

Riitu Kerola & Marika Raiski

SINISEN VALON VAIKUTUKSET SILMÄÄN

Systemaattinen kirjallisuuskatsaus

SINISEN VALON VAIKUTUKSET SILMÄÄN

Systemaattinen kirjallisuuskatsaus

Riitu Kerola
Marika Raiski
Opinnäytetyö
Syksy 2015
Optometria
Oulun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu
Optometria

Tekijät: Riitu Kerola ja Marika Raiski

Opinnäytetyön nimi: Sinisen valon vaikutukset silmään – systemaattinen kirjallisuuskatsaus

Työn ohjaajat: Aino-Liisa Jussila ja Stefan Diekhoff

Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: Syksy 2015

Sivumäärä: 50

Tutkimus sinisen valon silmiin kohdistuvista vaikutuksista on käynyt viime vuosina kiivaana. Aihetta on käsitelty niin sanomalehdissä kuin asiantuntija-artikkeleissakin, ja tutkimusta on tehty ympäri maailman runsaasti.

Tämän tutkimuksen tarkoituksena oli koota ajantasainen tieto näkyvän valon sinisen aallonpituuden (400-500 nm) vaikutuksista ihmissilmään ja sen kudoksiin. Tätä sinistä valoa säteilee niin auringosta kuin keinotekoisista valonlähteistäkin. Tarkoituksena oli varsinaisten haittojen lisäksi selvittää eri tutkimuksissa käytettyjä tutkimusmenetelmiä. Tavoitteena oli kerätä ja yhdistää tieto yhteen katsaukseen, jotta aiheesta kiinnostunut voi saada kattavan kuvan aiheesta tehdystä tutkimuksesta.

Kirjallisuuskatsaukselle määriteltiin etukäteen hakustrategia ja hakusanat, joilla tietokantahakuja tehtiin. Näillä hauilla löytyi viidestä tietokannasta yhteensä 523 hakutulosta. Karsintaprosessin päätteeksi näistä tutkimuksista kahdeksan jäi varsinaiseen katsaukseen. Tutkimukset analysoitiin käyttäen sovellettua teorialähteistä sisällönanalyysiä, ja aineisto luokiteltiin käytetyn valon aallonpituuden, tehotiheyden, tutkimustavan ja tutkimuskohteen mukaan. Tutkimuksissa oli keskitytty erityisesti sinisen LED-valon vaikutuksiin.

Katsaukseen valikoitujen tutkimusten mukaan tehotiheydeltään suuri määrä sinistä valoa on haitallista silmän verkkokalvolle aiheuttaen erityisesti solukuolemia. Myös pitkäkestoinen säteilylle altistuminen aiheuttaa samanlaisia muutoksia kudoksissa. Suuressa osassa tutkimuksia aihetta käsiteltiin silmänpohjan ikärappeuman näkökulmasta, lisäksi yhdessä tutkimuksessa tutkittiin sinisen valon aallonpituudelle altistumista syöpäsolujen lisääntymisen kannalta. Lähes kaikki tutkimukset oli tehty koe-eläimillä, joten tutkimustulosten vastaavuus ihmissilmässä on kyseenalaista.

Siniseen valoon kohdistuva tutkimus tulee jatkumaan myös tulevaisuudessa, ja tieto sen vaikutuksista ihmissilmään tulee lisääntymään. Nykyaikaiset valonlähteet asettavat jatkuvasti uusia haasteita niin tekniikan kuin lääketieteenkin kannalta. Tutkimuksen edetessä myös katsauksen päivittäminen tulee ajankohtaiseksi muutaman vuoden kuluessa.

Asiasanat: kirjallisuuskatsaus, sininen, valo, silmät, verkkokalvo, altistuminen

ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences
Optometry

Authors: Riitu Kerola and Marika Raiski

Title of thesis: Effects of the Blue Light in the Eye – Systematic Review

Supervisors: Aino-Liisa Jussila and Stefan Diekhoff

Term and year when the thesis was submitted: Autumn 2015 Number of pages: 50

Blue light hazard is a phenomenon that is caused by light sources radiating blue light. A part of this blue light can reach human retina and cause mutations in tissues. Lately, this topic has gained increasing attention among researchers and public. Articles about the blue light hazard have been published in scientific magazines as well as in newspapers. In this thesis systematic review was selected for research method due to lack of such reviews published in the field of optometry. Many studies about the effects of blue light concerning the eye and its tissues have been done in past years and the research is still going on. In this thesis the latest research reports of the effects of blue light to the eye are collected in Finnish.

The whole visible spectrum of light is radiated from the sun. Blue light is defined as a part of visible spectrum with wavelengths ranging from 400 nm to 500 nm. Blue light that reaches the retina can also be radiated from artificial light sources. Especially LED light sources have been under investigation among many researches. This systematic review was done to find the latest research methods and results about the effects that blue light causes to eye and its tissues. First the strategy for information search was done and keywords were selected. Also the research questions for the review were generated carefully based on our own interests. Overall 523 research articles were found and eight of them were selected for the systematic review. By using applied theoretical content analysis selected research articles were analyzed. Data was categorized by blue light wavelength, blue light irradiance, research method and research subject.

Outcome in all selected research articles was that blue light with great intensity or long-term exposure time is toxic to eye and can lead to cell death in retina. Age-related macular degeneration was motivating researchers to investigate blue light effect in most articles. Nearly all of the researches were done by using laboratory animals therefore the results cannot be directly compared to human eye. Because the research on this subject is still going on, the review should be updated in a couple of years.

Keywords: review, blue, light, eyes, retina, exposure

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	6
2	NÄKEMINEN JA SILMÄN ANATOMIA	7
2.1	Etuosan rakenteet	8
2.2	Takaosan rakenteet.....	9
3	NÄKYVÄ VALO JA VALONLÄHTEET	12
3.1	Valon luonne	12
3.2	Ympäristön valonlähteet.....	14
4	VALOSÄTEILYN VAIKUTUKSET IHMISEEN.....	17
5	TYÖN TARKOITUS, TAVOITTEET JA TUTKIMUSKYSYMYKSET.....	19
6	TUTKIMUSMETODOLOGIA.....	20
7	KIRJALLISUUSKATSAUKSEN SUORITTAMINEN.....	22
7.1	Käytetty hakustrategia.....	22
7.2	Tutkimusten haku- ja valintaprosessi.....	24
7.3	Yhteenveto hakutuloksista.....	28
8	TULOKSET.....	31
8.1	Katsaukseen valitut tutkimukset	31
8.2	Aineiston analysointi ja laadun arviointi	32
8.3	Tulosten yhteenveto	33
8.3.1	Sinisen valon vaikutusten tutkiminen	38
8.3.2	Sinisen valon vaikutus silmään	39
9	POHDINTA	41
9.1	Katsauksen reliabiliteetti.....	41
9.2	Tulosten tarkastelu ja johtopäätökset	41
9.3	Omat oppimiskokemukset	43
9.4	Jatkotutkimusehdotukset.....	43
	LÄHTEET.....	45

1 JOHDANTO

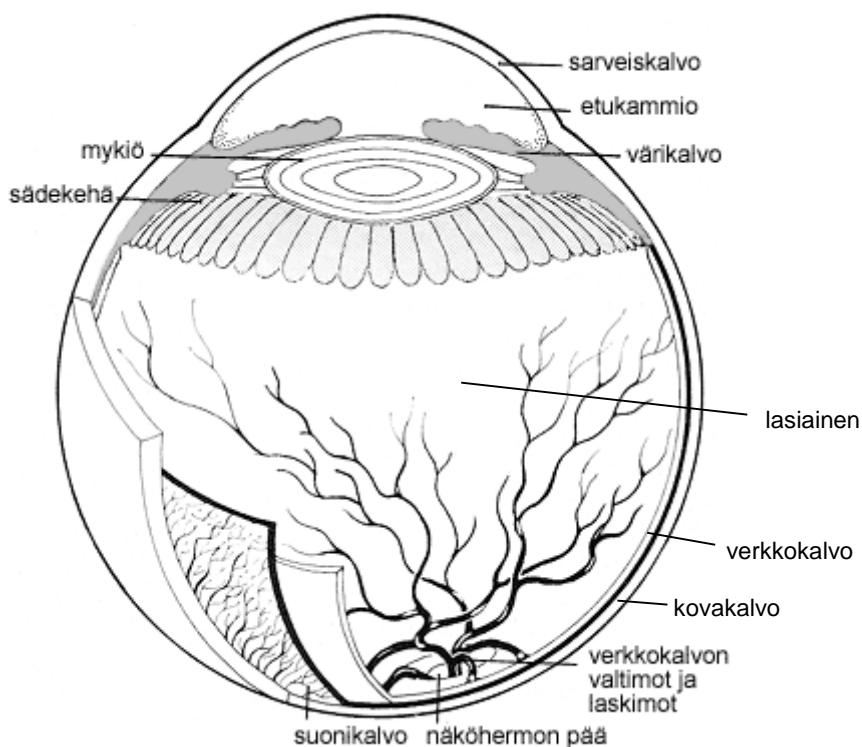
Aurinko ja keinotekoiset valonlähteet tuottavat jatkuvasti valoa ympärillemme, valon määrä ja laatu vaikuttavat esimerkiksi ihmisen vireystilaan. Valon aallonpituusalueen lyhytaaltoista siniviolettiä valoa ja sen vaikutuksia ihmiseen on tutkittu viimeaikoina ilmeisen paljon, ja erilaisia artikkeleita aiheesta on julkaistu sekä tiede- että sanomalehdissä (Sotty 2013, 39). Sekä työpäivät että vapaa-aika vietetään tänä päivänä erilaisten laitteiden ääressä, joiden näytöt on usein valmistettu LED-tekniikalla, jonka vuoksi altistumme nykyään Wallacen (2014, viitattu 21.4.2015) mukaan entistä enemmän näkyvän valon sinivioletille aallonpituudelle. Toisaalta myös auringon valo sisältää saman aallonpituusalueen valoa, joten altistumme siniselle valolle ilman keinotekoisia valonlähteitäkin.

