu hyperopian, myopian, presbyopian ja astigmatian korjaamiseen. Tämä oftalmisen eksimeeri on yhdistelmä jalokaasua (argon) ja reaktiivista kaasua (fluori), mikä lähettää lasersäteilyä 193 nm aallonpituudella, jonka on tutkittu aiheuttavan vähiten mahdollisia ei-toivottuja haittavaikutuksia. (Miller 2006: Luku 29.)

PRK sopii leikkausmenetelmäksi silloin, kun näöntarkkuus on pysynyt stabiilina 0,5 dioptrian tarkkuudella vähintään vuoden ajan, myopiaa on enemmän, kuin -1,50 dioptriaa, mutta enintään -7,00 dioptriaa sekä, kun astigmatiaa on enemmän, kuin 2,00 dioptriaa. Pupillin koko ei saisi olla yli 6–7 mm. Ohkaisemmalle sarveiskalvolle PRK sopii LASIK-tekniikkaa paremmin. (Miller 2006: Luku 29.)

Laserointi suoritetaan strooman etuosiin. Laserointi hajottaa kollageenin ja glykosaminoglykaanin sidosenergiaa aiheuttaen hiukkasten nopean purkautumisen sarveiskalvon pinnalla. Epiteeli leikataan irti ja siirretään sivuun, mikä tapahtuu mekaanisesti, alkoholilla tai käyttämällä molempia. (Miller 2006: Luku 29.) Epiteeli voidaan myös poistaa käyttämällä eksimeerilaseria (Wilson 2020).

Leikkauksen aikana katse on pidettävä koko ajan kohdistettuna samaan pisteeseen. Leikkaus on keskeytettävä välittömästi, jos potilas liikuttaa silmäänsä. Mahdollinen kipu leikkauksen jälkeen vähenee 24–48 tunnin kuluttua. Sarveiskalvon parantuminen vie

noin 3–4 päivää, joista ensimmäisen 48–72 tunnin aikana parantuminen on tehokainta. Antibioottitippoja on käytettävä niin pitkään, kunnes epiteeli on parantunut kokonaan. Lisäksi epiteeliä suojataan piilolinssillä ensimmäiset 3–5 päivää tai kunnes epiteeli on parantunut. (Miller 2006: Luku 29.)

Näkö voi olla tavallista huonompi päiviä tai joissain tapauksissa jopa viikkoja leikkauksen jälkeen. Silmiä tulisi suojata valolta ainakin 2 tai 3 ensimmäisen päivän aikana. Piilolinssin poistamista parantumisen aikana ei suositella, jottei parantuminen viivästyisi tai aiheuttaisi vauriota epiteeliin. (Miller 2006: Luku 29.)

### 3.4 Muut leikkausmenetelmät

RK-leikkaustekniikkaa ei ole nykyään enää käytettävissä, muuta kuin erikoistapauksissa. RK oli ensimmäinen leikkaustekniikka, jolla leikattiin sarveiskalvoa taittovirheen korjaamiseksi. RK kehittyi vuosien saatossa paljon ja sinä aikana kirurgit huomaisivat, ettei sarveiskalvoa kannattanut viiltää auki kovin syvältä ja oppivat tekemään viiltoja, jotka eivät olleet liian suuria. (Miller 2006: Luku 29.)

RK-tekniikan invasiivisuutta pyrittiin poistamaan ”minimally invasive RK” eli mini-RK-leikkaustekniikalla, jossa tehtiin optisen alueen ulkopuolelle 2 rengasmaista leikkausvyöhykettä, joihin tehtiin 4–8 viiltoa taittovirheen korjaamiseksi. (Miller 2006: Luku 29.)

LASEK-leikkaustekniikassa sarveiskalvon epiteeliin muodostetaan läppä alkoholin avulla. Alkoholilla pehmennetään epiteeliä 20–60 sekunnin ajan, minkä jälkeen läpän irrottaminen onnistuu. Epiteelin alta paljastetaan sarveiskalvossa oleva Bowmanin kerros, johon yhdessä strooman kanssa laserointi suoritetaan. Laserointi tehdään käyttämällä eksimeerilaseria. (Miller 2006: Luku 29.)

LASEK-tekniikalla on pyritty ratkaisemaan LASIK-leikkaustekniikan läpän muodostamat ongelmat ja PRK-tekniikan pitkät paranemisajat. LASEK-tekniikkaa on myös kutsuttu ”Epi-LASIK” nimellä LASIK-leikkaukseen sekaantumisen välttämisen vuoksi. (Miller 2006: Luku 29.)

Epi-LASIK tuotiin markkinoille vuonna 2003. Se voidaan toteuttaa kahdella eri tavalla: Epi-off ja Epi-on. Nämä tekniikat eroavat toisistaan siten, että Epi-off-leikkauksen ai-

kana ei tehdä läppää ja Epi-on-leikkauksen aikana se tehdään. Epi-on-menetelmän sanotaan paranevan nopeammin, mutta kirurgit suosittelvat Epi-off-menetelmän käyttöä. Epi-LASIK-tekniikka toteutetaan käyttämällä tylppää ja värähtelevää terää, jonka avulla voidaan välttyä käyttämästä leikkauksen aikana silmää mahdollisesti ärsyttävää sytotoksista alkoholia. (Steinberg & Linke 2016: 128–129.)

## 4 Taittovirhekirurgian vasta-aiheet

Keratokonus on vasta-aihe taittovirheleikkauksen suorittamiselle, sillä lopputuloksen arvioiminen ei ole mahdollista epäsäännöllisen sarveiskalvon muodon vuoksi. Vasta-aiheita ovat myös toistuva tai krooninen uveitti, sarveiskalvon verisuonisairaus liian lähellä leikkausaluetta, sidekudossairaus, raskaus, imetys ja joissain tapauksissa sarveiskalvon dystrofia. Jotkut dystrofiat voivat hyötyä PRK-leikkauksesta, jolloin siitä käytetään nimitystä fototerapeuttinen keratektomia (PTK). Pitää myös huomioida, että ennen leikkausta kovia piilolinsskejä pitäisi olla käyttämättä 1 kuukauden ajan ja pehmeitä 1 viikon, jotta piilolinssien mahdollinen vaikutus sarveiskalvoon olisi poistunut. (Miller 2006: Luku 29.)

LASIK-leikkauksen rajoitteita ovat jo mainittujen lisäksi ohut sarveiskalvo, lagophtalmus, pienet pupillit, syvällä kallossa olevat silmämunat, isotretionian tai amiodaronian käyttö sekä herpes. Herpes ei automaattisesti ole vasta-aihe taittovirheleikkaukselle, mutta leikkauksen jälkeen on mahdollista, että herpesksen aiheuttama keratiitti (herpes simplex keratitis) reaktivoituu, jolla on yhteyttä huonompaan visuaaliseen lopputulokseen. Taittovirhekirurgia voi kuitenkin olla mahdollista, jos aikaisemmin sairastettu HSK ei ole ollut aktiivisena alle vuoteen, merkkejä infektiosta ei ole ja ennaltaehkäisevä hoito on käytössä. (Miller 2006: Luku 29; Moshirfar ym. 2020.) Autoimmunisairaudet eivät tutkitusti ole vasta-aiheita LASIK-leikkaukselle, jos hoitotasapaino on hallinnassa (Llovet & Ortega-Usobiaga & Llovet 2016: 40–41). LASIK-tekniikka on paras vaihtoehto hyperooppiselle silmälle sekä silloin, jos silmissä esiintyy selkeitä topografisia epäsäännöllisyyksiä (Shah 2019).

SMILE-leikkausta voisi olla hyvä suositella henkilöille, jotka harrastavat kontaktiurheilua, kuten nyrkkeilyä tai jalkapalloa. Myös pitkään piilolinsskejä käyttäneelle henkilölle SMILE-leikkaus voisi olla paras vaihtoehto silmien mahdollisen kuivumisen minimoimiseksi. Lisäksi SMILE-leikkaus on paras valinta korkean myopian hoitoon, koska lopputulos on osoittanut olevan vakaampi muihin verrattuna. SMILE-leikkauksen sijaan

on parempi suositella LASIK- tai PRK-menetelmää silloin, kun sarveiskalvolla on havaittavissa sameutta. (Shah 2019.)

PRK-leikkauksen vasta-aiheita ovat kollageeniverisuonisairaudet, kuten systeeminen lupus erythematosus (nivelreuma), Sjögrenin oireyhtymä (keratoconjunctivitis sicca) ja autoimmuunisairaudet, sillä ne lisäävät PRK:n lopputuloksen vaihtelevuutta. Myös diabetes, immuunipuutteisuus ja systeemisten steroidien tai kemoterapeuttisten aineiden käyttö voivat olla vasta-aiheita PRK-leikkaukselle. (Miller 2006: Luku 29.)

## 5 Leikkauskomplikaatiot

### 5.1 Intraoperatiiviset komplikaatiot

Leikkauksen aikana tapahtuva mahdollinen imuhäviö (suction loss) voi johtua asiakkaan äkillisestä liikkeestä, väärästä silmän tai pään asennosta, väärästä imurenkaasta, liian alhaisesta imupaineesta, nesteiden pääsemisestä sarveiskalvon ja silmässä leikkauksen aikana kiinni olevan linssin imuaukkojen väliin tai kaasukuplista linssiä vasten, jotka aiheuttavat painetta kapeaan silmäaukkoon. Riskitekijöitä ovat mm. litteä sarveiskalvo. (Sahay & Bafna & Reddy & Vajpayee & Shara 2021; Shah 2015: 98–99.)

Imuhäviö johtaa SMILE-leikkauksen keskeyttämiseen, jos se tapahtuu ensimmäistä laserointia suorittaessa. Tällöin potilasta kehoitetaan vaihtamaan leikkaus FemtoLASIK-tekniikkaan tai halutessaan tekemään SMILE-leikkaus uudestaan, mutta vasta tietyn ajan kuluttua. Tällöin vaihdetaan leikkauksen suorittamisen syvyyttä, jottei aikaisemmin leikkaukseen käytetyn leikkaushaavan sisään päästäisi uudelleen. (Shah 2015: 98–99.)

Muissa vaiheissa imuhäviön esiintyessä leikkausta voidaan jatkaa. Tällöin ongelmana voi olla laitteiston asetteleminen takaisin paikoilleen, koska on erityisen tärkeää saada silmän pinnalle asetettava linssi takaisin samalle sijainnille. (Shah 2015: 98–99.)

SMILE-leikkauksen aikana irrotettava lentikkeli voi repeytyä poiston yhteydessä. Jos sitä ei tällöin saada poistettua kokonaan, se voi aiheuttaa epäsäännöllistä astigmatiaa, jolloin leikkaus on tehtävä uudestaan. (Shah 2015: 100.) LASIK-leikkauksessa imuhäviö voi aiheuttaa epätäydellisen läpän muodostumisen. Leikkaus keskeytetään imuhäviön ilmaannuttua tai jatketaan uudelleen telakoimisen jälkeen. Uuden leikkauksen suorittamista suositellaan 3 kuukauden päähän. (Sahay ym. 2021.)

## 5.2 Näöntarkkuuteen vaikuttavat komplikaatiot

### 5.2.1 Refraktio

Ylikorjaus on normaalia, jopa suositeltavaa PRK-leikkauksen jälkeen ensimmäisten kuukausien aikana, kun sarveiskalvon kaarevuus ei ole vielä vakiintunut. Tämän jälkeen ylikorjauksen pitäisi kuitenkin poistua. LASIK-tekniikassa aiheutuneita likinäön ylikorjauksia voidaan korjata hyperooppisella leikkauksella, mutta olisi hyvä odottaa ainakin 6–12 kuukautta ennen sen suorittamista. (Miller 2006: Luku 29.)