Sinisen valon vaikutuksia silmän eri osiin on tutkittu paljon myös aikaisemmin, sillä keinomykiöillä on pyritty suodattamaan tätä aallonpituusaluetta jo aiemmin (Edwards & Gibson 2010, 390–399). Vaikka tutkimustulokset kyseisen aallonpituusalueen haitallisuudesta ovat edelleen joiltain osin riitittäisiäkin, ovat ne silti aiheuttaneet huolta tutkijoiden ja yleisön keskuudessa (Wallace 2014, viitattu 21.4.2015; Kallionpää 2015, viitattu 17.2.2015). Useat linssivalmistajat ovat reagoineet niihin tutkimustuloksiin, joiden mukaan tietty sinisen valon aallonpituus on haitallista silmälle. Tämän seurauksena linssivalmistajat ovat kehittäneet pinnoitteita ja materiaaleja, jotka valmistajien mukaan suodattavat tätä haitallista aallonpituusaluetta. Näitä linssien lisäominaisuuksia markkinoidaan esimerkiksi sillä, että ne hidastavat silmänpohjan ikärappeuman ja kaihin etenemistä, ehkäisevät unetomuutta ja parantavat kontrastia. (Essilor 2015, viitattu 21.4.2015; Hoya 2015, viitattu 21.4.2015; Piiloset 2015, viitattu 8.9.2015.)

Tämän kirjallisuuskatsauksen tarkoituksena on koota tietoa tutkimuksista, jotka käsittelevät sinisen valon vaikutuksia silmään. Tutkijoina halusimme löytää mahdollisimman paljon eri näkökulmia ja tutkimustuloksia saadaksemme kattavan kokonaiskäsityksen aiheesta. Hypoteesina yleisesti on se, että sininen valo on haitallista silmälle, mutta tämän katsauksen avulla lukija voi muodostaa oman käsityksensä tästä hypoteesista ja sinisen valon vaikutuksia käsittelevän tutkimuksen tuloksista. Aiheesta ei ole tiettävästi tehty suomenkielistä kirjallisuuskatsausta aiemmin. Kirjallisuuskatsaus syventää optometrian tutkinto-ohjelman opintosuunnitelman sisältöjä lähinnä verkkokalvon anatomian ja fysiologian sekä valon ominaisuuksien ja vaikutusten osalta.

2 NÄKEMINEN JA SILMÄN ANATOMIA

Näköjärjestelmään kuuluvat silmät, näkörata ja aivot. Näiden lisäksi näkemiseen tarvitaan silmään tuleva valoenergia, joten täysin pimeässä ei nähdä mitään. Valonsäteiden tullessa silmään ne taittuvat silmän taittavissa väliaineissa. Tämän jälkeen silmänpohjan aistinsoluissa tapahtuvan fotokemiallisen reaktion kautta impulssit johtuvat näkörataa pitkin aivoihin. Aivoissa impulssit suuntautuvat kuorikerrokseen, ja erityisesti takaraivolohkon näkökeskukseen. (Aarnisalo & Saari 2011, 38.)



KUVIO 1. Silmän rakenne (mukaillen Hyvärinen 2015, viitattu 29.4.2015)

Silmä on näköjärjestelmän osa, joka välittää näköhavainnon silmän rakenteiden kautta verkkokalvolle ja siitä edelleen näköhermoa pitkin näköaivokuorelle. Näkötapauksessa silmän etu- ja takaosat toimivat yhteistyössä. Etuosan rakenteisiin kuuluvat sarveiskalvo, etukammio, värikalvo, sädekehä, takakammio, mykiö ja mykiön ripustinsäikeet, takaosan rakenteisiin kovakalvo, suonikalvo, verkkokalvo ja lasiainen sekä näköhermo (kuvio 1). Silmän apuelimet eli silmäluomet, sidekalvo ja kyynelelimet avustavat näkötapauksessa muun muassa suojaamalla silmää ulkoisilta ärsykkeiltä ja varmistamalla sen häiriöttömän toiminnan. (Kivelä 2011, 12.)

2.1 Etuosan rakenteet

Kuvan muodostava valonsäde kulkee sarveiskalvon lävitse, ja sen jälkeen taittuu sekä sarveiskalvolla että linssissä ennen kuvan tarkentumista verkkokalvolle (Atchison & Smith 2000, 4). Näistä taittavista pinnoista sarveiskalvo taittaa valoa voimakkaimmin; noin kaksi kolmasosaa rentoutuneen silmän kokonaistaittovoimasta on sarveiskalvossa (Atchison & Smith 2000, 11).

Sarveiskalvo muodostuu useasta kerroksesta. Uloimmasta sisimpään nämä ovat epiteeli, Bowmannin kalvo, strooma, Descemetin kalvo ja endoteeli. Näistä paksuin kerros on strooma, joka on noin 90 % koko sarveiskalvon paksuudesta ja muodostuu kollageenisäikeistä. Kollageenisäikeet muodostavat kerroksen, joka on sekä läpinäkyvä että mekaanisesti kestävä. Sarveiskalvon jokaisella kerroksella on oma taitekertoimensa. Koska strooma on kuitenkin kerroksista selvästi paksuin, on sen taitekerroin myös hallitseva. Sarveiskalvon taitekertoimen keskiarvona pidetään yleensä arvoa 1,376. (Atchison & Smith 2000, 11–12.)

Sarveiskalvo ja linssi ovat silmän eniten valoa taittavat rakenteet, ja linssin taittovoima voi muuttua silmän tarkentaessa eli akkommodoidessa eri etäisyyksillä oleviin kohteisiin (Atchison & Smith 2000, 4). Linssi muodostuu kapselissa olevasta solukosta, ja se kasvaa koko ihmiselämän ajan uusien epiteelisolujen muodostuessa. Akkommodaation yhteydessä sädekehä-lihas supistuu, ja saa linssiä tukevat ripustinsäikeet rentoutumaan. Tämän seurauksena linssistä tulee pyöreämpi ja taittovoima kasvaa, keskusta paksuuntuu ja pintojen kaarevuudet pienenevät. Silmän tarkentaessa läheltä kauempana oleviin kohteisiin tapahtuu päinvastainen tapahtumaketju. Linssin koon muutoksille on fyysiset rajoitteet, jonka vuoksi tarkka näkeminen kaikille etäisyyksille ei ole mahdollista. Lähi- ja kaukopiste ovat sädelihaksen toiminnan ja linssin koon muuttumisen ääripisteet. Näille etäisyyksille lähimmillään ja kauimmillaan näkeminen on tarkkaa. (Atchison & Smith 2000, 18–19.)

Liikkuva ja rengasmainen värikalvo erottaa etukammion takakammioista. Värikalvo säätelee silmään pääsevän valon määrää, ja se myös estää valon heijastumisen silmän sisällä. Tyvestään värikalvo on kiinnittynyt sädekehään, ja sen keskelle jäävää aukkoa kutsutaan mustuaiseksi eli pupilliksi. Värikalvo jaetaan kahteen kerrokseen, stroomaan ja epiteeliin. Strooma antaa silmälle sen värin, ja se koostuu löyhästä sidekudoksesta. Strooman takaosassa sijaitsee rengasmainen mustuaisen kurojalihaksen, joka säätelee pupilliaukkoa. Epiteeli muodostuu kahdesta kerroksesta. Etummaisesta kerroksen solut toimivat myös sileinä lihassoluina ja muodostavat pupillia hämärässä

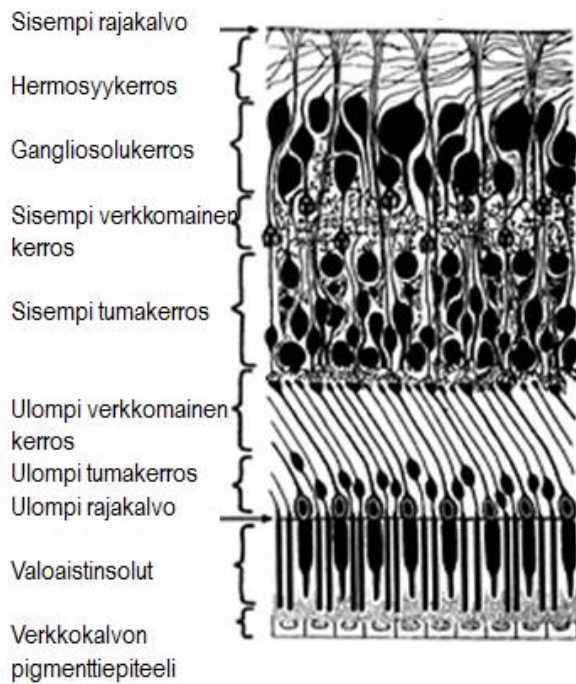
suurentavan mustuaisen laajentajalihaksen. Takimmaisen kerroksen voimakkaasti pigmentoidut solut estävät valon heijastumista silmän sisällä. (Kivelä 2011, 19–20.)

Mykiö on silmän etuosassa värikalvon takana oleva kaksoiskupera ja läpinäkyvä linssi, jonka taittovoima aikuisen silmässä on noin 18 dioptriaa, eli noin kolmannes koko silmän taittovoimasta. Nuoren henkilön mykiö on kimmoisa ja kirkas, iän myötä se muuttuu kellertäväksi ja myöhemmin harmahtavaksi tai ruskehtavaksi. Mykiötä pitävät paikallaan hennot takakammion kautta kulkevat ripustinsäikeet, ja myös mykiön takana oleva lasiainen omalta osaltaan tukee sitä. Rakenteeltaan mykiö on kerroksellinen. Mykiö on verisuoneton ja saa ravinnon ja hapen kammiovedestä. (Kivelä 2011, 22–23.)

2.2 Takaosan rakenteet

Kerrosta, jossa kuva muodostetaan, kutsutaan verkkokalvoksi, ja se koostuu ulommasta pigmenttikerroksesta ja sisemmästä sensorisesta kerroksesta (Lemp & Snell 1998, 175). Verkkokalvon keskiosaa (halkaisijaltaan noin 5 mm) kutsutaan makula-alueeksi, jota vastaa noin 16° suuruinen alue näkökentän keskiosassa. Makulan keskiosassa on soikea verkkokalvon keskikuoppa eli fovea centralis (halkaisijaltaan noin 1,5 mm). Verkkokalvon keskikuoppa erottuu oftalmoskoopilla fovean kirkkaan reunaheijasteen rajaamana. (Immonen, Kivelä & Saari 2011, 232.)

Sensorinen retina voidaan jakaa histologisesti yhdeksään kerrokseen, joita ovat lasiaistilasta skleeraan lueteltuina sisempi rajakalvo, hermosyykerros, gangliosolukerros, sisempi verkkomainen kerros, sisempi tumakerros, ulompi verkkomainen kerros, ulompi tumakerros, ulompi rajakalvo ja valoistinsolut. Valoistinsolut eli tappi- ja sauvasolut ulottuvat usean verkkokalvokerroksen alueelle. Verkkokalvon kerrokset on esitetty kuviossa 2. (Immonen, Kivelä & Saari 2011, 232.)