Alikorjaus on LASIK- tekniikassa mahdollisesti yleisin komplikaatio, prosentuaalisesti 0,6–15 % tapauksista. Kohtalainen ja korkea myopia aiheuttavat alikorjauksen todennäköisemmin, kuin matala. Suurissa myopian voimakkuuksissa alikorjaus voi olla välttämätöntä, jos sarveiskalvo on liian ohut korjauksen vaatimaan toimenpiteeseen nähden. Ali- tai ylikorjaus voi myös johtua virheestä leikkauksen aikana tai sitä ennen tehdyissä tutkimuksissa. (Miller 2006: Luku 29.)

Regressiolla tarkoitetaan leikkauksen jälkeen tapahtuvaa taittovirheen palautumista, mikä yleensä on 0–1,5 D verran. Se on harvinaista, mutta leikkauksella korjattu korkea myopia tai hyperopia voivat johtaa tähän. Mahdollinen regressio yleensä ilmenee ensimmäisten kuukausien aikana leikkauksesta ja stabiloituu 3–6 kuukauden kuluttua. Regressio voi myös johtua sarveiskalvon jyrkkenemisestä tai epiteelin hyperplasiasta. Hyperplasia voi hävitä 3–4 viikon kuluessa. Hoitona stabilisoitumisen jälkeen suoritetaan uusi leikkaus. (Miller 2006: Luku 29.)

Taittovirhekirurgian jälkeen esiintyvälle karsastukselle altistavat jo ennen leikkausta oleva diplopia ja ylikorjattu likinäköinen henkilö, jolla on esoforia ja aniseikonia. Myös monovision-leikkaus voi aiheuttaa diplopiata, jos henkilöllä on ongelmia binokulariteetin kanssa. (Llovet ym. 2016: 45–46.)

### 5.2.2 Näkökenttä

Häikäistymistä ja haloja esiintyy sekä öisin että päivisin. Ne aiheutuvat sarveiskalvon muodon muuttumisesta ja näkyvät epäselvinä ympyröinä, jotka johtuvat valon siirtymisestä sarveiskalvon leikattujen ja leikkaamattomien alueiden välillä. Ne voivat kadota ajan saatossa. Niiden esiintymistä lisääviä tekijöitä ovat muun muassa korkea myopia,

epäsäännöllinen astigmatia, samentumat sarveiskalvossa ja suuret pupillit. Halojen ja häikäistymisen esiintymisen ehkäisemiseksi leikkaus pyritään suorittamaan mahdollisimman laajalle alueelle sarveiskalvoa. Yli 5 millimetrin kokoisilla leikkausalueilla ja pienillä pupilleilla ne ovat harvoin vakavia. (Miller 2006: Luku 29.)

Aberraatiot voivat aiheuttaa haloja ja häikäisyä, mutta myös heikentynyttä visuaalista toimintakykyä, erityisesti vähäkontrastisessa valaistuksessa. Astigmatismi, monokulaarinen diplopia, trefoil ja koma ovat erilaisia kuvausvirheitä, joihin aberraatiot voivat esiintyä. Aberraatioita esiintyy todennäköisemmin hyperooppisen, kuin mitä myooppisen LASIK-leikkauksen jälkeen. ReLex SMILE-leikkauksen aikana väärin aseteltu laitteisto voi aiheuttaa aberraatioita. Tällöin korjausta suositellaan toteuttavaksi PRK-tekniikalla. (López-Gil ym. 2007; Miller 2006: Luku 29; Shah 2015: 101–102.)

### 5.3 Komplikaatiot sarveiskalvossa

Sarveiskalvossa oleviin komplikaatioihin kuuluvat sarveiskalvon keskisaarrekkeet, jotka ovat pieniä jyrkkiä kohoumia laserleikkauksen jäljiltä. Ne saavat aikaan alikorjauksen silmässä. Ne voivat myös aiheuttaa monokulaarista diplopiää sekä heikentää näöntarkkuutta. Ne häviävät yleensä kuukausien kuluttua leikkauksesta. (Miller 2006: Luku 29.)

Sarveiskalvossa sijaitsevan leikkaushaavan kuuluisi olla parantunut 3 vuorokauden kulluttua PRK-leikkauksesta. Joissain tapauksissa parantuminen ei tapahdu kunnolla ja epiteeli ei kiinnity kokonaan takaisin stroomaan, jolloin sarveiskalvoon voi jäädä toistuva eroosio tai jatkuva puute epiteelin paranemisprosessissa. (Miller 2006: Luku 29.)

Paranemisprosessin pysähtymisen tai puutteellisuuden voi olla aiheuttanut piilolinssin poistaminen silmästä tai liian tiukasti sarveiskalvossa kiinni ollut linssi. Myös paikallisten lääkkeiden liikkakäyttö voi olla syy siihen. Myös diagnosoimattomat systeemiset sairaudet, kuten diabetes, voi hidastaa paranemista. Eroosio on harvinainen komplikaatio PRK-leikkauksen jälkeen. (Miller 2006: Luku 29.)

Sarveiskalvolle tehtyyn leikkaushaavaan voi muodostua arpikudosta. Sarveiskalvon arpeutuessa olisi hyvä odottaa vuoden ajan ennen uutta leikkausta. Jos sarveiskalvon biomekaaniset ominaisuudet muuttuvat arven vuoksi, voi siitä seurata yli- tai alikor-

jausta. Sarveiskalvon pinnasta voi muodostua epäsäännöllinen arven vuoksi. Arpi kannattaa poistaa PTK-leikkauksella, jota tällöin suositellaan käytettäväksi LASIK-leikkauksen sijaan. (Steinberg & Linke 2016: 132–133.)

Termillä “haze” pyritään kuvaamaan sarveiskalvon läpinäkyvydessä tapahtuneita muutoksia (Steinberg & Linke 2016: 138). Haze tapahtuu sarveiskalvon etummaisissa stroomalamelleissa. Se erotellaan sarveiskalvon arpeutumisesta biomikroskooppisesti, sillä rakenteeltaan ne ovat erilaiset. Arpikudos on tiheää ja vakiintuu ajan kuluessa, kun taas samentuminen on verkkomaista ja voi näkyä erilaisina muotoina, kuten kaarevana, pyöreänä tai hajanaisena kudoksena. (Miller 2006: Luku 29.)

Ilmeneminen voi tapahtua jo 2 viikon kuluttua leikkauksesta, mutta todennäköisimmin se vie 1–6 kuukautta. Usein se häviää vuoden kuluttua. Melkein kaikilla PRK-potilailla on sameutta 12 kuukauden jälkeen leikkauksesta, kun taas LASIK-leikkauksen jälkeen sitä esiintyy vain harvalla. Yleensä sillä ei ole vaikutusta näkemiseen. Alle 2 % silmistä kokee sameuden aiheuttamia ongelmia näkemisessä vuoden kuluttua leikkauksesta. (Miller 2006: Luku 29.) Oireina voivat olla alentunut näöntarkkuus, hämäranäön heikentyminen ja vähentynyt kontrastiherkkyys (Steinberg & Linke 2016: 138).

PRK-leikkauksen jälkeen sitä tavataan useimmiten potilailla, joilla on ollut korkeamman asteen korjaus ja joiden haavan paranemisprosessi on aggressiivisempää. Muita todennäköisyyttä lisääviä seikkoja ovat silmän kuivuminen leikkauksen aikana, aikaisempi leikkaus (RK) ja pieni leikattava alue. (Miller 2006: Luku 29.)

Ektasia eli sarveiskalvon pullistuma on leikkauksen aiheuttama kartiorappeuma, jossa sarveiskalvo pullistuu keskeltä eteenpäin strooman biomekaanisen vaurion vuoksi aiheuttaen sen sivuille myopiaa ja astigmatiaa. Ektasialle merkittävästi alistava tekijä on jo valmiiksi oleva sarveiskalvon rakenteellinen poikkeama, jota pyritään tutkimaan topografia- ja tomografialla ennen leikkausta. Itseaiheutettu ektasia voi liittyä silmän voimakkaaseen hieromiseen leikkauksen jälkeen, jota pyritään ehkäisemään. Ektasia esiintyy todennäköisimmin LASIK-leikkauksen jälkeen. Ektasiaa hoidetaan kirurgisesti ja viimeisenä hoitokeinona toteutetaan sarveiskalvosiiro. (Ambrósio Jr & Ramos & Correia 2016: 157–168; Miller 2006: Luku 29.)

LASIK-leikkauksessa tehtävän läpän alla olevat epiteelisolut voivat alkaa kasvamaan strooman rajapinnassa. Tätä kutsutaan epiteelisolujen sisään kasvamiseksi. Epiteelisolut parhaimmassa tapauksessa ovat vaarattomia, mutta jos ne alkavat lisääntymään ja kerrostuvat, ne voivat alkaa sulattamaan stroomaa, joka aiheuttaa silmän ärsyyntymistä ja lopulta kipua. Merkittävä sisäänkasvu aiheuttaa tyypillisesti näöntarkkuuden heikkenemistä epiteelisolujen hajottaessa valoa sekä muodostaessaan epäsäännöllisyyttä sarveiskalvolle, josta seuraa epäsäännöllistä astigmatiaa. Lämpän alkaessa sulaa silmästä voi tulla hyperooppinen. (Miller 2006: Luku 29.)

Epiteelisolujen kasvua seuraillaan 1–2 viikon ja 1–2 kuukauden kohdalla. Sisäänkasvun ollessa merkittävää, läppä nostetaan ja puhdistetaan. Hoito on tehtävä välittömästi, jotta vältetään suurempaa sisäänkasvua ja komplikaatioita. (Miller 2006: Luku 29.) Re-Lex SMILE-leikkauksen jälkeen puhdistus tehdään raaputtamalla leikkaushaavan kautta solut pois (Shah 2015: 101).

#### 5.4 Lämpäkomplikaatiot

LASIK-leikkauksessa tehtävässä läpässä esiintyy erilaisia komplikaatioita. Näitä ovat mahdolliset roskat läpän alla, läpän irtoaminen, läpän poimuttuminen ja epäsäännöllinen läppä. (Miller 2006: Luku 29.)

Lämpän rajapinnassa mahdollisesti oleviin jätteisiin sisältyy metalli, talkki, mikrokeratomiöljy, ilmakuplat, nukkakuidut, lipidit ja liima. Roskat eivät yleensä aiheuta ongelmia, mutta tulehdukset ja leikkauksen jälkeinen hajataitto ovat yhdistetty oireisiin. Tarpeen mukaan roskat on mahdollista poistaa läppää nostamalla ja huuhtomalla. (Miller 2006: Luku 29.)

Lämpän irtoaminen vaatii välitöntä toimenpidettä epiteelin sisäänkasvun ja pysyvien läppäpoimujen ehkäisyksi. Läppä voi irrota välittömästi LASIK-leikkauksen jälkeen tai useita viikkoja myöhemmin. Läppä voi irrota esimerkiksi silmän hieromisen takia, jota pyritään ehkäisemään silmien suojaamisella ensimmäisten 3 vuorokauden aikana leikkauksen jälkeen. Kuivasilmäisyys voi alistaa läpän siirtymiselle pois paikoiltaan. Oireita läpän siirtymiselle ovat silmien ärsyyntyminen tai kipu ja näöntarkkuuden heikkeneminen. Oireiden ilmetessä on tehtävä tarkistus läpän irtoamisen ja keratiitin mahdollisuuden poissulkemiseksi. (Miller 2006: Luku 29.)

Läpässä esiintyvät poimut liittyvät läpän irtoamiseen. Läpässä olevat vääristymät aiheuttavat epäsäännöllistä astigmatiaa sekä pahimmillaan parhaimman mahdollisen näöntarkkuuden menetyksen. Varhaiset läppäpoimut voivat hävitä itseksensä. Vain näköä häiritsevät poimut korjataan kirurgisesti. (Miller 2006: Luku 29.)