KUVIO 2. Verkkokalvon kerrokset (mukaillen *Atlas of Ophthalmology* 2014, viitattu 21.5.2015)

Reseptorisoluja on kahta eri tyyppiä; sauva- ja tappisoluja, jotka toimivat eri valo-olosuhteissa. Sauvasolun suonikalvoa kohden oleva uloke, johon valon vaikutus kohdistuu, on muodoltaan sauvamainen, tappisolun puolestaan leveämpi tappi. Sauvasolut ovat toiminnassa hämärässä, ja niitä on yhdessä silmässä yli 100 miljoonaa. Tappisolut eivät toimi hämärissä olosuhteissa lainkaan, mutta ne ovat edellytys värien näkemiselle. Tappisoluja yhdessä silmässä on yli viisi miljoonaa. (Rabbetts 1998, 12; Hakkarainen, Hervonen, Hiltunen, Holmberg, Hotakainen, Hänninen, Kaikkonen, Karrasch, Kauranen, Kiviniitty, Koskelo, Laaksonen, Lappalainen, Leppäluoto, Lindblom-Yläne, Litmanen, Markkula, Nienstedt, Niku, Oivanen, Pasternack, Perkiö, Polo, Pyörälä, Pösö & Wähälä 2010, 267–268.)

Fotoreseptorisolujen valoherkät osat sijaitsevat verkkokalvon rakenteessa pohjimmaisina. Poikkeuksena tähän on verkkokalvon keskikuoppa eli fovea centralis, jonka rakenteessa muut kerrokset ovat suuntautuneet sivuille mahdollistaen valon esteettömän kulun. Kaikkein tarkimman näkemisen alueella on ainoastaan tappisoluja, eikä lainkaan verisuonia tai sauvasoluja haittaamassa tarkkaa näkemistä. Verkkokalvon kohtaa, johon näköhermo on kiinnittynyt, kutsutaan näköhermon nystyksi. Tässä kohdassa ei ole lainkaan fotoreseptorisoluja, joten silmällä katsellessa tällä kohdalla havaitaan niin sanottu sokea piste. Binokulaarisesti molemmilla silmillä katseltaessa näitä sokeita pisteitä ei havaita, sillä sokeat pisteet ovat oikeassa ja vasemmassa silmässä eri kohdilla,

ja toinen silmä täydentää toisen silmän sokean pisteen jättämän sokean alueen ja päinvastoin. (Rabbetts 1998, 12; Hakkarainen ym. 2010, 267–268.)

Verkkokalvon tappisoluiista valtaosa on makula-alueella. Ulompi rajakalvo muodostuu Müllerin soluista ja valoastinsolujen välisistä liitoksista. Ulomman jyväiskerroksen muodostavat valoastinsolujen tumat. Uloimmassa verkkomaisessa kerroksessa sijaitsevat aistinsolujen, bipolaarisolujen ja horisontaalisolujen liittymäkohdat. Sisemmässä verkkomaisessa kerroksessa sijaitsevat gangliosolujen ja sisemmän jyväiskerroksen solujen liittymäkohdat, ja gangliosolukerroksessa gangliosolujen (näköradan toiset neuronit) ja astrosyyttien tumat. Gangliosolujen aksonit kulkevat hermosyikerroksessa, jonka sisäpuolella oleva sisempi rajakalvo koostuu Müllerin solujen päätelevyistä. (Immonen, Kivelä & Saari 2011, 234–235.)

Verkkokalvon pigmenttiepiteeli koostuu yhdestä kerroksesta soluja, jotka levittäytyvät näköhermon reunalta eteenpäin kohti sahalaitaa, jossa verkkokalvon sensorinen osa päättyy. Pigmenttiepiteelikerroksen solut ovat muodoltaan kuusikulmaisia, ja ne ovat suoraan tyvikalvon päällä. Pigmenttiepiteelikerroksen ja suonikalvon välissä on Bruchin kalvo. Pigmenttiepiteelin solujen tehtäviin kuuluvat muun muassa valon absorboiminen sekä rodopsiinin ja jodopsiinin tuottaminen A-vitamiinia säilömällä ja vapauttamalla. Valon absorboiminen estää valon palaamisen verkkokalvon fotoreseptorikerrokselle, ja näin parantaa nähdyn kuvan laatua. (Lemp & Snell 1998, 177–180, 187–188.) Sauva- ja tappisolujen uloimmat segmentit uusiutuvat jatkuvasti pigmenttiepiteelikerroksen fagosytoivan vaikutuksen vuoksi (Saari 2001, 231).

Lasiainen on silmän verkkokalvon ja mykiön välissä sijaitseva hyytelömäinen kudosis, joka täyttää neljä viidesosaa silmän tilavuudesta. Lasiaisen tehtävä on silmänsisäisten kudosten (mykiön ja verkkokalvon) tukeminen ja ravitseminen. Se ylläpitää osaltaan silmän normaalia painetta ja muotoa ja taittaa valonsäteet verkkokalvolle. Yli 99 % lasiaisesta on nestettä, ja lisäksi lasiaisessa on pieni määrä soluja, hyalosyyttejä. Iän myötä lasiainen voi rappeutua, ja tämän seurauksena verkkokalvo voi repeytyä. (Kivelä 2011, 23.)

3 NÄKYVÄ VALO JA VALONLÄHTEET

3.1 Valon luonne

Valo on ei-ionisoivaa sähkömagneettista säteilyä, jota syntyy luonnollisesti auringon lämpödynaamissa tai keinotekoisesti esimerkiksi kynttilässä (Jalie, 2003, 88). Se on energian siirtymistä aaltoliikkeenä, jossa sähkö- ja magneettikenttä värähtelevät kohtisuorassa toisiaan ja säteilyn etenemissuuntaa vastaan (Aarnisalo & Saari 2011, 38–39). Koko sähkömagneettinen säteily voidaan jakaa alueisiin esimerkiksi aallonpituuden mukaan. Optiseen spektriin lasketaan kuuluvaksi ultraviolettisäteily, näkyvä valo ja infrapunäsäteily (Kleinstein & Pitts 1993, 88–89). Aallonpituusalue, jolloin puhutaan näkyvästä valosta, ulottuu lähteestä riippuen noin 380-400 nanometristä 730-780 nanometriin (Jalie 2003, 88; Hakkarainen ym. 2010, 262; Aarnisalo & Saari 2011, 38–39). Näkyvän valon spektri on esitetty kuviossa 3. Siitä voidaan nähdä, kuinka eri aallonpituudet näkyvät eri värisävyinä.



KUVIO 3. Näkyvän valon spektri (Raiski 2015)

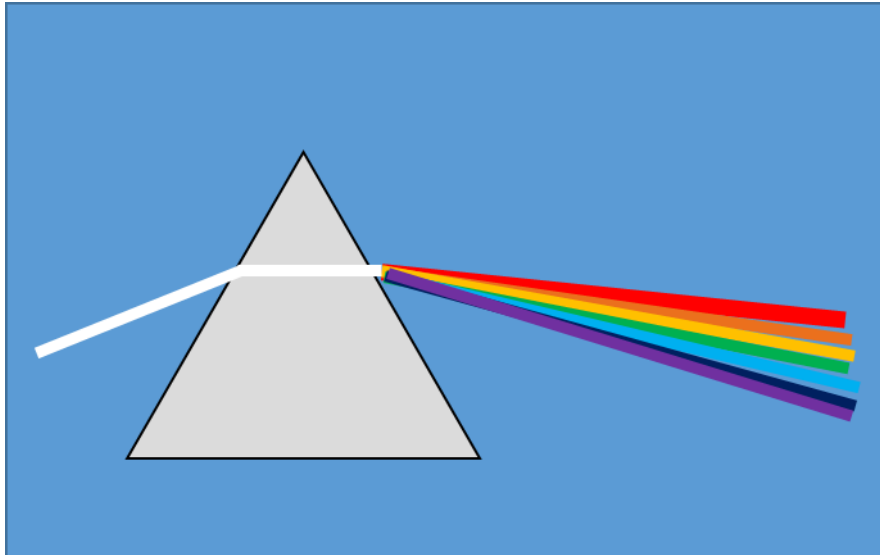
Valolla on sekä aalto- että hiukkasluonne. Valon aaltoluonne selittää muun muassa sen, että valo noudattaa taittumislakia taittuessaan esimerkiksi silmän sarveiskalvolla ja linssin kaarevissa pinoissa. Aaltoluonne selittää myös polarisaatioilmiöiden toiminnan. Hiukkasluonne puolestaan selittää valoenergian absorboitumisen verkkokalvoon ja sitä seuraavat kemialliset muutokset. (Hakkarainen ym. 2010, 262.)

Tässä työssä näkyvästä valosta puhuttaessa käytämme aallonpituusaluetta 380-780 nm. Näkyvä valo vastaa sitä osaa sähkömagneettisesta säteilystä, joka absorboituu verkkokalvon fotoreseptorisolujen (tapit ja sauvat) pigmenttiin, saa aikaan hermoimpulssin ja aivoihin välittyessään johtaa näköaistimukseen. Näkyvän valon aallonpituusaluetta ympäröiviä sähkömagneettisen säteilyn aallonpituusalueita eli optisen spektrin osia ovat ultraviolettisäteily (noin 100-380 nm), jota käytetään

esimerkiksi refraktiivisessa kirurgiassa (excimer-laser, 192 nm), ja lämpö- eli infrapunasäteily (780 nm-1 mm). (Aarnisalo & Saari 2011, 38–39.)

Valoa, jonka spektri kattaa kaikki värisävyt, sanotaan valkoiseksi valoksi. Valkoisen valon eri värisävyjä voidaan erotella ja mitata värilämpötilan avulla. Värilämpötila ilmoitetaan Kelvin-asteikolla, mutta yleisimmin puhutaan kylmän tai lämpimän sävyesestä valosta. Esimerkiksi punainen valo on värilämpötilaltaan (1800 K) matalampaa kuin sininen (16000 K). Päivänvalo on värisävyltään valkoista ja se sisältää melko tasaisesti kaikkia näkyvän valon aallonpituuksia. Keinovaloilla saadaan aikaan valkoista valoa, mutta sen spektri ei ole tasainen koko aallonpituusalueen yli. Joitakin värejä on enemmän kuin toisia ja jotkut värisävyt voivat puuttua kokonaan. (Rihlama 1997, 19–23.)

Sininen valo on aallonpituudeltaan lyhyempää kuin esimerkiksi punainen, joten se taittuu ja siroaa enemmän kuin pidemmän aallonpituuden värit (kuvio 4). Mitä lyhyempi aallonpituus on, sitä suurempi säteilyn taajuus ja energia on (Geller 2014, viitattu 22.2.1015). Täten sinisen valon energia on suurempi kuin punaisen valon. Sininen valo aiheuttaa silmässä eniten sirotessaan häikäisyä. (Meslin 2010, 45.)