Epäsäännöllinen läppä on poikkeama muodossa tai asennossa, joka ei noudata seuraavia ehtoja: 1. Kooltaan riittävä kattaakseen ablaatio alueen ja turvamarginaalit. 2. Ei liian suuri, jottei sisällä limbaalisia kantasoluja ja suonia. 3. Riittävän paksu, jotta nostaminen olisi mahdollista ilman, että se repeää tai taittuu. 4. Ei liian paksu, jotta stroomakudos säästyisi ja olisi tarpeeksi kestävä. 5. Vakiopaksuus ja katkeilematon epiteelikerros, Bowmanin kalvo ja strooman läppä. 6. Läpän liikkeen välttämiseksi vakaa stroomakudossilta. (Katz 2016a: 51–52.)

Epäsäännöllinen läppä johtuu virheellisestä valinnasta koskien leikkausparametreja, jonka vuoksi imu- ja leikkausmekanismit eivät ole kohdillaan. Ongelmat voivat johtua esimerkiksi imuhäviöstä, potilaan ei-toivotusta liikkeestä tai tylsästä/vioittuneesta leikkausterästä. Erilaisia epäsäännöllisiä läppiä ovat: pieni läppä, sarveiskalvon reunalla oleva läppä, epätäydellinen läppä, liian suuri läppä, repeytynyt läppä, reikiintynyt läppä ja OBL (opaque bubble layer). (Katz 2016a: 52–55.)

Jos läppäkomplikaatio huomataan leikkauksen aikana ennen läpän avaamista, leikkaus on keskeytettävä ja annettava parantua paikallishoidon aikana. Jos läppä on jo avattu, se pitää asetella varovasti paikoilleen ja suojata terapeuttisella piilolinssillä. Leikkaus voidaan suorittaa loppuun toisella kertaa. (Katz 2016a: 57–58.)

## 5.5 Tulehdukset

Infiltraatit voivat olla tarttuvia ja tulehduksellisia, jolloin ne ovat immunologisia tai ei-tarttuvia ja voivat aiheuttaa mm. keratiitin silmässä. Useimmat infiltraatit esiintyvät sarveiskalvon keskeisissä kerroksissa tai sitä alempana. Infiltraatit voivat olla piilolinssien (pinnallisesti) tai kipulääkkeiden aiheuttamia. Silmäleikkauksen yhteydessä tarttuva keratiitti on aina vakava. Pahimmillaan sillä voi olla suuria vaikutuksia näkökykyyn tai johtaa endoftalmiittiin. PRK:n jälkeinen ilmaantuvuus on noin 0,1 % ja LASIK- leikkauksen jälkeen 0–1,2 %. Todennäköisin ilmaantuminen on ensimmäisten päivien jälkeen leikkauksesta. (Ivarsen & Hjortdal 2016: 121; Miller 2006: Luku 29.)

Yleisimmin sen aiheuttaa grampositiiviset bakteerit, kuten Staphylococcus- tai Streptococcus- sukuiset kokit. Myöhemmin, ensimmäisten päivien jälkeen ilmaantuneen keratiitin aiheuttaa tyypillisesti mykobakteeri (*Mycobacterium chelonae*). Keratiitti voi esiintyä myös sieni-infektiona. Piilolinssit eivät ole altistavia tekijöitä. Keratiitin ilmetessä oireina voi olla kipua, näöntarkkuuden heikkenemistä tai sumenemistä sekä valonarkuutta. LASIK- leikkauksen jälkeen ilmaantuva keratiitti hoidetaan lääketipoilla ja läpän puhdistuksella. Vakavana seuraamuksena keratiitti voi aiheuttaa näön menetyksen, mikä on todennäköisempää, jos keratiitti ei ilmaannu ensimmäisinä päivinä leikkauksen jälkeen vaan vasta sitä myöhemmin. (Miller 2006: Luku 29.)

Diffuusi lamellaarinen keratiitti esiintyy yleensä kolmantena tai neljäntenä päivänä leikkauksen jälkeen. LASIK- leikkauksen jälkeen tulehdus muodostuu läpän rajapinnalle ja esiintyy valkoisena hajanaisena ja rakeisena opasiteettina. Se ei etene läppään eikä sarveiskalvon alempiin kerroksiin. Opasiteetit voivat esiintyä yksittäin tai ryhmissä. Vakavin mahdollinen seuraamus on strooman sulaminen. (Miller 2006: Luku 29.)

DLK aiheutuu todennäköisesti useamman tekijän seuraamuksena. Leikkaushaavan viivästynyt paraneminen voi esimerkiksi aiheuttaa tulehduksen. Tulehdus voi olla aluksi oireeton, mutta edettyään aiheuttaa ärsytystä tai kipua, valonarkuutta, silmien punoitusta ja runsasta kyynelvuotoa. Hoito suoritetaan lääketipoilla ja vakavimmissa tapauksissa läppä avataan uudestaan ja huuhdellaan. Keratiitti aiheuttaa näöntarkkuuden heikkenemistä. (Miller 2006: Luku 29.)

## 5.6 Kuivasilmäisyys

Kuivasilmäisyys voi olla vasta-aihe LASIK-leikkausta harkitsevalle, etenkin, jos jo piilolinssien käytön kanssa on ollut jonkinlaisia ongelmia. Suurin ongelma, joka aiheuttaa pettymystä LASIK-leikkauksen jälkeen, onkin kuivasilmäisyys. Kuivasilmäisyys aiheutuu osittain silmänräpäytyksien ja kyynelten muodostumisen neurogeenisen palautesilmukan häiriöstä. Leikkauksen aikana useat kolmoishermosta sarveiskalvolle tulevat hermosolut katkeilevat, minkä oletetaan heikentävän sarveiskalvon herkkyyttä niin paljon, että silmien räpyttelyn tiheys ja kyynelntuotanto vähenevät. (Miller 2006: Luku 29.)

Kuivasilmäisyyteen liittyviä muita komplikaatioita ovat diffuusi lamellaarinen keratiitti, jatkuvat epiteelivauriot ja läpässä olevat poikkeavuudet. Leikkauksen jälkeen voi myös

esiintyä kuivasilmäisyyden yhteydessä neurotrofinen keratiitti (LASIK-induced neurotrophic epitheliopathy, LNE), joka yleensä paranee 6 kuukauden sisällä. (Miller 2006: Luku 29.)

## 6 Opinnäytetyön toteutus

### 6.1 Tutkimusmenetelmä

Opinnäytetyö päätettiin toteuttaa kuvailevana kirjallisuuskatsauksena, koska se tukee parhaiten haluttua lopputulosta eli laajaa yleiskuvaa aiheesta. Kuvailevan kirjallisuuskatsauksen tarkoituksena onkin tuoda laaja kuva käsitellystä aiheesta. Kuvailevan kirjallisuuskatsauksen toteutus on vahvasti luonteeltaan aineistolähtöistä sekä ilmiön käsittelemistä tavalla, jolla se on ymmärrettävissä. Kuvaileva kirjallisuuskatsaus tunnetaan myös nimellä traditionaalinen kirjallisuuskatsaus ja se on paljon käytetty tutkimusmenetelmä hoito- ja terveystieteellisissä tutkimuksissa. (Kangasniemi ym. 2013; Salminen 2011.)

Kuvaileva kirjallisuuskatsaus jaetaan kahteen erilaiseen tyyppiin, narratiiviseen ja integroivaan kirjallisuuskatsaukseen. Opinnäytetyö toteutettiin narratiivisena kirjallisuuskatsauksena, koska sen avulla aihetta saatiin kuvattua laajasti. Narratiivisella yleiskatsauksella pyritään yhdistämään jo olemassa olevaa tietoa ytimekkääksi ja johdonmukaiseksi tekstiksi. (Salminen 2011.) Opinnäytetyössä pyrittiin etsimään tutkimuksia, joissa käsitellään taittovirhekirurgian onnistumista lieville, kohtalaisille ja korkeille taittovirheen määrille sekä näissä mahdollisesti ilmenneitä komplikaatioita. Tutkimuksia tarkastelemalla ja yhdistelemällä pyrittiin luomaan käsitystä siitä, miten taittovirheen määrällä on ollut vaikutusta komplikaatioiden esiintymiseen.

Kuvaileva kirjallisuuskatsaus jaetaan 4 eri vaiheeseen: tutkimuskysymyksen valitsemiseen, aineiston valitsemiseen, kuvailun rakentamiseen ja tuotetun tuloksen rakentamiseen. Tutkimuskysymys ohjaa koko tutkimusprosessia ja on keskeinen asia koko kirjallisuuskatsausta. (Kangasniemi ym. 2013.)

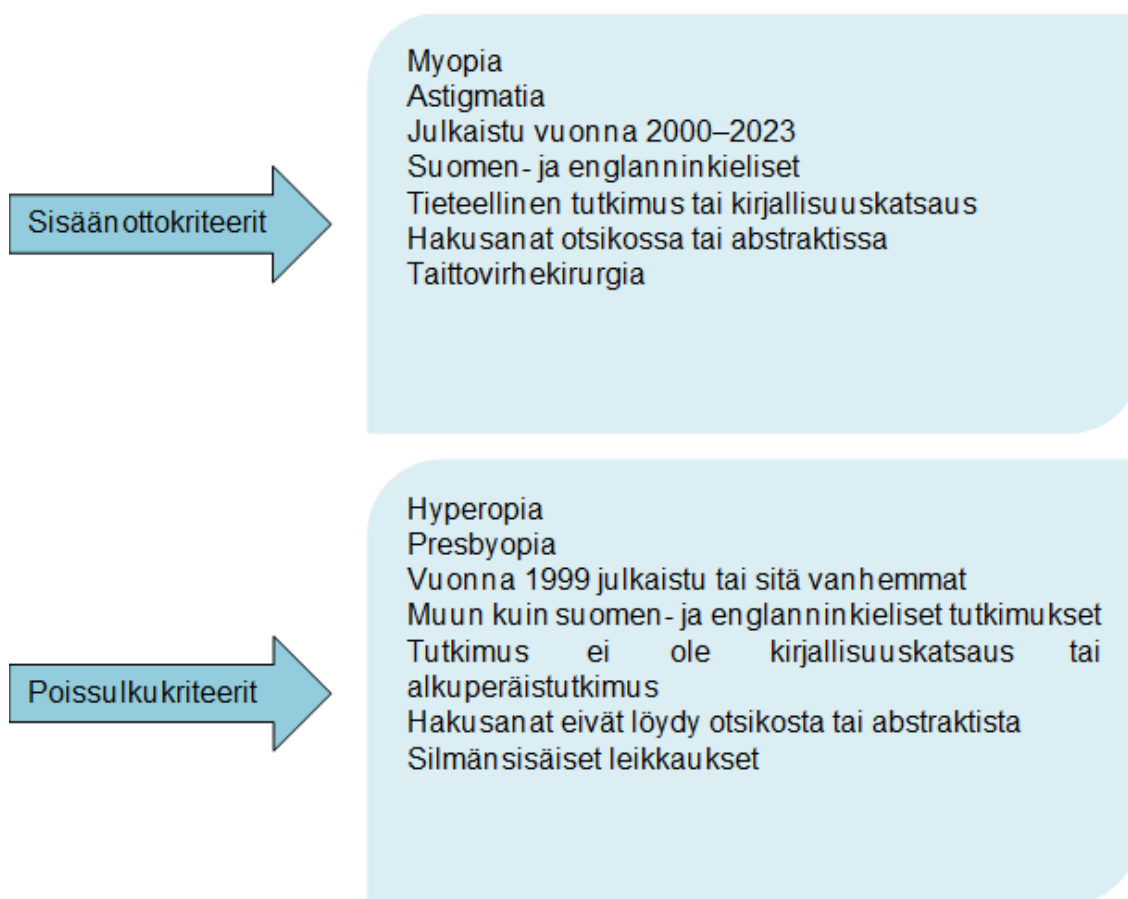
### 6.2 Aineiston kerääminen ja analysointi

Opinnäytetyön tutkimuskysymykset ovat "Onko myopian ja astigmatian voimakkuudella vaikutusta taittovirhekirurgiassa esiintyvien komplikaatioiden yleisyyteen?" ja "Onko

komplikaatioiden esiintyvyydellä eroa PRK-, LASIK- ja SMILE- leikkauksien jälkeen?”. Aineiston etsimiseen on käytetty avainsanoja ja sitä on rajattu valituilla kriteereillä, joilla aineisto on pyritty rajaamaan selkeäksi ja riittävän kattavaksi. Aineiston valinnassa on tärkeää etsiä tutkimuskysymykseen vastaavia tutkimuksia. Painoarvo aineistossa on aina edellisen tutkimuksen sisällöllisellä valinnalla, jolla pyritään saamaan tutkimuskysymyksen ja valitun aineiston jatkuvaa tarkentumista. (Kangasniemi ym. 2013.)