KUVIO 4. Valon taittuminen prismassa (Raiki 2015)

Kun valonsäde kohtaa jonkin pinnan, se joko imeytyy siihen (absorboituu) tai jatkaa kulkuaan. Kulkuaan jatkavat valonsäteet taas voivat heijastua pinnalta tai läpäistä pinnan tai ne voivat sekä absorboitua ja läpäistä pinnan. Pinnan läpi kulkevat valon säteet taittuvat väliaineessa. Taittuminen

tapahtuu kohti pinnan normaalia, kun valonsäde kulkee optisesti tiheämpään aineeseen. Optisesti tiheämmällä aineella on suurempi taitekerroin (n). Linssin taitekerroin kertoo sen, miten kyseinen materiaali taittaa valon keltavihreää aluetta. Taitekertoimen määritelmä on valon nopeus tyhjiössä tällä tietyllä aallonpituudella jaettuna valon nopeudella materiaalissa samalla aallonpituudella. (Rihloma 1997, 15–16; Fowler & Petre 2001, 3; Aarnisalo & Saari 2011, 38–39.)

3.2 Ympäristön valonlähteet

Näkyvä valo voidaan jakaa sen mukaan, mistä lähteestä valo tulee. Ympäristömme valo tulee pääosin auringon säteilemänä ja lisäksi keinotekoisista valon lähteistä. Auringon säteilystä johtuva päivänvalo kattaa koko näkyvän valon spektrin. Auringon tuottama valo näyttäytyy maapallolla erilaisena sen mukaan kuinka pitkän matkan se on joutunut kulkemaan ilmakehässä. Keskipäivällä valon kulkema matka on lyhimmillään ja voidaan havaita taivaansini. Aamuisin ja iltaisin auringon valo näyttäytyy punertavana, koska silloin valo on kulkenut pidemmän matkan kuin keskipäivällä. Päivänvalon määrään ja laatuun vaikuttavat muun muassa ilman kosteus, ilmansaasteiden määrä, pilvikerroksen paksuus sekä auringon sijainti horisonttiin nähden. Kuu heijastaa maapallolle osan auringon valosta, mutta nähtävät kohteet nähdään erivärisinä kuin päivänvalossa. (Rihloma 1997, 8.)

Hehkulamppu on kehitetty 1800-luvun lopulla, joten se on lampputyypeistä vanhin. Hehkulampan langan saa hehkumaan volframilangan läpi johdettu sähkövirta. Kuitenkin vain noin 5 % hehkulampan käyttämästä energiasta tuottaa valoa, sillä suurin osa energiasta muuttuu lämmöksi. Hehkulamput ovat poistumassa käytöstä kokonaan niiden matalan energiatehokkuuden takia. (Motiva 2009, viitattu 27.4.2015.) Hehkulampan valo on lämmintä valkoista valoa, jossa sinisen valon osuus on pienempi kuin muilla valonlähteillä (Geller 2014, viitattu 22.2.1015).

Halogeenilamput kuluttavat noin 30 % vähemmän energiaa kuin hehkulamput, vaikka ne ovat ominaisuuksiltaan hyvin lähellä hehkulamppuja. Vuoden 2016 syksyn jälkeen halogeenilamput poistuvat markkinoilta (Motiva 2009, viitattu 27.4.2015). Halogeenilamppu sisältää vain vähän sinistä aallonpituutta ja on siten lämpimän sävyistä valoa. (Geller 2014, viitattu 22.2.1015.)

Loistelampussa valo syntyy lampun sisällä kaasussa tapahtuvaan sähköpurkauksen avulla. Energiasäästölampussa, eli pienloistelampussa, on sama toimintaperiaate kuin loistelampussa. Energiasäästölamput toimivat parhaiten yleisvalaistuksessa paikoissa, joissa ei tarvita suurta valotehoa. Lisäksi energiasäästölamput kuluttavat noin 75-80 % vähemmän sähköä kuin hehkulamput. (European Commission 2008, viitattu 11.9.2015; Motiva 2009, viitattu 4.5.2015.)

LED on valoa tuottava puolijohdekomponentti, joka koostuu p-n -liitoksesta. Se emittoi valoa, kun siihen johdetaan virtaa. Valitsemalla puolijohdekomponentin materiaali sopivalla energiavyöllä, voidaan LED:in emittoimaa aallonpituutta, eli säteilemää värisävyä, hallita. Nykyään hyvän hyötysuhteen omaavia LED-valaisimia voidaan saavuttaa aallonpituusalueella 365-550 nm ja toisaalta 650 nm alueella. Väliin jää aallonpituusalue, joka sisältää keltavihreän valon. Tämän aallonpituusalueen LED:it ovatkin tutkimuksen kohteena nykyään suuresti. (Juntunen 2014, 15.)

LED-valaisimia on eri sävyisiä, joista kylmemmän sävyiset sisältävät eniten sinistä valoa. Kylmää valkoista valoa tuottavia LED-valaisimia käytetään yleisesti erilaisissa näytöissä (televisio, tietokone, tabletti ja älypuhelin). Joitakin näitä näyttöjä katsotaan hyvinkin läheltä, joten saatu säteily määrä on suurempi kuin vaikka katossa olevan fluoreseini-lampun säteily. (Geller 2014, viitattu 22.2.2015.) LED-valaisimien ongelmana onkin pidetty niiden tuottamaa kylmäsävyisempää valoa kuin mitä hehkulamppu tuottaa. Valkoisia LED-valoja, joiden valo on lämminsävyistä, on kuitenkin nykyään jo hyvin saatavilla. Kylmäsävyisellä valoisella valolla saavutetaan kuitenkin paras valotehokkuus. (Suomen valoteknillinen seura ry 2015, viitattu 29.4.2015.)

Valkoisen valon tuottamiseen LED-valaisimella on käytännössä kaksi keinoa. Ensimmäisenä keino on yhdistää kolmea perusväriä; punaista, vihreää ja sinistä. Tällä RGB (red, green, blue) tekniikalla toteutettu LED on monimutkaisempi ja vaatii ohjausjärjestelmän. Toinen vaihtoehto on käyttää fluoresoivaa materiaalia LED:in päällä, joka levittää sen säteilemän spektrin. (Juntunen 2014, 18.)

Kaikilla edellä mainituilla valonlähteillä on omat ominaisuutensa muun muassa valovoiman ja väri- lämpötilan suhteen. Väri- lämpötiloja vertaamalla voidaan jaotella eri valonlähteet niiden tuottaman valon värisävyyn mukaan. Esimerkkejä valonlähteiden väri- lämpötiloista on esitetty taulukossa 1. Päivän valon väri- lämpötilaan on siis mahdollista päästä loiste- ja LED-lampuilla, joissa tekniikasta riippuen värisävy voi vaihdella enemmän kuin esimerkiksi hehku- tai halogeenilampulla. (Motiva 2009, viitattu 4.5.2015.)

TAULUKKO 1. Esimerkkejä värilämpötiloista (Motiva 2009, viitattu 4.5.2015)

Valon lähde	Värilämpötila
Hehkulamppu	2 700 K
Halogeenilamppu	3 000 K
Pienloistelamppu	2 700-4 000 K
Loistelamppu	2 700-6 500 K
LED-lamppu	3 000-6500 K
Päivänvalo	5 500 K

Kansainvälinen valaistuskomissio CIE (Comission Internationale de l'Eclairage) kehittää väreihin ja valaistukseen liittyviä standardeja. CIE:n päivänvaloa jäljittelevä standardivalaisin D65 on värilämpötilaltaan 6504 K ja se on yleisimmin käytetty valaisin. (CIE 2015, viitattu 20.5.2015.)

4 VALOSÄTEILYN VAIKUTUKSET IHMISEEN

Näkyvä valo ja sen lähellä olevat aallonpituudet vaikuttavat silmän kautta koko kehon toimintaan. Matalamman aallonpituuden säteilyllä on todettu olevan suurempi energia kuin korkeamman aallonpituuden säteilyllä. Ultraviolettisäteily eli UV-säteily on energialtaan voimakkaampaa kuin näkyvän valon säteily. Näkyvän valon lisäksi UV-säteily pääsee osittain silmän eri kerroksiin asti. UV-säteily jaetaan sen fotobiologisten vaikutuksien mukaan UVC (200-290 nm), UVB (290-315 nm) ja UVA (315-380 nm) alueisiin, joista UVC- ja UVB-säteily aiheuttavat pinnallista sarveiskalvon tulehdusta eli lumisokeutta. Auringosta tuleva UVC-säteily absorboituu maan ilmakehään, jolloin käytännössä sitä ei kuitenkaan pääse silmään asti (Aarnisalo & Saari 2011, 38–39). UVB-säteilystä suurin osa absorboituu silmän sarveiskalvoon, osa muihin silmän etuosiin ja mykiöön, ja noin 1 % säteilystä pääsee verkkokalvolle asti. UVB-säteily voi aiheuttaa vaurioita sarveiskalvon epiteelille, stroomaan ja endoteelille ja lisäksi se voi edesauttaa kaihin syntymistä mykiöön. UVA-säteily on aallonpituusalueeltaan lähimpänä näkyvää valoa. Suurin osa UVA-säteilystä absorboituu myös silmän etuosiin ja noin 1-2 % UVA-säteilystä pääsee verkkokalvolle asti. Ultraviolettisäteily vaikuttaa, kuten muukin sähkömagneettinen säteily, kudoksiin vahingoittavasti vasta, kun se on absorboitunut kudoksen molekyyliin. Ultraviolettisäteilyn vaikutusmekanismi on fotokemiallinen (kuten näkötahtumankin) mutta kuitenkin yli 350 nm säteilyn on todettu aiheuttavan lisäksi lämpövaurioita kudoksiin. (Kleinstein & Pitts 1993, 88–89; Walsh 2009, viitattu 8.9.2015.)

Se, kuinka paljon valoa pääsee silmään ja verkkokalvolle asti, riippuu muun muassa pupillin koosta ja säteilyaltistuksen kestosta. Tämän vuoksi on vaikeaa määrittää tarkasti, kuinka tietty säteily vaikuttaa eri henkilöiden silmiin. Säteily voi vaurioittaa kudoksia neljällä eri tavalla. Optomekaaninen vaurio syntyy lyhytkestoisen korkeaenergisien säteilyn vaikutuksesta, joka tuhoaa kudoksen. Lämpömekaaninen vaurio syntyy kun säteilyn altistus kestää hieman kauemmin. Tätä pidempikestoisella ja matalaenergisemmällä säteilyllä saadaan aikaan lämpövaurioita kudoksissa. Fotokemiallisia vaurioita syntyy molekyyliatasolla matalaenergisillä pitkäkestoisilla säteilyaltistuksilla. (Kleinstein & Pitts 1993, 152–181.)