Opinnäytetyön tarkoituksena oli vastata kysymyksiin “Onko myopian ja astigmatian määrällä vaikutusta taittovirhekirurgiassa esiintyvien komplikaatioiden esiintymiseen?” ja “Onko komplikaatioiden esiintyvyydellä eroa PRK-, LASIK- ja SMILE- leikkauksien jälkeen?”. Työllä pyritään tuomaan lisää tietoisuutta taittovirheen määrän vaikutuksesta komplikaatioiden esiintymiseen eri leikkausmenetelmien välillä. Tiedolla pyritään laajentamaan optometrian ammattilaisten tietoisuutta taittovirhekirurgiasta ja helpottamaan asiakkaan ohjausta leikkausmenetelmän valitsemisessa. Määrän vaikutuksesta komplikaatioiden esiintymiseen keskittyvää opinnäytetyötä ei ole vielä tehty.

Tutkimuksia etsittiin ScienceDirect-, PubMed-, Duodecim-, ProQuest- ja Journal of Student Research- tietokannoista. Aineistoa etsiessä on käytetty seuraavia hakusanoja: Photorefractive keratotomy, PRK, Small incisions lenticule extraction, SMILE, Laser-assisted in situ keratomileusis, LASIK, complications, high myopia ja high astigmatism. Löydettyä aineistoa on rajattu 2000- luvulla julkaistuihin, jotta materiaali pysyisi suhteellisen tuoreena sekä pelkästään suomen- ja englanninkieliset tutkimukset hyväksyttäisiin.



Kuva 1. Aineiston sisäänotto- ja poissulkukriteerit

Kirjallisuuskatsaus rajautui 13 tutkimukseen. Tutkimukset valittiin käsittelemään myopiaa ja astigmatiaa joko erikseen tai yhdessä sekä eri tutkimusmenetelmiä joko vertailun tai omina tutkimuksinaan.

8 tutkimuksessa käsitellään SMILE-leikkausta, joista 1 tutkitaan myopian korjaamisen onnistumista, 1 astigmatian ja 1 kummankin samaan aikaan. 3 tutkimuksen tuloksia vertaillaan FemtoLASIK tai LASIK leikkauksen, 1 PRK leikkauksen ja 1 sekä PRK- että LASIK-leikkauksen lopputuloksiin.

Tutkimuksista 8 käsitellään LASIK- tai FemtoLASIK-leikkausta. 1 käsitellään myopian korjaamista LASIK-menetelmällä, 1 astigmatian korjausta FS-LASIK-menetelmällä ja 3 sitä vertaillaan SMILE-leikkauksen, 2 PRK-leikkauksen ja 1 sekä LASIK- että PRK-leikkauksen lopputuloksiin.

5 tutkimuksista käsitellään PRK-leikkausta, joista 1 sitä käsitellään myopian korjaamisessa, 2 sitä vertaillaan LASIK-leikkauksen, 1 SMILE leikkauksen ja 1 sekä LASIK- että SMILE-leikkauksen lopputuloksiin.

## 7 Tulokset

### 7.1 Tutkimukset

Jin ja muiden tutkimus sisälsi 165 silmää (86 potilasta), joille tehtiin SMILE. Potilaat jaettiin kahteen eri ryhmään: 62 silmää, joissa oli korkea myopia (yli -6,0 D, ryhmä-H) ja 103 silmää, joissa oli matala myopia (alle -6,0 D, ryhmä-M). Seurantavälit olivat 1 päivä, 10 päivää, 1 kuukausi ja 3 kuukautta leikkauksen jälkeen. Merkittäviä eroja ei havaittu näiden kahden ryhmän välillä iässä, silmänpaineessa tai sarveiskalvon taitto-voimassa. Kohdefraktio oli emmetropia kaikissa silmissä. Tutkimuksen tarkoitus oli tutkia taittokyvyn ennustettavuutta, tehokkuutta ja turvallisuutta SMILE-leikkauksen jälkeen korkeassa ja matalassa myopiassa. (Jin & Wan & Wu & Yao 2017.)

Tutkimuksessa Pedersen ja muut tarkastellaan vuosina 2013–2014 12 kuukauden ajan muutoksia taittovirheessä, näöntarkkuudessa, sarveiskalvon tiheysmittauksessa ja aberraatioissa SMILE-leikkauksen jälkeen. Silmiä oli 101 ja niissä oli myoopista astigmatiaa. Astigmatian voimakkuus ennen leikkausta asettui -0,75 D ja -4 D välille. (Pedersen & Ivarsen & Hjortdal 2017.)

Hansen ja muiden tutkimuksessa tarkastellaan lopputuloksia SMILE-leikkauksella myopiaan ja myoopiseen astigmatiaan. SMILE tehtiin 722 silmälle aikavälillä 2011–2014. Tutkimuksessa potilailla oli myopiaa enintään 10 D ja astigmatiaa 3 D. Lisäksi tutkimuksessa oli mukana 7 uusintaleikkaukseen menevää silmää (n= 729), jotka arvioitiin erikseen. (Hansen & Lyhne & Grauslund & Vestergaard 2016.)

Sindhujadevi ja muiden tutkimuksessa käsiteltiin 40 potilasta (78 silmää), joille tehtiin LASIK-leikkaus vuonna 2010, tammikuun ja joulukuun välisenä aikana. 40 silmällä oli matala myopia, alle 6 D, 28 silmällä myopian määrä oli 6.25–12.00 D ja 10 silmällä oli todella korkea myopia, suurempi kuin 12.00 D. Potilaat olivat iältään 18–35-vuotiaita. 38 potilaan kumpikin silmä leikattiin ja kahdelle potilaalle leikkaus tehtiin vain oikeaan silmään. Seurantavälit olivat 1 päivä, 1 viikko, 1 kuukausi, 3 kuukautta ja 6 kuukautta

leikkauksen jälkeen. (Sindhujadevi & Jeyaprakash & Ezhilvendhan & Bhava & Kanna 2022: 5706–5709.)

Cañones-Zafra ja muut tutkimuksessaan vertailevat FS-LASIK-menetelmän tehokkuutta ja turvallisuutta potilaille, joilla on matala (alle 1,50 D) tai korkea (yli 1,50 D) myooppinen astigmatia. Tutkimuksessa tarkastellaan 825 potilaan 841 silmää, joihin tehdään FS-LASIK-leikkaus. Lopullinen tutkimus toteutui 3 kuukauden kuluttua ensimmäisestä tai uusintaleikkauksesta. (Cañones-Zafra & Katsanos & Garcia-Gonzalez & Gros-Otero & Teus 2021: 75.)

Tananuvat ja muiden tutkimuksessa käsiteltiin 46 potilasta 12 kuukauden ajan vuosina 2015–2018. PRK-leikkaus tehtiin 69 silmälle, joista 29 silmässä oli korkea myopia ( $\geq -6.0$  D) ja 40 silmässä matala myopia ( $< -6.0$  D). 33 (71 %) potilaista olivat naisia ja he olivat iältään 18–54-vuotiaita. Sisällön kriteereistä oli taittostabiilisuus vähintään vuoden ajan ennen leikkausta ja tavoitteena oli taitevirheiden täydellinen korjaaminen. Tutkimuksesta suljettiin pois potilaat, joilla oli jokin silmäsairaus, aiempi silmäleikkauksia, raskaus tai silmätulehduksia 3 kuukauden aikana ennen leikkausta. (Tananuvat ym. 2021.)

Ganesh ja Gupta tutkimuksessaan halusivat tietää SMILE- ja FSLASIK- leikkausten vaikutuksesta näkökykyyn ja refraktioon tarkastelemalla kontrastiherkkyttä, näöntarkkuutta, aberraatioita ja kuivasilmäisyyttä. Potilaita seurattiin 3 kuukauden ajan vuosina 2012–2013. 48 silmälle tehtiin SMILE- ja 46 FSLASIK-leikkaus. Sfäärinen ekvivalentti rajattiin alle  $-10$  D. (Ganesh & Gupta 2014.)

Tutkimuksessa Liu ja muut vertaillaan optista vyöhykettä silmissä, joissa on korkea myopia ja korkea astigmatia, SMILE- ja FS-LASIK-leikkausten jälkeen. Leikkauksen kohdistuessa laajemmalle optiselle vyöhykkeelle, voidaan välttää postoperatiivisia oireita, kuten haloja ja häikäistymistä. Tutkimuksessa käytetään FSLASIK- ja SMILE-leikkauksia korjaamaan 45 silmää 45 asiakkaalta, joista 23 meni FSLASIK- ja 22 SMILE-leikkaukseen. Potilailla oli korkea myopia ja astigmatiaa yli  $-2.0$  D. Leikkaukset toteutettiin vuosina 2015–2016 ja leikkausten lopputuloksia tarkasteltiin 6 kuukauden kuluttua. (Liu ym. 2022.)

Gulmez ja muiden tutkimuksessa verrataan WGF FemtoLASIK- (Wavefront-guided femtosecond-assisted LASIK) ja SMILE-leikkauksien lopputuloksia toisiinsa korkean

myopian ja myooppisen astigmatian korjaamisessa. WGF FSLASIK-leikkauksen uskotaan vähentävän leikkauksen jälkeisiä aberraatioita ja estävä halojen, häikäistymisen ym. esiintymistä. Leikkauksessa käytetään WaveLight FS200 femtosekunttilaser. Kumpaakin tekniikkaa käytettiin 94 silmälle eli 47 potilaalle ja heitä seurattiin 6 kuukauden ajan. Potilaiden sfäärinen refraktio oli yli  $-6$  D ja sylinteri  $0-3$  D. (Gulmez & Tekce & Kamis 2020: 3481–3482.)

Taguchi ja Campos tutkimuksessaan vertailevat SMILE- ja PRK-leikkausten kliinisiä tuloksia ja potilastyytyväisyyttä toisiinsa. Leikkaukset tehtiin 43 potilaan 86 silmälle vuosina 2017–2018 ja heitä seurattiin 18 kuukauden ajan. Sfäärinen ekvivalentti oli  $-1.00$  D ja  $-8.00$  D välillä. Astigmatismia oli  $-4.50$  D tai vähemmän. (Taguchi & Campos 2023: 181.)

Katz ja muut vertailevat tutkimuksessaan LASIK- ja PRK-leikkauksien tehokkuutta, turvallisuutta ja ennustettavuutta yli  $3.00$  D astigmatiaan. Tutkimuksessa oli 57 silmää, joiden refraktio korjattiin PRK-leikkauksessa ja 57 silmää, jotka korjattiin LASIK-leikkauksessa. Seuranta kesti 6 kuukauden ajan ja leikkaukset tehtiin vuosina 2006–2010. (Katz & Wagenfeld & Galambos & Darrelmann & Richard 2013: 824–825.)

Tutkimuksessaan Mimouni ja muut vertailevat tuloksia LASIK- ja PRK-leikkausten välillä yli  $3.00$  D astigmatismien korjaamisessa. LASIK- sekä PRK-ryhmä sisälsi 175 silmää. Potilailla oli myopiaa  $0-10$  D ja astigmatiaa  $3-6$  D. Tutkimus toteutettiin vuosien 2007–2016 välillä ja potilasta seurattiin vähintään 30 päivää, jos hänelle tehtiin LASIK-leikkaus ja vähintään 60 päivää, jos hänelle tehtiin PRK-leikkaus. (Mimouni & Pokroy & Rabina & Kaiserman 2021: 2091–2092.)