Näkyvän sinisen valon aallonpituusalue on 380-500 nm. Sitä säteilee niin luonnollisista (aurinko) kuin keinotekoisistakin valonlähteistä, kuten LED-valoista. Siniturkoosi valo, 465-495 nm, vaikuttaa terveyteen positiivisesti. Sinivioletin valon, 415-455 nm, on joidenkin lähteiden mukaan havaittu

vahingoittavan ja tuhoavan verkkokalvon pigmenttiepiteelikerroksen soluja. (Sotty 2013, 39.) Terveen positiivisesti vaikuttava siniturkoosia valoa voidaan kutsua myös ”kronobiologiseksi valoksi”, sillä se säätelee ihmisten yksilöllistä vuorokausirytmää. Valo vaikuttaa verkkokalvon melanopsiinia sisältävien gangliosolujen kautta, jotka ovat sekä rakenteeltaan että toiminnaltaan erilaisia, kuin fotoreseptoreina toimivat sauva- ja tappisolut. Kun gangliosolut aktivoituvat sinisen valon vaikutuksesta, ne välittävät hermosignaalin näköhermoa pitkin. Sen sijaan, että signaali vaikuttaisi näkemiseen vaikuttaviin rakenteisiin, se vaikuttaa juuri vuorokausirytmien säätelyyn. (Sotty 2013, 39.)

Viimeaikaisissa tutkimuksissa on osoitettu, että haitalliselle sinivioletille aallonpituudelle altistuminen on yhteydessä ainakin varhaiseen makuladegeneraatioon eli silmänpohjan ikärappeumaan (Sotty 2013, 39). Makuladegeneraatio on yleisin yli 65-vuotiaiden näkövammaisuuden aiheuttaja teollistuneissa maissa, joten sairauden vaikutukset ovat laajat (Summanen 2013, viitattu 14.10.2014). Eräät tutkimukset ovat osoittaneet, että valo vaikuttaa ihmisen hormonituotantoon, sydämen lyöntitiheyteen, valppauteen, unirytmiiin, ruumiinlämpöön ja geenien ilmentymiseen. Sinisen valon aallonpituuksien on havaittu vaikuttavan vuorokausirytmiiin muita valon aallonpituuksia voimakkaammin. (Holzman 2010, A26.)

5 TYÖN TARKOITUS, TAVOITTEET JA TUTKIMUSKYSYMYKSET

Tutkimuksen tarkoituksena on koota tällä hetkellä saatavissa oleva, paras mahdollinen, tieto ja ymmärrys sinisen valon vaikutuksista ihmissilmään. Tarkoituksena on lisäksi selvittää millaisilla tutkimusmenetelmillä aihetta on tutkittu.

Tavoitteena on kerätä ja yhdistää aikaisemmin tuotettua tutkimustietoa valitusta aiheesta yhteen suomenkieliseen korkealaatuiseen katsaukseen. Katsauksen avulla aiheesta kiinnostunut saa kattavan kuvan sinisen valon vaikutuksia käsittelevästä viimeisimmästä tutkimuksesta.

Tutkimuksen tekijöiden kannalta tavoitteena on myös täydentää optometrian tutkinto-ohjelman osaamisprofiilissa mainittuja kehittämis- ja tutkimusosaamisen taitoja. Kirjallisuuskatsauksen tekeminen kehittää ryhmätyötaitoa ja taitoa delegoida ja jakaa tehtäviä työn tekijöiden kesken. Se lisää ymmärrystä tutkimus- ja kehittämistoiminnan merkityksestä oman ja muiden alojen kehittämisessä. Systemaattinen kirjallisuuskatsaus opettaa myös teoreettisen tiedon hankintaa, hallintaa ja tutustuttaa alan uusimpaan tutkimustietoon. Lisäksi tavoitteena on oman ammatillisen tietämyksen lisääminen ja kokemuksen saaminen systemaattisen kirjallisuuskatsauksen tekemisestä, tulosten analyysistä ja raportoinnista.

Tutkimuskysymyksiä määriteltäessä käytetään PICO-formaattia. Termi koostuu sanoista problem of interest (tutkimusongelma) = P, intervention (interventio, toimenpide) = I, comparison (vertailu) = C ja outcomes (lopputulokset) = O. Tutkimuksessamme tutkimusongelma (P) on sininen valo, joka on rajattu aallonpituusalueen mukaan (400-500 nm). Interventiona (I) on vaikutukset, joita sininen valo aiheuttaa eri tutkimusmenetelmien (C) mukaan. Lopputulosmuuttujana (O) käytetään silmää, verkkokalvoa ja silmänpohjaa. (Axelin & Pudas-Tähkä 2007, 46–57.)

PICO-formaatin avulla tutkimuskysymyksiksi muodostuivat seuraavat:

1. Miten sinisen valon vaikutuksia silmään on eri tutkimuksissa tutkittu?
2. Miten sininen valo vaikuttaa silmään tutkimusten mukaan?

6 TUTKIMUSMETODOLOGIA

Tieteellisen tutkimuksen tunnusmerkkejä on muun muassa tiedon julkisuus, joka tarkoittaa, että tieto on kaikkien käytettävissä, luettavissa ja arvioitavissa. Lisäksi tieteellinen tieto tulee raportoida lukuisissa julkaisuissa. Kirjallisuuskatsaus on koottua tietoa, ja se tehdään vastauksena johonkin tutkimuskysymykseen. Kirjallisuuskatsauksen avulla on mahdollista hahmottaa kokonaisuutta olemassa olevista tutkimuksista. Tällöin saadaan kokonais käsitys siitä miten paljon tutkimustietoa on olemassa. (Axelin, Johansson, Stolt & Ääri 2007, 2-9.) Kirjallisuuskatsausta pidetään itsenäisenä tutkimuksena, ja siinä pyritään tutkimuksen virheettömyyteen ja toistettavuuteen (Axelin & Pudas-Tähkä 2007, 46).

Systemaattinen kirjallisuuskatsaus eroaa muista kirjallisuuskatsauksista siten, että sillä on spesifinen tarkoitus ja siinä on tarkka tutkimusten valinta- ja analysointiprosessi. Se on päivitettävä silloin tällöin, sillä katsaus kohdistuu vain tiettyä aikana tehtyihin tutkimuksiin, jolloin uutta tietoa aiheesta voi olla myöhemmin saatavilla. Vain tarkoituksenmukaiset korkealaatuiset tutkimukset voidaan sisällyttää systemaattiseen kirjallisuuskatsaukseen. (Axelin ym. 2007, 2-9.)

Tutkimuskysymykset ovat systemaattisen kirjallisuuskatsauksen lähtökohta. Tutkimuskysymyksiä voi olla yhdestä kolmeen, ja niiden tulee olla mahdollisimman selkeitä. (Axelin ym. 2007, 6.) Tutkimuskysymys voi ratkaista ongelman, tuottaa uutta tutkimusta, lisätä teorian tietoa tai sen avulla voidaan parantaa tai tehostaa toimintaa. Tutkimuskysymyksen avulla voidaan kysyä ilmiöiden välistä yhteyttä silloin, kun aiheesta on saatavilla kohtuullisesti aikaisempaa tutkimustietoa. (Metsämuuronen 2006, 9.)

Systemoidulla kirjallisuuskatsauksella on kolme tavoitetta. Sen pitää kyetä keräämään kattavasti alkuperäistutkimuksia, selvittämään niiden menetelmällinen laatu ja yhdistelemään tuloksia, jotta päästään olemassa olevien tulosten mahdollisimman tehokkaaseen hyödyntämiseen. Kirjallisuuskatsauksen prosessi on kuvattava tarkasti, sillä sen tulee olla toistettavissa. (Metsämuuronen 2006, 16–19.)

Systemoitu kirjallisuuskatsaus aloitetaan aihepiirin rajauksella. Tämän jälkeen on päätettävä käytettävälle alkuperäistutkimuksille asetettavat hyväksymis- ja poissulkukriteerit. Kriteerien avulla voidaan valikoida mukaan mahdollisimman edustava joukko luotettavia tutkimuksia. Kirjallisuushaku

aloitetaan tietokannoista, ja hyväksymiskriteerit täyttävät artikkelit otetaan käyttöön. Tämän jälkeen tarkistetaan artikkeleiden lähdeluettelot, ja niistä valitaan jälleen mukaan hyväksymiskriteerien mukaiset tutkimukset. Kolmannessa vaiheessa käsin haun avulla käydään läpi viitteiden perusteella löytyneitä julkaisusarjoja. Näistä valitaan kolmesta kuuteen tärkeintä julkaisusarjaa, joiden vuosikertoja käydään läpi etukäteen määritettyyn ajankohtaan asti. Viimeisenä vaiheena lähdekirjallisuuden etsimisessä on niin sanotun harmaan kirjallisuuden löytäminen. Harmaalla kirjallisuudella tarkoitetaan epätavallisista lähteistä löytynyttä tietoa. (Metsämuuronen 2006, 16–19.)

7 KIRJALLISUUSKATSAUKSEN SUORITTAMINEN

7.1 Käytetty hakustrategia

Sininen valo ja sen vaikutukset sekä silmien terveyden että vuorokausirytmien kannalta ovat olleet viime aikoina esillä niin tieteellisissä kuin arkisissakin julkaisuissa, kuten sanoma- ja aikakauslehdissä. Tieteellisiä tutkimuksia aiheesta on tehty erityisesti ulkomailla, joten julkaisuja aiheista olemme löytävämme erityisesti kansainvälisistä tietokannoista. Katsauksessa käytettiin suomenkielisiä tietokantoja Melinda ja Medic ja englanninkielisiä tietokantoja Ebsco (Academic Search Elite), ProQuest ja PubMed. Näistä tietokannoista valittiin katsaukseen vain kokotekstin sisältävät hakutulokset. Kaikki artikkelit eivät olleet saatavissa Oulun ammattikorkeakoulun kirjaston kautta, tällöin hyödynnettiin Oulun yliopiston kirjaston tietokantoja.

Hakusanojen valinta aloitettiin aiheeseen tutustumalla ja keskeisiä käsitteitä luetteloiden. Käytettävien hakusanojen ja tietokantojen valinnassa on tehty yhteistyötä Oulun ammattikorkeakoulun sosiaali- ja terveysalan yksikön kirjaston informaatikon kanssa, jonka tapasimme 29.4.2015.

Tiedonhaussa käytettiin hakusanoja, joita on listattu erilaisiin sanastoihin. Käytettäviksi asiasanastoiksi on valittu YSA, eli yleinen suomalainen asiasanasto ja Medical Subject Headings- eli MeSH-asiasanasto. Tiedonhaussa useimmat käytettävät asiasanat (taulukko 2) ovat löydettävissä molemmista käytetyistä asiasanastoista. Niillä sanoilla, joita asiasanastoista ei löydy, voidaan hakea vapaasanahaun avulla. Valituista hakusanoista muodostettiin sekä suomen- että englanninkielisiä hakulausekkeita Boolean logiikkaa käyttäen AND-, OR- ja NOT-lausekkeiden avulla. (Tähtinen 2007, 10-45.)