Miraftab ja muiden tutkimuksessa oli 543 potilasta, joista 372 potilaalla oli matala myopia ja 171 potilaalla oli korkea myopia. Tutkimus tehtiin vuonna 2020 ja se sisälsi PRK-, SMILE- ja LASIK-menetelmät. Joka leikkausmenetelmä tehtiin 124 silmälle, joissa oli matala myopia ( $3,00 - 6,00$  D) ja 57 silmälle, jossa oli korkea myopia ( $> 6,00$  D). Kaikilla potilailla astigmatian määrä oli  $2,0$  D tai vähemmän. (Miraftab & Hashemi & Aghamirsalim & Fayyaz & Asgari 2021.)

## 7.2 Tehokkuus, turvallisuus ja ennustettavuus

Jin ja muiden tutkimus tuo esille, että SMILE-leikkauksella on samanlainen ennustettavuus riippumatta myopian korjauksen määrästä. Alikorjausta esiintyi 77 % (48 silmää) ryhmässä-H ja 98 % (101 silmää) ryhmässä-M, mutta se parani leikkauksen jälkeisen ajan myötä molemmissa ryhmissä. Korjattu näöntarkkuus kauas oli 1.0 98 % ryhmässä-H ja 99 % ryhmässä-M. Molemmissa ryhmissä vain kahdelta silmältä näöntarkkuus heikkeni yhden rivin verran 3 kuukauden jälkeen. Kuitenkin 25 % (16 silmää) ryhmässä-H ja 19 % (20 silmää) ryhmässä-M saivat yhden rivin lisää ja 73 %:ssa (45 silmää) ryhmässä-H ja 80 %:ssa (82 silmää) ryhmässä-M ei ollut muutoksia. (Jin ym 2017.)

Tutkimuksessa Pedersen ja muut, leikkauksen turvallisuus ja ennustettavuus olivat hyvät. 12 kuukautta SMILE-leikkauksen jälkeen silmistä 57 % saavutti näöntarkkuuden 1.0 tai paremman. 74 % ja 93 % silmistä saavutettiin  $\pm 0.50$  and  $\pm 1.00$  D aiotusta voimakkuudesta leikkauksen jälkeen. 70 % ja 94 % astigmatiasta oli alle 0,50 D ja 1,00 D. (Pedersen ym. 2017.)

Korkean astigmatian ennustettavuus osoittautui tutkimuksessa olleen heikompi. Vektorianalyyseissä potilaat, joiden astigmatia oli ennen leikkausta 0,50 D- 1.00 D, 94 % saavutettu voimakkuus erosi tavoitellusta alle 0.50 D. Puolestaan ne, joiden astigmatia oli 3.00–4.00 D, saavutti 63 % voimakkuuden, joka oli alle 0.50 D tavoitellusta voimakkuudesta. (Pedersen ym. 2017.)

Tutkimuksessa Hansen ja muut, 3 kuukautta SMILE-leikkauksen jälkeen 88 % voimakkuus oli alle 0.50 D suunnitellusta lopputuloksesta ja 98 % voimakkuus erosi tästä alle 1.00 D. 3 kuukauden kuluttua 83 % silmistä saavutti näöntarkkuuden 0,8 tai paremman, kun taas 12 silmistä näöntarkkuus oli heikentynyt aikaisempaan verrattuna. 3 kuukautta leikkauksen jälkeen potilaista 83 % oli astigmatiaa 0,50 D verrattuna 53 % ennen leikkausta. (Hansen ym. 2016.)

Korkean astigmatian ei suoranaisesti huomattu vaikuttavan lopputuloksen ennustettavuuteen. Kuitenkin ennen ensimmäistä leikkausta, silmissä, jotka joutuivat uusintaleikkaukseen, oli ollut huomattavasti enemmän astigmatiaa, mikä osoittaisi vaikutusta en-

nustettavuuden heikkenemistä ja lisäsi uusintaleikkauksen tarvetta korkeassa astigmatiassa. Silmien voimakkuus uusintaleikkauksen jälkeen oli 100 % 0.25 D sisällä emmetropiasta ja näöntarkkuus oli 1.0 tai suurempi. (Hansen ym. 2016.)

Sindhujadevi ja muiden tutkimuksen mukaan LASIK- leikkauksen ennustettavuus oli 100 % matalan myopian ryhmässä ja yli 80 % korkean myopian ryhmässä. Potilaat kuvailivat olevansa tyytyväisiä leikkauksen lopputulokseen. Potilailla, joilla oli matala myopia, korjaamaton näöntarkkuus oli 1.0 34 silmässä (18 potilasta). Potilailla, joilla oli kohtalainen myopia, korjaamattoman näöntarkkuuden 1.0 saavutti 16 silmää ja he, joilla oli korkea myopia, korjaamattoman näöntarkkuuden 1.0 saavutti 4 silmää ja 6 silmällä näöntarkkuus oli 0,65–0,10 välillä. (Sindhujadevi ym. 2022: 5710–5713.)

Cañones-Zafra ja muiden tutkimuksessa korkean astigmatian uusintaleikkauksen todennäköisyys oli suurempi, kuin matalan FS-LASIK leikkauksen jälkeen. Lopullinen tutkimus toteutui 3 kuukauden kuluttua ensimmäisestä leikkauksesta tai uusintaleikkauksesta. 51,37 % silmistä oli matala ja 48,63 % korkea astigmatia ennen leikkausta. Silmistä 138 eli 16,41 % tehtiin uusintaleikkaus, joista alun perin oli matala astigmatia 28 (28/432 eli 6,5 %) ja korkea astigmatia 110 (110/409 eli 26,9 %). Näöntarkkuudet ennen leikkausta ja sen jälkeen eivät eronneet toisistaan merkittävästi. (Cañones-Zafra ym. 2021: 75–78.)

Tananuvat ja muiden tutkimuksessa PRK-leikkauksen tehokkuus ja turvallisuus olivat erinomaiset sekä korkean että matalan myopian korjaamisessa. Pitkällä aikavälillä voi joitakin komplikaatioita esiintyä enemmän korkean myopian, kuin matalan myopian korjaamisen jälkeen, mutta silti niiden esiintyminen on vähäistä. Sfäärinen ekvivalentti oli 0,5- 1,0 D molemmissa ryhmässä, mutta yhdelläkään silmällä kummassakaan ryhmässä refraktio ei ollut > 1 D päässä emmetropiasta, eikä yksikään silmä vaatinut uusintaleikkausta. (Tananuvat ym. 2021.)

Ganesh ja Gupta tekemässään tutkimuksessa havainnoivat, ettei leikkausmenetelmien ennustettavuuden taikka turvallisuuden välillä ollut juurikaan eroavaisuutta. SMILE- sekä FSLASIK-ryhmästä 84 % saavutti 3 kuukauden kuluttua leikkauksesta 1.0 näöntarkkuuden. SMILE-leikkauksen jälkeen 6 silmää (12 %) ja 2 silmää (4 %) FemtoLASIK-leikkauksen jälkeen saavutti näöntarkkuuden 1.25. Näöntarkkuuden alenemista ei tutkimuksessa havaittu. (Ganesh & Gupta 2014.)

Myös tutkimuksessa Liu ja muut tuodaan esille, ettei FSLASIK- ja SMILE- leikkauksien lopputuloksissa ole juurikaan eroavaisuutta. FSLASIK-ryhmästä 78,3 % silmistä saavutti 1.0 näöntarkkuuden tai paremman, kun SMILE-ryhmästä sen saavutti 86,4 %. 95,7 % FSLASIK-leikkauksen jälkeen ja 95,5 % SMILE-leikkauksen jälkeen saavutti näöntarkkuuden, joka oli joko yhtä hyvä tai parempi, kuin mitä ennen leikkausta. 73,9 % ja 72,7 % silmistä saavutti  $\pm 0.50$  D sisään tavoitellun voimakkuuden. (Liu ym. 2022.)

Myös Gulmez ja muiden tutkimuksessa käytettyjen SMILE- ja WGF FSLASIK-tekniikoiden ennustettavuudessa, tehokkuudessa ja turvallisuudessa ei ollut huomattavia eroja korkean myopian ja korkean astigmatian korjauksessa. Näöntarkkuuksien välillä ennen ja jälkeen leikkausten ei ollut juurikaan eroavaisuutta. (Gulmez ym. 2020: 3484, 3486.)

Taguchi ja Campos tutkimuksessa on havaittavissa hieman parempaa lopputulosta PRK-, kuin mitä SMILE-leikkauksella. 91 % silmistä PRK-leikkauksen jälkeen saavutti näöntarkkuuden 1.0 tai paremman ja SMILE-leikkauksen jälkeen sen saavutti 84 %. Näöntarkkuus parani 26 % PRK-leikkauksen ja 17 % SMILE-leikkauksen jälkeen. Puolestaan näöntarkkuus laski PRK-leikkauksen jälkeen 7 % ja SMILE-leikkauksen jälkeen 9 %. 18 kuukauden aikana 19 % PRK-leikkauksen jälkeen näkö muuttui yli 0.50 D ja SMILE-leikkauksen jälkeen muutos tapahtui 9 %. (Taguchi & Campos 2023: 182.)

PRK-leikkauksen jälkeen astigmatiaa oli 0.50 D verran tai vähemmän 95 % potilaista. Sama SMILE-leikkauksen jälkeen oli 81 %. Kummassakaan ryhmässä ei leikkauksen jälkeen esiintynyt astigmatiaa yli 1.00 D verran. PRK-ryhmässä oli havaittavissa ylikorjausta ja SMILE-ryhmässä alikorjausta. Akselin suuntauksessa SMILE-leikkauksen jälkeen oli tapahtunut enemmän, 42 % yli 5 asteen virhekorjausta. PRK-ryhmässä se oli 19 %. (Taguchi & Campos 2023: 182, 185.)

Katz ja muiden tekemässä tutkimuksessa PRK- ja LASIK- leikkauksien turvallisuudessa ja ennustettavuudessa ei ole suuria eroja. PRK-leikkauksen jälkeen näöntarkkuus pysyi samana tai oli parantunut 92,8 %. LASIK-leikkauksen jälkeen 96,4 %. PRK-leikkauksen jälkeen 54 % refraktio oli  $\pm 0.50$  D sisään ja 84 %  $\pm 1.00$  D sisään emmetropiasta, kun taas LASIK-leikkauksen jälkeen 67 % oli  $\pm 0.50$  D ja 93 %  $\pm 1.00$  D päässä emmetropiasta. Kummassakin leikkauksessa oli havaittavissa pientä sfääristä ylikorjausta. (Katz ym. 2013: 826–827.)

Tutkimuksessa kerrotaan, että PRK-leikkauksen on tukittu aiheuttavan astigmatian siirtymää kohti säännönmukaista astigmatiaa, mikä näkyy korjaamattomana astigmatiana sarveiskalvolla. Tutkimus tuki ajatusta leikkauksella aiheutetun astigmatian ollessa  $4.73 \text{ D} \times 20^\circ$  (LASIK  $3.96 \text{ D} \times 34^\circ$ ). Havaittavissa oli myös suuntaus sylinterin ylikorjaukseen. (Katz ym. 2013: 829.)

LASIK- ja PRK-leikkaukset ovat turvallisia vaihtoehtoja korkean myopian korjaamiseen. Ennustettavuuden PRK-leikkauksessa huomattiin kasvavan korkean astigmatian alikorjauksen myötä. Tutkimuksessa Mimouni ja muut 60 % sekä LASIK- että PRK-leikkauksen käyneistä oli  $\pm 0.50 \text{ D}$  päässä emmetropiasta. LASIK-leikkauksen jälkeen ilmeni alikorjausta ja PRK-leikkauksen jälkeen ylikorjausta. LASIK-leikkauksen jälkeen astigmatian korjaus oli paremmin ennustettavissa, sillä 57,7 % refraktio oli  $0.50 \text{ D}$  päässä emmetropiasta, kun PRK-leikkauksen jälkeen se oli 3,8 %. Yli  $1.00 \text{ D}$  päässä emmetropiasta oli LASIK-leikkauksen jälkeen 12,6 % ja PRK-leikkauksen jälkeen 34,3 %. Uusintaleikkaukseen meni PRK-ryhmästä 4,76 % ja LASIK-ryhmästä 1,71 %. (Mimouni ym. 2021: 2094.)