TAULUKKO 2. Haussa käytettävät hakusanat

Suomenkielinen hakusana	Englanninkielinen hakusana
sininen	blue
valo	light
silmät	eyes
näkö	vision
verkkokalvo	retina
altistuminen	exposure
tutkimustyö	research
vaikutukset	effects, influences

Tietokannasta riippuen hakutermejä voidaan katkaista katkaisumerkillä, joka määräytyy kunkin tietokannan mukaan. Hakutermeinä voidaan käyttää myös fraaseja, jotka kirjoitetaan yleensä kaksoislainausmerkkien sisään. (Tähtinen 2007, 10–45.) Käytettäviä hakulausekkeita voivat olla esimerkiksi ”sininen valo” AND altistuminen ja ”sininen valo” AND tutkimustyö.

Koehakuja teimme jo syksyllä 2014 aloittaessamme opinnäytetyöprosessin, kun tarkoituksenamme oli tehdä samaan aiheeseen liittyvä käyttäjätutkimus. Lisää koehakuja suoritimme keväällä 2015 aiheen muotoutuessa.

Määrittelemällä täsmälliset valinta- ja sisäänottokriteerit tutkimuksille voidaan ehkäistä systemaattisia virheitä (Axelin & Pudas-Tähkä 2007, 48). Tässä katsauksessa rajattiin haettavat tutkimukset viimeisen kymmenen vuoden ajalle, jotta saatu tieto olisi mahdollisimman relevanttia. Tutkitun valon aallonpituus rajattiin spektrin sinisen valon osalle. Emme rajanneet pois mitään tutkimusmenetelmää, joten haetut tutkimukset voivat olla joko elävässä organismissa (in vivo) tai elävän organismin ulkopuolella (in vitro) tehtyjä. Tällä mahdollistettiin toiseen tutkimuskysymykseen tarvittavan tiedon löytyminen.

Katsaukseen valittavien tutkimusten sisäänottokriteereinä ovat:

1. Tutkimusartikkeli on julkaistu vuosina 2005-2015.
2. Tutkimuksessa tutkittu aallonpituus on välillä 400-500 nm.
3. Tutkimusmenetelmä ilmenee tutkimuksesta, ja se voi olla tehty joko in vivo tai in vitro.
4. Tutkimus on joko suomen- tai englanninkielinen.
5. Tutkimusartikkeli on julkaistu tieteellisessä julkaisussa.
6. Tutkimusartikkeli on saatavilla ilman rahallista korvausta.
7. Tutkimus vastaa kirjallisuuskatsauksen tutkimuskysymyksiin.

7.2 Tutkimusten haku- ja valintaprosessi

Haut tehtiin 18.8.–7.9.2015 tietokanta kerrallaan sattumanvaraisessa järjestyksessä. Molemmat tutkijat tekivät haut itsenäisesti ja toisistaan riippumattomasti. Näiden hakutulosten määrä ja hakulausekkeet ovat esillä tutkijakohtaisissa taulukoissa 3 ja 4. Tämän jälkeen molempien tutkijoiden saamia hakutuloksia vertailtiin keskenään.

Vaikka hakutulosten määrä oli suuri, jokainen viitteistä tuli kuitenkin käydä läpi. Hakutulosten läpikäynti aloitettiin otsikoista ja abstrakteista sisäänotto- ja poissulkukriteereiden mukaisesti. Se, että kaksi tutkijaa suorittaa samat haut, lisää katsauksen luotettavuutta. Artikkelit, joiden otsikot eivät vastaa tutkimuskysymykseen, voidaan jättää huomiotta. Toinen karsinta tehtiin abstraktien perusteella toisesta tutkijasta riippumatta ja itsenäisesti. Hakuprosessi dokumentointiin tarkasti eli molemmat tutkijat kirjasivat ylös löydettyjen dokumenttien määrän otsikko-, tiivistelmä- ja koko teksti -vaiheissa. Hakujen edetessä kaikki käytetyt hakulauseet ja niillä saadut hakutulosten määrät kerättiin taulukkoon. Tämän jälkeen keskusteltiin siitä, mitkä artikkelit ja tutkimukset valitaan katsaukseen, ja mitkä jätetään sen ulkopuolelle. Valitut artikkelit hankittiin ja aineisto luettiin huolellisesti läpi. Tässä vaiheessa jokin artikkeli saattoi vielä jäädä katsauksen ulkopuolelle artikkelin osoittautuessa sopimattomaksi. (Axelin & Pudas-Tähkä 2007, 51; Hupli & Salanterä 2003, 21–39.)

TAULUKKO 3. Tutkijan A alkuperäisten hakutulosten määrä tietokannoittain

Tietokanta	Hakulauseke	Hakutuloksia
Melinda	blue AND light AND eye	5
Melinda	silmä AND valo	3
Melinda	valo AND näkö	14
Medic	sininen AND valo	1
Medic	silmä AND valo	1
Medic	blue light AND eyes	0
Medic	blue light AND retina	2
Medic	blue light AND exposure	7
Medic	blue light AND vision	3
Medic	eyes AND vision	2
ProQuest	(blue light) AND eyes AND retina NOT intraocular lenses	16
ProQuest	ab(blue light) AND ab(retina) AND ab(eyes)	1
ProQuest	ab(blue light) AND ab(eyes)	4

PubMed	(blue light) AND eyes AND exposure	69
PubMed	(((((blue light[Title/Abstract] AND eyes) AND retina) AND exposure) NOT intraocular lenses	25
Ebsco	"blue light" AND eyes AND retina NOT intraocular NOT "contact lens"	62
Ebsco	"blue light" AND eyes NOT IOL	105

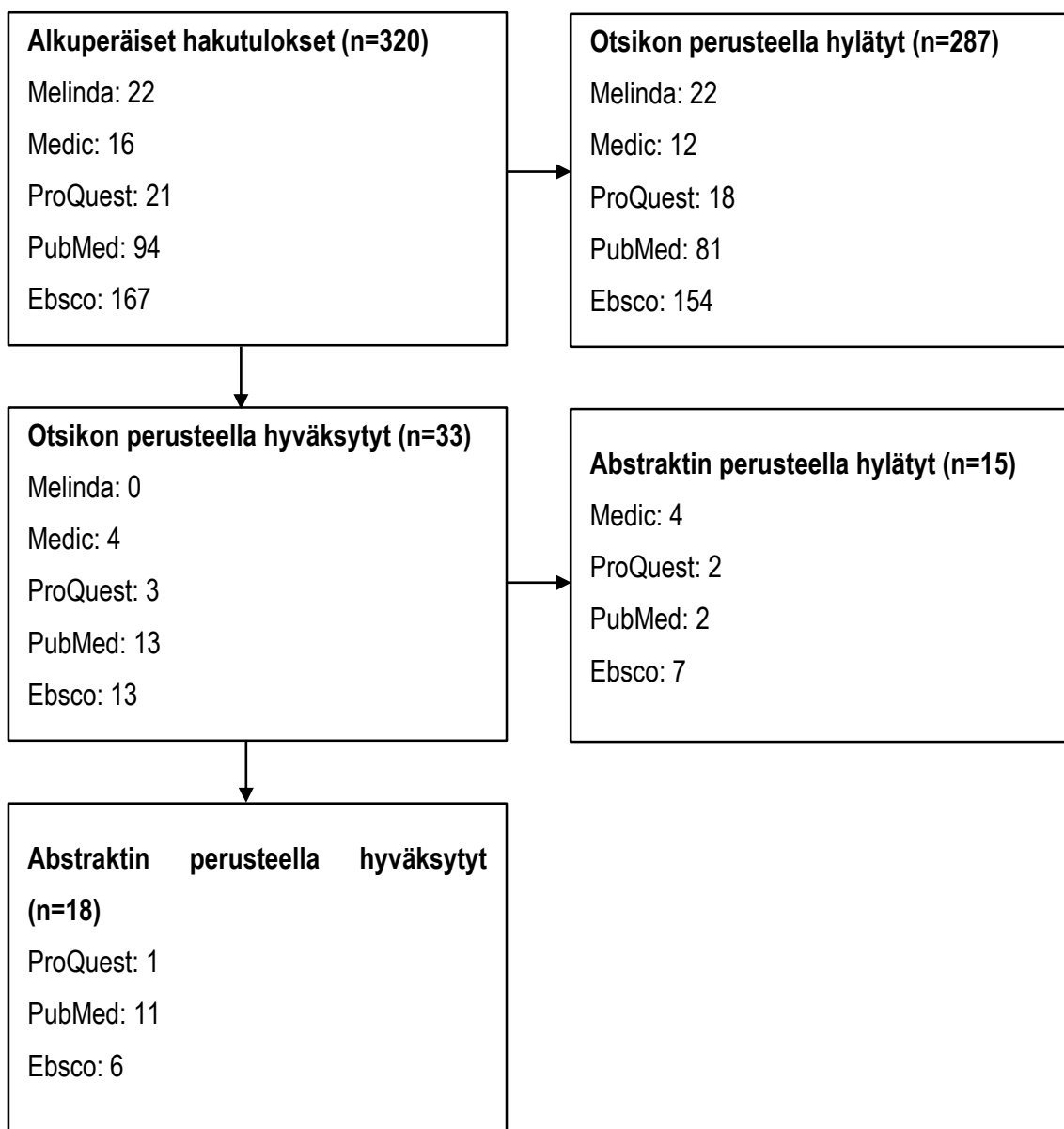
TAULUKKO 4. Tutkijan B alkuperäisten hakutulosten määrä tietokannoittain

Tietokanta	Hakulauseke	Hakutuloksia
Melinda	blue AND light AND eye	5
Melinda	silmä AND valo	3
Melinda	valo AND näkö AND tutkimus	5
Melinda	sininen AND valo	18
Melinda	silmä AND verkkokalvo	5
Medic	blue light AND eye	3
Medic	blue light AND retina	2
Medic	blue light AND exposure	7
Medic	eye AND retina	7
Medic	eye AND vision	7
Medic	silmä AND altistus	2
Medic	sininen AND valo	1
ProQuest	ab(blue light AND retina)	23
ProQuest	blue light AND eye AND research	15
PubMed	blue light AND exposure AND eyes	67
PubMed	blue light[Title/Abstract] AND eyes[Title/Abstract]	45
PubMed	((blue light[Title/Abstract] AND eyes[Title/Abstract]) AND retina exposure	15
Ebsco	(AB)blue light AND (AB)eyes AND (AB)exposure	23