### 7.3 Komplikaatiot

Pedersen ja muiden tutkimuksessa SMILE-leikkauksen komplikaatioiden ilmaantuminen osoittautui vähäiseksi. Leikkauksen aikana imuhäviö tapahtui 2 potilaan toiseen silmään. Toinen potilaista leikattiin samalla leikkaustekniikalla viikon kuluttua ja toinen LASIK-tekniikalla 3 kuukauden kuluttua. Yhden potilaan yhdessä silmässä todettiin keratiitti viikon kuluttua leikkauksesta ja myöhemmin arpi sarveiskalvossa. Lisäksi koma ja korkeamman asteen aberraatiot lisääntyivät joissain määrin leikkauksen jälkeen. Alikorjausta kaikki silmät huomioiden oli 11 %, johon vaikutti pieni akselisuunnan kiertyminen, mikä leikkauksen jälkeen oli havaittavissa. (Pedersen ym. 2017.)

Tutkimuksessa Hansen ja muut on epäsuorasti havaittavissa riski lisääntyneeseen alikorjaukseen SMILE-leikkauksen jälkeen korkean astigmatian korjaamisessa (Hansen ym. 2016).

Imuhäviötä leikkauksen aikana tapahtui myös tutkimuksessa, tekijöinä Ganesh ja Gupta, yhteydessä. Tutkimuksessa 4 silmään FSLASIK-leikkauksen aikana ja 3 silmään SMILE-leikkauksen aikana tuli imuhäviö. FSLASIK-leikkauksen potilaista kolmen

silmän läppä ryppyntyi, jolloin läppä piti aukaista uudestaan, huuhdella ja asettaa takaisin paikoilleen. Silmään laitettiin suojaava linssi 24 tunniksi. SMILE-leikkauksessa imuhäviön jälkeen telakointi tehtiin uudestaan ja leikkaus saatiin onnistuneesti suoritettua loppuun. (Ganesh & Gupta 2014.)

Tutkimuksessa ilmeni myös erilaisia kuvantamisvirheitä. 3 kuukauden kuluttua leikkauksesta kontrastiherkkyys oli parempi SMILE-leikkauksessa olleiden ryhmässä. Korkeamman asteen aberraatiot olivat korkeammat FSLASIK-leikkauksessa olleilla. Myös kuivasilmäisyyttä ja häikäistymistä esiintyi enemmän FSLASIK-leikkauksen jäljiltä. (Ganesh & Gupta 2014.)

Myös Liu ja muiden tutkimuksessa kuvantamisvirheitä ilmeni. Tutkimuksessa korkea myopia ja korkea astigmatia vaikuttivat aberraatioiden esiintymiseen. FSLASIK-leikkauksen jälkeen ilmeni enemmän sfääristä aberraatiota, kuin SMILE-leikkauksessa. Puolestaan SMILE-leikkauksen jälkeen ilmeni enemmän vertikaalista komaa, kuin FSLASIK-leikkauksessa. SMILE saavutti laajemman optisen vyöhykkeen leikkauksen jälkeen. (Liu ym. 2022.)

Samoin Gulmez ja muiden tutkimuksessa korkeamman asteen aberraatioiden arvot nousivat sekä SMILE- että WGF FSLASIK- leikkauksen jälkeen. SMILE-ryhmässä trefoil ja vertikaalinen koma esiintyivät enemmän, kuin WGF FSLASIK-ryhmässä, kun taas WGF FSLASIK-ryhmässä esiintyi enemmän palloaberraatiota korkean myopian tai korkean astigmatian korjaamisen jälkeen. (Gulmez ym. 2020: 3484, 3487.)

Tutkimuksessa sekä SMILE- että WGF FSLASIK-leikkauksen jälkeen yhdessä silmässä esiintyi epiteelin sisäänkasvua. Ensimmäisessä tapauksessa lentikkelin alapinta huuhdeltiin ja jälkimmäisessä se poistettiin YAG laserilla. SMILE-leikkauksen jälkeen kahden silmän lentikkeliin tuli pieni repeämä, jolla ei ollut vaikutusta näöntarkkuuteen. Yhdelle potilaalle ilmaantui läpän rypytyminen tunnin kuluttua WGF FSASIK-leikkauksen jälkeen, jolloin läppä avattiin, huuhdeltiin ja laitettiin takaisin paikoilleen. (Gulmez ym. 2020: 3483.)

Taguchi ja Campos eivät havainneet komplikaatioita tutkimuksensa aikana SMILE- tai PRK- leikkausten jälkeen. Havaittavissa oli ylikorjausta korkeamman astigmatian yhteydessä PRK-ryhmässä ja alikorjausta SMILE-ryhmässä. (Taguchi & Campos 2023: 185.)

Tananuvat ja muiden tutkimuksessa komplikaatioita esiintyy hieman enemmän korkean, kuin mitä matalan myopian korjauksessa PRK-leikkauksen jälkeen. Kuukauden päästä leikkauksesta havaittiin haze 19 silmässä, joissa oli matala myopia ja 11 silmässä, joissa oli korkea myopia. 12 kuukauden jälkeen silmissä, joissa oli matala myopia, havaittiin haze enää yhdessä silmässä ja vaikeammassa muodossa haze havaittiin kahdessa silmässä, joissa oli ollut korkea myopia. Kuivasilmäisyys oireita ja hämäränäköongelmia havaittiin molemmissa ryhmissä. Näitä komplikaatioita esiintyi enemmän korkean myopian korjaamisen jälkeen. Vaikeiden kuivasilmäisyys oireiden esiintyminen keskimäärin matalan myopian korjaamisen jälkeen oli 15 % ja korkean myopian 37,9 %. Korjaamisen jälkeen matalan myopian kohdalla 50 % (20 silmässä) on havaittu hämäränäköongelmia, kun taas korkean myopian kohdalla 62,1 % (18 silmässä). (Tananuvat ym. 2021.)

Katz ja muiden tutkimuksen aikana nousi esiin useampikin eri komplikaatio. PRK-leikkauksien jälkeen havaittuja komplikaatioita olivat: haze 10 silmässä (7 lievää), DLK yhdessä silmässä ja 12 kuivasilmätapausta. LASIK-leikkauksien jälkeen ilmi tulleet komplikaatiot: DLK 3 silmässä, epiteelin sisäänkasvu yhdessä silmässä, 4 silmässä läpän rypyyntyminen, yhdessä silmässä epäsäännöllinen läppä ja 13 kuivasilmätapausta. (Katz ym. 2013: 832.)

Regressiota havainnoitiin Mimouni ja muiden tutkimuksessa. Tutkimuksessa nimittäin huomattiin PRK-leikkauksen jälkeen regression olevan todennäköisempää: 2,9 % verrattuna LASIK-leikkauksen jälkeiseen 0 %. Tämä siksi, koska 5 silmässä PRK-leikkauksen jälkeen oli havaittavissa regressiota. (Mimouni ym. 2021: 2097.)

Sindhujadevi ja muiden tekemässä tutkimuksessa LASIK-leikkauksen jälkeen 6 % potilaista ilmoitti kuivasilmäisyys oireita, jotka vaativat hoitoa. Muita merkittäviä komplikaatioita ei esiintynyt, eikä yhdellekään potilaalle joudettu tekemään uusintaleikkausta. (Sindhujadevi ym. 2022: 5710–5713.)

Miraftab ja muiden tutkimuksessa tulee ilmi SMILE-leikkauksen jäljiltä hämäränäkemisen olevan parempi, kuin FSLASIK- ja PRK-leikkausten jälkeen sekä matalassa, että korkeassa myopiassa. 12 kuukautta leikkauksen jälkeen matalan myopian ryhmässä korkeamman asteen aberraatiot lisääntyivät SMILE-, FSLASIK- sekä PRK-menettimillä. Kun pupillin halkaisija oli 6 mm, korkeamman asteen aberraatioiden esiintyminen

SMILE- leikkauksen jälkeen oli epätodennäköisempää, kuin FSLASIK- tai PRK-menetelmillä. Koman lisääntyminen oli havaittavissa jokaisen leikkauksen jälkeen, mutta se oli vähäisempää SMILE- leikkauksen kohdalla. Pupillin ollessa pienempi (3 mm) koman esiintymisen ja leikkausmenetelmien välillä ei ollut eroavaisuutta. (Miraftab ym. 2021.)

Potilailla, joilla oli korkea myopia ja pieni pupilli (3 mm), korkeamman asteen aberraatioiden esiintyminen SMILE-leikkauksen jälkeen oli korkeampi aberraatio trefoilin vuoksi, kuin FSLASIK- ja PRK- leikkauksien kohdalla. Koman lisääntyminen oli havaittavissa kaikissa ryhmissä, eikä pupillin koolla ollut vaikutusta siihen. Koman esiintyminen korkean myopian jälkeen oli kuitenkin todennäköisempää, kuin matalan myopian. (Miraftab ym. 2021.)

## 8 Pohdinta

Tutkimuksien perusteella, joita opinnäytetyöhön valittiin, voidaan todeta taittovirhekirurgian olevan suosiossa ympäri maailmaa ja taittovirheleikkausten eri taittovirheen voimakkuuksille olevan mahdollista. Ennen leikkauksen suorittamista tehdään erilaisia pohjustavia tutkimuksia. Tutkimusten perusteella valitaan menetelmä, jolla saadaan paras mahdollinen lopputulos aikaiseksi ja samalla tuotua ilmi mahdolliset vasta-aiheet, jotka ovat riskitekijöitä erilaisille komplikaatioille.

Nykyään taittovirhekirurgian menetelmät ovat kehittyneet teknologian mukana ja aikaansaamaan verrattuna komplikaatioiden esiintyminen on vähentynyt. Komplikaatioiden esiintyminen onkin verrattain vähäistä, leikkaukset turvallisia ja ennustettavissa taittovirheen laadusta ja määrästä riippumatta. Tästä huolimatta taittovirheen määrällä voi kuitenkin olla vaikutusta komplikaatioiden esiintymiseen ja korkeamman taittovirheen korjaaminen taittovirhekirurgialla saattaa aiheuttaa kasvua komplikaatioiden todennäköisyydessä.

Yleisimpiä komplikaatioita ovat yli- tai alikorjaus, regressio, aberraatiot, haze, imuhäviö leikkauksen aikana, kuivasilmäisyys, epiteelin sisäänkasvu, läpän ryppyntyminen ja DLK. Pääasiassa korkean ja matalan taittovirheen korjauksen jälkeen ilmenneiden komplikaatioiden esiintymisten välillä ei ollut selkeää eroa. Korkean taittovirheen korjaamisen jälkeen uusintaleikkauksen riski on suurempi, sillä refraktio jää todennäköi-

semmin alikorjatuksi, mitä matalan taittovirheen kohdalla. Myös aberraatioiden esiintyminen on joissain määrin todennäköisempää korkean taittovirheen korjaamisen jälkeen. Millaisena kuvausvirheenä aberraatio ilmenee, riippuu leikkausmenetelmästä.

Leikkausmenetelmiä toisiinsa verrattaessa, SMILE- leikkauksen lopputulokset ovat FSLASIK- leikkauksen kanssa hyvin samanlaisia. Myöskään PRK-leikkauksen lopputuloksissa ei ollut merkittäviä eroja. Leikkauksen jälkeen esiintynyt aberraatio riippui leikkausmenetelmästä, sillä tietynlainen aberraatio liittyä selvästi tiettyyn leikkausmenetelmään. SMILE-leikkauksen jälkeen esiintynyt kuivasilmäisyys oli vähäisempää muihin tekniikoihin verrattuna, mikä tukee leikkausmenetelmän sopivuutta kuivasilmäisille. SMILE-leikkaus osoitti riskiä korkean astigmatian alikorjauksessa. Puolestaan LASIK-leikkaus osoitti riskiä korkean myopian alikorjaukseen. PRK- leikkauksessa päädyttiin ennemmin ylikorjaukseen korkean myopian että astigmatian kohdalla.

Kuvailevan kirjallisuuskatsauksen avulla saimme luotua kattavan sisällön koskien komplikaatioiden esiintymistä myopian ja astigmatian eri voimakkuuksissa. Käsiteltävää materiaalia kuitenkin rajasi tutkimusten laajuus ja sen karsiminen valitsemillamme kriteereillä. Lisäksi tutkimuksia, joissa kaikkia valitsemiamme leikkausmenetelmiä olisi käsitelty, oli vähän tai ne eivät täyttäneet kriteerejämme. Ne olisivat tuoneet oleellista tietoa leikkausten keskinäisessä vertailussa.

Aiheen laajuuden takia emme kiinnittäneet huomiota näkemiseen vaikuttaviin binokulaarisiin häiriöihin, kuten karsastukseen. Jatkotutkimusaiheeksi ehdotamme perehtymistä taittovirhekirurgiassa esiintyviin komplikaatioihin silmissä, joihin on tehty karsastusleikkaus.

Keskityimme opinnäytetyössämme myopiaan ja myooppiseen astigmatiaan. Tutkimus, missä tarkastellaan taittovirheen määrän vaikutus komplikaatioiden yleisyyteen hyperopiassa tai hyperooppisessa astigmatiassa, voisi olla jatkotutkimusaiheena mielenkiintoinen ja verrattavissa tähän opinnäytetyöhön.

## Lähteet

Al-Farhan Haya M & Al-Otaib, Wafa'a Majed 2012. Comparison of central corneal thickness measurements using ultrasound pachymetry, ultrasound biomicroscopy, and the Artemis-2 VHF scanner in normal eyes. Dovepress. *Clinical ophthalmology* 6. 1037–1043. <<https://www.dovepress.com/getfile.php?fileID=13202>>. Viitattu 19.10.2023.

Alió, Jorge L & Grzybowski, Andrzej & Romaniuk, Dorota 2014. Refractive lens exchange in modern practice: when and when not to do it? *Eye Vis (Lond)*. 1 (10). <<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4655463/>>. Viitattu 25.11.2023.

Ambrósio Jr, Renato & Ramos, Isaac & Correia, Fernando Faria 2016. Post refractive surgery ectasia. Teoksessa Linke, Stephan J., & Katz, Toam (toim.). *Complications in Corneal Laser Surgery*. E-kirja. Sveitsi: Springer. 157–173.

Cañones-Zafra, Rafael & Katsanos, Andreas & Gargia-Gonzalez, Montserrat & Gros-Otero, Juan & Teus, Miguel A. 2021. Femtosecond LASIK for the correction of low and high myopic astigmatism. *International Ophthalmology*. 42 (1). 73–80. Pdf-tiedosto. <<https://www.proquest.com/docview/2624034849/C424C0C6994749E9PQ/5?accountid=11363>>. Viitattu 26.10.2023.

Chansue, Ekket 2015. Current technique and instrumentation for SMILE. Teoksessa Sekundo, Walter (toim.). *Small Incision Lenticule Extraction (SMILE). Principles, Techniques, Complication Management, and Future Concepts*. E-kirja. Saksa: Springer. 55.

Dua, HS & Said, DG 2016. Clinical evidence of the pre-Descemet's layer (Dua's layer) in corneal pathology. *Eye* 30. 1144–1145. <<https://www.nature.com/articles/eye201662>>. Viitattu 26.10.2023.

Ganesh. Sri & Gupta, Rishika 2015. Comparison of Visual and Refractive Outcomes Following Femtosecond Laser-Assisted LASIK With SMILE in Patients With Myopia or Myopic Astigmatism. *Journal of Refractive Surgery* 30 (9). 590–596. <<https://www.proquest.com/docview/1561076938?accountid=11363&parentSessionId=h1ryyBR1LinVL0q%2BJcPO0Xlfq%2B6oMdvSLau%2BIb1sgA%3D>>. Viitattu 24.10.2023.

Gulmez, Mehmet & Tekce, Abdulhakim & Kamis, Umit 2020. Comparison of refractive outcomes and high-order aberrations after small incision lenticule extraction and wavefront-guided femtosecond-assisted laser in situ keratomileusis for correcting high myopia and myopic astigmatism. *International Ophthalmology* 40 (12). 3481–3489. Pdf-tiedosto. <<https://www.proquest.com/pagepdf/2471759046/Record/C424C0C6994749E9PQ/7?accountid=11363>>. Viitattu 26.10.2023.

Hansen, Rasmus Søgaard & Lyhne, Niels & Grauslund, Jakob & Vestergaard, Anders Højslet 2016. Small-incisions lenticule extraction (SMILE): outcomes of 722 eyes treated for myopia and myopic astigmatism. *Graefes's Archive for Clinical and Experimental Ophthalmology* 245 (2). 399–405. <<https://www.proquest.com/docview/1761042117?accountid=11363&parentSes>

sionId=TfzOV1nAOc%2B3hpgLa1xqsaARIAgHPhi3PT3WkDd5egs%3D&parentSessionId=kSyimyLe3VsFxOfRAliMOTd2u8ia9NiLuSWPV%2BTDbLA%3D>. Viitattu 24.10.2023.

Ip, Jenny M. & Saw, Seang-Mei & Rose, Kathryn A. & Morgan, Ian G. & Kifley, Annette & Wang, Jie Jin & Mitchell, Paul 2008. Role of Near Work in Myopia: Findings in a Sample of Australian School Children. *Clinical and Epidemiologic Research. Investigative ophthalmology & visual science* 49 (7). 2903–2910. <<https://iovs.arvojournals.org/article.aspx?articleid=2125070>>. Viitattu 3.9.2023.

Ivarsen, Anders & Hjortdal, Jesper 2016. Complications and management of SMILE. Teoksessa Linke, Stephan J., & Katz, Toam (toim.). *Complications in Corneal Laser Surgery*. E-kirja. Sveitsi: Springer. 111–126.

Jin, Hong-Ying & Wan, Ting & Wu, Fang & Yao, Ke 2017. Comparison of visual results and higher-order aberrations after small incision lenticule extraction (SMILE): high myopia vs. mild to moderate myopia. *BMC Ophthalmology* 17 (118). <<https://bmcophthalmol.biomedcentral.com/articles/10.1186/s12886-017-0507-2>>. Viitattu 28.10.2023.

Kangasniemi, Mari & Utriainen, Kati & Ahonen, Sanna-Mari & Pietilä, Anna-Maija & Jääskeläinen, Petri & Liikanen, Eeva 2013. Kuvaileva kirjallisuuskatsaus: eteneminen tutkimuskysymyksestä jäsenettyyn tietoon. *Hoitotiede* 25 (45). 291–301. <<https://journal.fi/hoitotiede/article/download/128286/77409/273828>>. Viitattu 26.6.2023.

Katz, Toam & Wagenfeld, Lars & Galambos, Peter & Darrelmann, Benedikt große & Richard, Gisbert 2013. LASIK Versus Photorefractive Keratectomy for High Myopia (> 3 Diopter) Astigmatism: [1]. *Journal of Refractive Surgery* 29 (12). 824–833. Pdf-tiedosto. <<https://www.proquest.com/docview/1555293097/C424C0C6994749E9PQ/4?accountid=11363>>. Viitattu 27.10.2023.

Katz, Toam R. 2016a. Microkeratome LASIK Intraoperative Complications. Teoksessa Linke, Stephan J., & Katz, Toam (toim.). *Complications in Corneal Laser Surgery*. E-kirja. Sveitsi: Springer. 51–64.

Katz, Toam R. 2016b. Safety, Efficacy and Predictability of SAT. Teoksessa Linke, Stephan J., & Katz, Toam (toim.). *Complications in Corneal Laser Surgery*. E-kirja. Sveitsi: Springer. 23–32.

Katz, Toam R. 2016c. Safety, Predictability and Efficacy of LASIK. Teoksessa Linke, Stephan J., & Katz, Toam (toim.). *Complications in Corneal Laser Surgery*. E-kirja. Sveitsi: Springer. 19–22.

Katz, Toam R. 2016d. Standardized Evaluation of Safety, Predictability and Efficacy. Teoksessa Linke, Stephan J., & Katz, Toam (toim.). *Complications in Corneal Laser Surgery*. E-kirja. Sveitsi: Springer. 11–18.

Kim, Tae-im & Barrio, Jorge L Alió del & Wilkins, Mark & Cochener, Beatrice & Ang, Marcus. 2019. Refractive surgery. *The Lancet* 393 (10185). 2085–2098. <

hub.hkvisa.net/https://www.thelancet.com/article/S0140-6736(18)33209-4/fulltext>. Viitattu 19.10.2023.

Kirill B., Pershin, MD, PhD & Nadezhda F., Pashinova, MD, PhD, DSc 2000. Refractive Surgery for Hyperopia. *Journal of Refractive Surgery* 16 (2). 242–246.  
<https://www.proquest.com/docview/867025211/fulltextPDF/99B08BD125564AEEPQ/3?accountid=11363>. Viitattu 30.10.2023.

Liu, Jun & Li, Zhijie 2021. Resident Innate Immune Cells in the Cornea. *Frontiers in Immunology*. Helmi. 12. <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fimmu.2021.620284/full>. Viitattu 17.10.2023.

Liu, Shengtao & Zhang, Xiaoxue & Niu, Lingling & Yu, Zhiqiang & Zhou, Xingtao & Zhao, Jing 2022. Comparison of the Functional Optical Zone in Eyes With High Myopia With High Astigmatism After SMILE and FS-LASIK. *Journal of Refractive Surgery* 38 (9). 595–601. <https://journals.healio.com/doi/full/10.3928/1081597X-20220725-01?rfr\_dat=cr\_pub++0pubmed&url\_ver=Z39.88-2003&rfr\_id=ori%3Arid%3Across-ref.org>. Viitattu 28.10.2023.

Llovet, Fernando & Ortega-Usobiaga, Julio & Llovet, Andrea 2016. Refractive surgery in systemic diseases and non ectatic eye pathologies. *Teoksessa Linke, Stephan J., & Katz, Toam (toim.). Complications in Corneal Laser Surgery*. E-kirja. Sveitsi: Springer. 39–48.

López-Gil, Norberto & Rucker, Frances J. & Stark, Lawrence R. & Badar, Mustanser & Borgovan, Theodore & Burke, Sean & Kruger, Philip B. 2007. Effect of third-order aberrations on dynamic accommodation. *Vision Research* 47 (6). 755–765.  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0042698906003488>. Viitattu 26.10.2023.

Miller, William L. 2006. Optical correction with refractive surgeries and prosthetic devices. *Teoksessa Benjamin, William J. (toim.). Borish's clinical refraction*. 2. painos. E-kirja. Butterworth-Heinemann, Elsevier: USA. Luku 29.

Mimouni, Michael & Pokroy, Russell & Rabina, Gilad & Kaiserman, Igor 2021. LASIK versus PRK for high astigmatism. *International Ophthalmology* 41 (6). 2091–2098. Pdf-tiedosto.  
<https://www.proquest.com/docview/2536121775/C424C0C6994749E9PQ/39?accountid=11363>. Viitattu 27.10.2023.

Miraftab, Mohammad & Hashemi, Hassan & Aghamirsalim, Mohammadreza & Fayyaz, Shiva & Asgari, Soheila 2021. Matched comparison of corneal higher order aberrations induced by SMILE to femtosecond assisted LASIK and to PRK in correcting moderate and high myopia: 3.00mm vs. 6.00mm. *BMC Ophthalmol* 21 (216).  
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC8122548/>. Viitattu 29.10.2023.