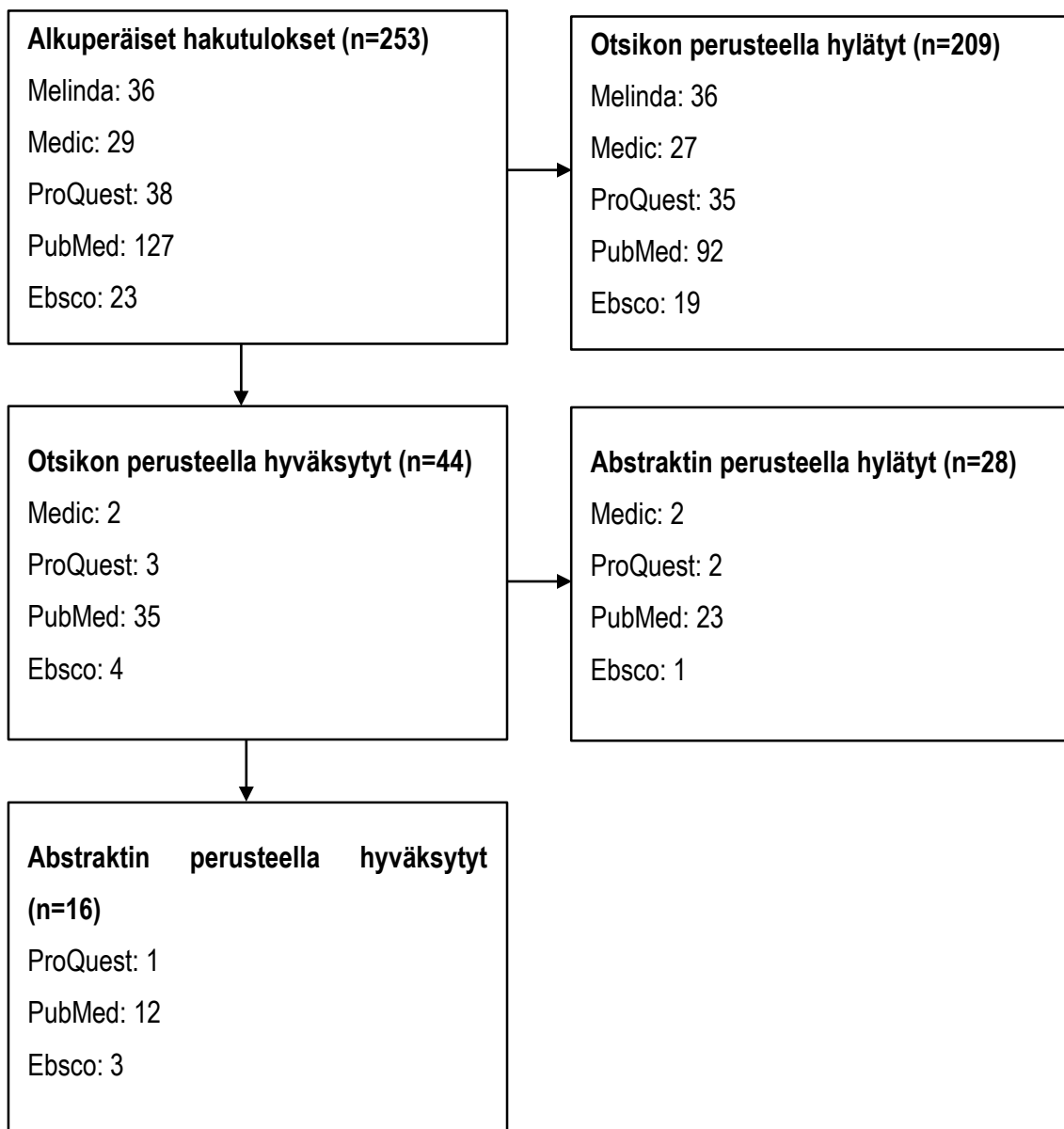
Eri tietokannoissa käytettiin tietokantakohtaisia rajoituksia. Melinda-, Medic-, ProQuest- ja Ebsco-tietokannoissa aikarajauksena käytettiin vuosia 2005-2015. PubMed-tietokannan aikarajauksena oli viimeiset 10 vuotta. Medic-, Ebsco- ja ProQuest-tietokannoissa rajauksena oli lisäksi se, että artikkelin oli oltava kokonaisuudessaan saatavilla, PubMed-tietokannassa rajauksena oli ilmainen koko teksti. Melinda-tietokannassa koko teksti -rajausvaihtoehtoa ei ollut käytettävissä. Melinda-,

Medic- ja ProQuest-tietokannoissa kielirajauksena oli suomi ja englanti, PubMed- ja Ebsco-tietokannoissa pelkkä englanti. Lisäksi joissain hauissa Ebsco- ja ProQuest-tietokannoilla on käytetty hakuhehtona sitä, että hakusanojen on esiinnyttävä joko otsikossa tai abstraktissa. Nämä käyvät ilmi taulukoissa 3 ja 4 olevista hakulausekkeista.

Karsintaprosessi on kuvattu kuvioissa 5 ja 6. Alkuperäisiä hakutuloksia tutkijalla A oli 320, joista otsikon perusteella hylättiin 287. Jäljelle jääneistä 33 hakutuloksesta abstraktin perusteella hylättiin 15. Alkuperäisiä hakutuloksia tutkijalla B oli 253, joista otsikon perusteella hylättiin 209. Jäljelle jääneistä 44 hakutuloksesta abstraktin perusteella hylättiin 28.



KUVIO 5. Tutkijan A tietokantahaut (mukaillen The Joan Briggs Institute 2015, viitattu 15.9.2015)



KUVIO 6. Tutkijan B tietokantahaut (mukaillen The Joan Briggs Institute 2015, viitattu 15.9.2015)

Osa abstraktin perusteella hyväksytyistä hakutuloksista on löytynyt useammalla eri tietokannalla haettaessa, joten abstraktin perusteella hyväksytyjen hakutulosten määrä on suurempi kuin lopullisten hakutulosten määrä. Karsintojen jälkeen jäljelle jäi tutkijalla A 13 ja tutkijalla B 15 lopullista hakutulosta. Koska tarkkoja hakulausekkeita ei ollut määritelty etukäteen tarkasti, vaan molemmat tutkijat muodostivat omat hakunsa ennalta määrättyjen hakusanojen ja sisäänottokriteerien mukaan, on tutkija B löytänyt yhden tutkijan A hakutuloksista puuttuvan artikkelin. Toisen artikkelin puuttuminen tutkijan A hakutuloksista selittyy sillä, että hakutulos on karsiutunut jo otsikon perusteella. Selityksenä tälle on hakijoiden omat tulkinnat hakutuloksista ja niiden sisällöstä. Myös tutkimusartikkeleiden lääketieteellinen teksti on omalta osaltaan vaikuttanut hakutulosten tulkintaan.

Suomenkielisistä tietokannoista Melinda ja Medic emme sisäänottokriteereitä täyttäviä tutkimusartikkeleita löytäneet, vaan kaikki lopulliset hakutulokset löytyivät englanninkielisistä tietokannoista ProQuest, PubMed ja Ebsco.

7.3 Yhteenveto hakutuloksista

Tietokantahakujen jälkeen jäljelle jäi yhteensä 15 lopullista hakutulosta, jotka on taulukoitu taulukoon 5. Tutkimukset on julkaistu vuosina 2006-2015 ja ne ovat kaikki englanninkielisiä.

TAULUKKO 5. Lopulliset hakutulokset lajiteltuina julkaisuvuoden mukaan vanhimmasta uusimpaan

Julkaisuvuosi	Kirjoittajat	Julkaisu	Otsikko
2006	Masaki Tanito, Sachiko Kaidzu & Robert E. Anderson	Experimental Eye Research	Protective effects of soft acrylic yellow filter against blue light-induced retinal damage in rats
2006	Martin Hammer, Sandra Richter, Karl-Heinz Guehrs & Dietrich Schweitzer	Molecular Vision	Retinal pigment epithelium cell damage by A2-E and its photo-derivatives
2007	Farhan H. Zaidi, Joseph T. Hull, Stuart N. Peirson, Katharina Wulff, Daniel Aeschbach, Joshua J. Gooley, George C. Brainard, Kevin Gregory-Evans, Joseph F. Rizzo, Charles A. Czeisler, Russell G. Foster and Steven W. Lockley & Merrick J. Moseley	Current Biology	Short-Wavelength Light Sensitivity of Circadian, Pupillary, and Visual Awareness in Humans Lacking an Outer Retina
2008	Mariana G. Figueiro, Andrew Bierman & Mark S. Rea	Neuroscience Letters	Retinal mechanisms determine the subadditive response to polychromatic light by the human circadian system

2009	Sebastian Di Cesare, Shawn Maloney, Bruno F Fernandes, Claudia Martins, Jean-Claude Marshall, Emilia Anteck, Alexandre N Odashiro, William W Dawson & Miguel N Burnier Jr	Journal of Experimental & Clinical Cancer Research	The effect of blue light exposure in an ocular melanoma animal model
2009	Toshihiko Ueda, Takako Nakanishi-Ueda, Hajime Yasuhara, Ryohei Koide & William W. Dawson	Experimental Eye Research	Eye damage control by reduced blue illumination
2009	Cora Roehlecke, Annette Schaller, Lilla Knels & Richard H.W. Funk	Molecular Vision	The influence of sublethal blue light exposure on human RPE cells
2010	Joshua J Gooley, Shantha M Rajaratnam, George C Brainard, Richard E Kronauer, Charles A Czeisler & Steven W Lockley	Sci Transl Med.	Spectral responses of the human circadian system depend on the irradiance and duration of exposure to light
2011	Cora Roehlecke, Ulrike Schumann, Marius Ader, Lilla Knels & Richard H.W. Funk	Molecular Vision	Influence of blue light on photoreceptors in a live retinal explant system
2011	Felix M. Barker, D. Max Snodderly, Elizabeth J. Johnson, Wolfgang Schalch, Wolfgang Koepcke, Joachim Gerss & Martha Neuringer	Investigative Ophthalmology & Visual Science	Nutritional Manipulation of Primate Retinas, V: Effects of Lutein, Zeaxanthin, and n-3 Fatty Acids on Retinal Sensitivity to Blue-Light-Induced Damage
2013	Emilie Arnault, Coralie Barrau, Céline Nanteau, Pauline Gondouin, Karine Bigot, Françoise Viénot, Emmanuel Gutman, Valérie Fontaine, Thierry Villette, Denis Cohen-Tannoudji, José-Alain Sahel & Serge Piccaud	Plos One	Phototoxic Action Spectrum on a Retinal Pigment Epithelium Model of Age-Related Macular Degeneration Exposed to Sunlight Normalized Conditions