Mohammadi, Seyed-Farzad & Khorrami-Nejad, Masoud & Hamidirad, Moein 2019. Posterior corneal astigmatism: a review article. *Clinical Optometry* 11. 85–96.  
<https://www.dovepress.com/getfile.php?fileID=51922> Viitattu 12.9.2023.

Moshirfar, Majid & Milner, Dallin C & Baker, Preston A & McCabe, Shannon E & Ronquillo, Yasmyne C & Hoopes, Phillip C 2020. Corneal refractive surgery in patients with a history of Herpes simplex keratitis: A narrative review. <<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7678688/>>. Viitattu 28.9.2023.

Mountjoy, Edward & Davies, Neil M. & Plotnikov, Denis & Smith, George Davey & Rodriguez, Santiago & Williams, Cathy E. & Guggenheim, Jeremy A. & Atan, Denize 2018. Education and myopia: assessing the direction of causality by mendelian randomisation. <<https://www.bmj.com/content/bmj/361/bmj.k2022.full.pdf>>. Viitattu 21.8.2023.

Navaratnam, Jesintha & Utheim, Tor P. & Rajasekhar, Vinagolu K. & Shahdadfar, Aboulghassem 2015. Substrates for Expansion of Corneal Endothelial Cells towards Bioengineering of Human Corneal Endothelium. *Journal of Functional Biomaterials* 6 (3). 917–945. <<https://www.mdpi.com/2079-4983/6/3/917>>. Viitattu 26.10.2023.

Németh, János & Tapasztó, Beáta & Aclimandos, Wagih A. & Kestelyn, Philippe & Jonas, Jost B. & Faber, Jan-Tjeerd H. N. De. & Januleviciene, Ingrida & Grzybowski, Andrzej & Nagy, Zoltán Zsolt & Pärssinen, Olavi & Guggenheim, Jeremy A. & Allen, Peter M. & Baraas, Rigmor C. & Saunders, Kathryn J. & Flitcroft, Daniel Ian & Gray, Lyle S. & Polling, Jan Roelof & Haarman, Annechien EG. & Tideman, J Willem L. & Wolffsohn, James Stuart & Wahl, Siegfried & Mulder, Jeroen A. & Smirnova, Irina Yurievna & Formenti, Marino & Radhakrishnan, Hema & Resnikoff, Serge 2021. Update and guidance on management of myopia. European Society of Ophthalmology in cooperation with International Myopia Institute. *European Journal of Ophthalmology* 31(3). 853–883. <<https://journals.sagepub.com/doi/pdf/10.1177/1120672121998960>>. Viitattu 23.8.2023.

Nicolae, Miruna & Filip, Andrei & Filip, Mircea Vasile & Rotaru, Eugen 2016. Smile – the next generation of laser vision correction. *Romanian Journal of Ophthalmology*. 60 (1). 6-8. <<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5712922/>>. Viitattu 20.5.2023.

Pallikaris, Ioannis G. & Sahin, Onurcan 2018. Femtosecond laser-assisted in situ keratomileusis (LASIK). Teoksessa Dick, H.Burkhard & Gerste, Ronald D. & Schultz, Tim (toim.). *Femtosecond Laser Surgery in Ophthalmology*. E-kirja. Thieme medical publishers, inc. 20–22.

Pang, Kunpeng & Lennikov, Anton & Yang, Menglu 2021. Hypoxia adaptation in the cornea: Current animal models and underlying mechanisms. *Animal Models and Experimental Medicine*. Wiley Online Library. Marras. 4. 300–310. <<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/ame2.12192>>. Viitattu 18.10.2023.

Pedersen, Iben Bach & Ivarsen, Anders & Hjortdal Jesper 2017. Changes in Astigmatism, Densitometry, and Aberrations After SMILE for Low to High Myopic Astigmatism: A 12-Month Prospective Study. *Journal of Refractive Surgery* 33 (1). 11–17. <<https://www.proquest.com/docview/2824043442/C424C0C6994749E9PQ/9?accountid=11363>>. Viitattu 23.10.2023.

Petrela, Redion B. & Patel, Sangita P. 2022. The soil and the seed: The relationship between Descemet's membrane and the corneal endothelium. *Experimental Eye Research* 227 (2023) 109376. <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0014483522004572?via%3Dihub>>. Viitattu 26.10.2023.

Pietilä, Juhani & Huhtala, Anne & Mäkinen, Petri & Poussu, Anssi & Rajala, Teppo & Savolainen, Pekka & Saarinen, Esa & Uusitalo, Hannu 2016. Laserit sarveiskalvokirurgiassa. *Lääketieteellinen Aikakauskirja Duodecim* 132 (22). 2108–14. <<https://www.duodecimlehti.fi/duo13418#s3>>. Viitattu 14.10.2023.

Pniakowska, Zofia & Jurowski, Piotr & Wierbowska, Joanna 2023. Clinical Evaluation of Corneal Biomechanics following Laser Refractive Surgery in Myopic Eyes: A Review of the Literature. *Journal of Clinical Medicine* 12 (1). 243. <<https://www.proquest.com/docview/2761189365/3443685665A548D2PQ/22?accountid=11363>>. Viitattu 28.10.2023.

Pärssinen, Olavi & Wedenoja, Juho 2021. Myopia – maailmanlaajuinen epidemia. *Lääkärilehti* 38 (76). 2073–2078. <<https://www.laakarilehti.fi/tieteessa/katsausartikkeli/myopia-ndash-maailmanlaajuinen-epidemia/?public=b6c975627c7d1f7358ed6f9775432d47#reference-7>>. Viitattu 21.8.2023.

Resan, Mirko & Vukosavljević, Miroslav & Milivojević, Milorad 2021. Wavefront aberrations. Teoksessa Rumelt, Shimon (toim.). *Advances in Ophthalmology*. IntechOpen. <<https://www.intechopen.com/chapters/31125>>. Viitattu 5.9.2023.

Sahay, Pranita & Bafina, Rahul Kumar & Reddy, Jagadesh C & Vajpayee, Rasik B & Sharma, Namrata 2021. Complications of laser-assisted in situ keratomileusis. *Indian Journal of Ophthalmology* 69 (7). 1658–1669. <[https://journals.lww.com/ijo/Fulltext/2021/07000/Complications\\_of\\_laser\\_assisted\\_in\\_situ.9.aspx](https://journals.lww.com/ijo/Fulltext/2021/07000/Complications_of_laser_assisted_in_situ.9.aspx)>. Viitattu 30.10.2023.

Salminen, Ari 2011. Mikä kirjallisuuskatsaus? Vaasan yliopiston julkaisuja. <[https://www.uwasa.fi/materiaali/pdf/isbn\\_978-952-476-349-3.pdf](https://www.uwasa.fi/materiaali/pdf/isbn_978-952-476-349-3.pdf)>. Viitattu 26.6.2023.

Seppänen, Matti 2021. Silmän taittovirheen korjaus laserleikkauksella. *Duodecim Terveyskirjasto. Lääkärikirja Duodecim*. <<https://www.terveyskirjasto.fi/dlk01250>>. Viitattu 21.5.2023.

Shah, Rupal 2015. Complications after SMILE and its management including retreatment techniques. Teoksessa Sekundo, Walter (toim.). *Small Incisions Lenticule Extraction (SMILE). Principles, Techniques, Complication Management, and Future Concepts*. E-kirja. Saksa: Springer. 97–105.

Shah, Rupal 2019. History and results; Indications and contraindications of SMILE compared with LASIK. *Asia Pacific Journal of Ophthalmology (Philadelphia, Pa.)* 8 (5). 371–376. <<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6784775/>>. Viitattu 28.9.2023.

Sindhujadevi, S. & Jeyaprakash, B. & Ezhilvendhan, K. & Bhava, B. Saravana & Kanna, R. Rajesh 2022. Comparison of outcome of LASIK in mild, moderate and high

myopia. *International Journal of Health Sciences* 6 (8). 5706–5714. <[https://www.researchgate.net/publication/364982301\\_Comparison\\_of\\_outcome\\_of\\_LASIK\\_in\\_mild\\_moderate\\_and\\_high\\_myopia](https://www.researchgate.net/publication/364982301_Comparison_of_outcome_of_LASIK_in_mild_moderate_and_high_myopia)>. Viitattu 29.10.2023.

Sridhar, Mittanamalli S 2018. Anatomy of cornea and ocular surface. *Indian Journal of Ophthalmology*. Helmi. 66 (2). 190–194. <<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5819093/>>. Viitattu 17.10.2023.

Steinberg, Johannes & Linke, Stephan J. 2016. Complications and management in laser refractive surface ablation (SA). Teoksessa Linke, Stephan J., & Katz, Toam (toim.). *Complications in Corneal Laser Surgery*. E-kirja. Sveitsi: Springer. 127–156.

Taguchi, Felipe & Campos, Mauro 2023. The 18-Month Outcomes of a Contralateral, Randomized, Prospective Clinical Trial Comparing Photorefractive Keratectomy and SMILE for Myopia. Pdf-tiedosto. *Journal of Refractive Surgery* 39 (3). 180–186. <<https://www.proquest.com/docview/2784805185/1E78961D412D49C5PQ/5?accountid=11363>>. Viitattu 28.10.2023.

Tananuvat, Napaporn & Winaikosol, Pawara & Niparugs, Muanploy & Chaidaroon, Winai & Tangmonkongvoragul, Chulaluck & Ausayakhun, Somsanguan 2021. Twelve-Month Outcomes of the Wavefront-Optimized Photorefractive Keratectomy for High Myopic Correction Compared with Low-to-Moderate Myopia. Dovepress. *Clinical Ophthalmology* 15. 4775–4785. <<https://www.dovepress.com/getfile.php?fileID=77005>>. Viitattu 28.10.2023.

Tomás-Juan, Javier & Larrañaga, Ane Murueta-Goyena & Hannekena, Ludger 2015. Corneal Regeneration After Photorefractive Keratectomy: A Review. *Journal of Optometry* 8 (3). 149–169. <<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4502084/>>. Viitattu 20.10.2023.

Varssano, David 2012. Etiology and Clinical Presentation of Astigmatism. *Astigmatism - Optics, Physiology and Management*. ResearchGate. <[https://www.researchgate.net/publication/221926222\\_Etiology\\_and\\_Clinical\\_Presentation\\_of\\_Astigmatism](https://www.researchgate.net/publication/221926222_Etiology_and_Clinical_Presentation_of_Astigmatism)>. Viitattu 7.9.2023.

Wilson, Steven E. 2020. Photorefractive keratectomy (PRK) and phototherapeutic keratectomy (PTK). *Biology of keratorefractive surgery PRK, PTK, LASIK, SMILE, inlays and other refractive procedures*. *Experimental Eye Research* 198. Artikkelin numero 108136. <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0014483520303948?via%3Dihub>>. Viitattu 11.5.2023.

Wilson, Steven E. 2023. The Cornea: No Difference in the Wound Healing Response to Injury Related to Whether, or Not, There's a Bowman's Layer. *Biomolecules* 13(5). 771. <<https://www.mdpi.com/2218-273X/13/5/771>>. Viitattu 26.10.2023.

Xu, Youmei & Li, Lin & Shan, Jiankang & Du, Liping & Jin, Xuemin & Zhou, Pengyi 2023. Extreme myopia is more susceptible to SOX2 gene than high myopia. *Experimental Eye Research* 230. 109435. <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0014483523000568>>. Viitattu 30.10.2023.

Zhao, Congling & Cai, Chunyan & Ding Qiang & Dai Hongbin 2020. Efficacy and safety of atropine to control myopia progression: a systematic review and meta-analysis. *BMC Ophthalmology* 20 (478). <<https://bmcophthalmol.biomedcentral.com/articles/10.1186/s12886-020-01746-w#citeas>>. Viitattu 3.9.2023.