2014	Kenjiro Ogawa, Yoshiki Kuse, Kazuhiro Tsuruma, Saori Kobayashi, Masamitsu Shimazawa & Hideaki Hara	Complementary and Alternative Medicine	Protective effects of bilberry and lingonberry extracts against blue light-emitting diode light-induced retinal photoreceptor cell damage in vitro
2014	Yu-Man Shang, Gen-Shuh Wang, David Sliney, Chang-Hao Yang & Li-Ling Lee	Environmental Health Perspectives	White Light-Emitting Diodes (LEDs) at Domestic Lighting Levels and Retinal Injury in a Rat Model
2014	Yoshiki Kuse, Kenjiro Ogawa, Kazuhiro Tsuruma, Masamitsu Shimazawa & Hideaki Hara	Scientific Reports	Damage of photoreceptor-derived cells in culture induced by light emitting diode-derived blue light
2015	Imene Jaadane, Michèle Savoldelli, Christophe Martinsons, Pierre Boulenguez, Laurent Jonet, Alicia Torriglia, Sabine Chahory, Francine Behar-Cohen & Samuel Carré	Free Radical Biology and Medicine	Retinal damage induced by commercial light emitting diodes (LEDs)

Neljän artikkelin koko teksti ei ollut saatavilla Oulun Ammattikorkeakoulun käytössä olevien tietokantojen kautta, ja nämä artikkelit saadaksemme käyimme Oulun Yliopiston tietokantoja. Koko teksti luettiin 15 artikkelista. Niistä kuusi hylättiin, koska niissä ei suoranaisesti tutkittu sinisen valon haittoja. Tutkimuksissa "Protective effects of soft acrylic yellow filter against blue light-induced retinal damage in rats" ja "Eye damage control by reduced blue illumination" tutkittiin suodattimen suojaavuutta sinistä valoa vastaan verrattuna kirkaaseen suodattimeen. Tutkimukset "Retinal mechanisms determine the subadditive response to polychromatic light by the human circadian system", "Short-Wavelength Light Sensitivity of Circadian, Pupillary, and Visual Awareness in Humans Lacking an Outer Retina" ja "Spectral responses of the human circadian system depend on the irradiance and duration of exposure to light" puolestaan käsittelivät sinisen valon vaikutuksia vuorokausirytmiiin ja melatoniinin tuotantoon. Tutkimuksissa "Nutritional Manipulation of Primate Retinas, V: Effects of Lutein, Zeaxanthin, and n-3 Fatty Acids on Retinal Sensitivity to Blue-Light-Induced Damage" ja "Protective effects of bilberry and lingonberry extracts against blue light-emitting diode light-induced retinal photoreceptor cell damage in vitro" keskityttiin verkkokalvon pigmenttiepeeliä suojaavien aineiden vaikutuksiin siniselle valolle altistuttaessa.

8 TULOKSET

8.1 Katsaukseen valitut tutkimukset

Katsaukseen valikoitui yhteensä kahdeksan tutkimusta, jotka on esitelty taulukossa 6.

TAULUKKO 6. Katsaukseen valitut tutkimukset

Julkaisuvuosi	Kirjoittajat	Julkaisu	Otsikko
2006	Martin Hammer, Sandra Richter, Karl-Heinz Guehrs & Dietrich Schweitzer	Molecular Vision	Retinal pigment epithelium cell damage by A2-E and its photo-derivatives
2009	Sebastian Di Cesare, Shawn Maloney, Bruno F Fernandes, Claudia Martins, Jean-Claude Marshall, Emilia Anteck, Alexandre N Odashiro, William W Dawson & Miguel N Burnier Jr	Journal of Experimental & Clinical Cancer Research	The effect of blue light exposure in an ocular melanoma animal model
2009	Cora Roehlecke, Annette Schaller, Lilla Knels & Richard H.W. Funk	Molecular Vision	The influence of sub-lethal blue light exposure on human RPE cells
2011	Cora Roehlecke, Ulrike Schumann, Marius Ader, Lilla Knels & Richard H.W. Funk	Molecular Vision	Influence of blue light on photoreceptors in a live retinal explant system
2013	Emilie Arnault, Coralie Barrau, Céline Nanteau, Pauline Gondouin, Karine Bigot, Françoise Viénot, Emmanuel Gutman, Valérie Fontaine, Thierry Villette, Denis Cohen-Tannoudji, José-Alain Sahel & Serge Picaud	Plos One	Phototoxic Action Spectrum on a Retinal Pigment Epithelium Model of Age-Related Macular Degeneration Exposed to Sunlight Normalized Conditions

2014	Yu-Man Shang, Gen-Shuh Wang, David Sliney, Chang-Hao Yang & Li-Ling Lee	Environmental Health Perspectives	White Light-Emitting Diodes (LEDs) at Domestic Lighting Levels and Retinal Injury in a Rat Model
2014	Yoshiki Kuse, Kenjiro Ogawa, Kazuhiro Tsuruma, Masamitsu Shimazawa & Hideaki Hara	Scientific Reports	Damage of photoreceptor-derived cells in culture induced by light emitting diode-derived blue light
2015	Imene Jaadane, Michèle Savoldelli, Christophe Martinsons, Pierre Boulenguez, Laurent Jonet, Alicia Torriglia, Sabine Chahory, Francine Behar-Cohen & Samuel Carré	Free Radical Biology and Medicine	Retinal damage induced by commercial light emitting diodes (LEDs)

8.2 Aineiston analysointi ja laadun arviointi

Käytimme katsaukseen valittujen tutkimusten analysoimisessa menetelmänä sovellettua teorialähtöistä sisällönanalyysiä. Analyysimenetelmää käytetään katsauksessa käsiteltävissä tutkimuksissa olevan tiedon kokoamiseen ja tiivistämiseen. Tutkija voi käyttää sisällönanalyysiä luokittelurungon laatimiseen, ja tämän perusteella esittää tiivistyksensä. Sisällönanalyysillä saadut luokat eivät ole kirjallisuuskatsauksen varsinainen tulos vaan apukeino tiivistää ja tarkastella tutkimuksissa olevaa tietoa. Varsinaiset systemaattisen kirjallisuuskatsauksen tulokset alkavat muotoutua, kun luokittelun perusteella tarkastellaan sitä, miten eri tutkimukset tutkimuskysymyksiä käsittelevät. Analyysin ensimmäisessä vaiheessa päätetään se, mikä aineistossa kiinnostaa. Toisessa vaiheessa aineisto käydään läpi, ja siitä poimitaan kiinnostukseen sisältyvät asiat. Nämä asiat kerätään yhteen, ja ne erotetaan muusta aineistosta. Lopuksi aineisto luokitellaan, teemoitetaan tai tyypitellään, ja siitä kirjoitetaan yhteenveto. (Sarajärvi & Tuomi 2009, 91–124.)

Jo aiemmin määritetyt tutkimuskysymykset määräsivät sen, mitä tietoja valituista tutkimuksista etsittiin. Aineiston huolellisen läpikäymisen jälkeen kustakin tutkimusraportista kerättiin tutkimuskysymyksiin liittyvät asiat. Tutkimukset luokiteltiin tutkimusmenetelmän mukaan, eli onko tutkimus tehty in vivo vai in vitro, tutkimuksissa käytetyn valon aallonpituuden ja säteilyn tehotiheyden mukaan sekä tutkimuskohteen mukaan. Näiden perusteella tutkimukset taulukoitiin (taulukko 7) ja

tutkimuksista poimitut tiedot kerättiin yhteen, jonka jälkeen tutkimusten välillä tehtävä vertailu ja tutkimuskysymyksiin vastaaminen oli mahdollista.

Katsaukseen valikoituneiden tutkimusten luotettavuuden arvioinnissa sovelsimme The Joanna Briggs Instituten tutkimusten arviointiin laatimia kriteeristöjä. (The Joanna Briggs Institute 2015, viitattu 15.9.2015.) Lisäksi kaikki tutkimukset on julkaistu tieteellisissä julkaisuissa, joten ne on myös vertaisarvioitu. Myös tietokantojen valinta vaikutti siihen, että katsaukseen valikoitui ainoastaan tieteellisiä tutkimusartikkeleita eikä esimerkiksi sanomalehtiartikkeleita. Nämä tekijät nostavat katsaukseen valittujen tutkimusten laatua ja luotettavuutta. Tutkimusten laadun arviointi tehtiin siinä vaiheessa, kun ne luettiin kokonaisuudessaan läpi. Lukijoina kiinnitimme huomiota muun muassa siihen, miten tulokset on raportoitu ja kuinka hyvin tutkimusmenetelmät ja -vaiheet on kuvattu ja siihen, missä julkaisussa tutkimus on julkaistu. Yksikään valituista kahdeksasta tutkimuksesta ei jäänyt tässä vaiheessa katsauksen ulkopuolelle.

8.3 Tulosten yhteenveto

Tutkimusten keskeiset tutkimusmenetelmät ja -kohteet on esitetty taulukossa 7. Tutkimukset on numeroitu tulosten esittämisen helpottamiseksi. Muutamia tutkimuksissa käytettäviä lyhenteitä ja käsitteitä on selvennetty seuraavaksi tutkimustulosten ymmärtämiseksi.

Apoptoosi tarkoittaa ohjelmoitua solukuolemaa, joka on kontrolloitu ja luonnollinen osa solun elinkaarta. Nekroosi puolestaan on kontrolloimaton solun kuolema, joka tapahtuu jonkin ulkoisen tekijän vaikutuksesta. Nekroosin ja apoptoosin keskeisin ero on se, että nekroosi aiheuttaa tulehdusreaktion. (Solunetti 2006, viitattu 14.9.2015.) ROS (reactive oxygen species) on mitokondriossa tuotettua solulle haitallista happea. Mitokondriossa on myös aktiiviselta hapelta suojaavia mekanismeja. Tasapainotilan järkkyyessä liiallinen radikaalien tuotanto aiheuttaa oksidatiivista stressiä. (Hervonen 1994, viitattu 14.9.2015; Solunetti 2006, viitattu 14.9.2015.)

TAULUKKO 7. Yhteenveto tutkimuksista

Nro	Otsikko	Tutkittu valon aallonpituus (λ) ja tehotiheys/säteilytiheys	Tutkimusmenetelmä	Tutkimuskohde	Tutkimusparametrit
1	Retinal pigment epithelium cell damage by A2-E and its photo-derivatives	450-490 nm, 0,2 mW/mm ² valkoinen halogeeni (6 000 K), 8,9 mW/mm ²	in vitro	A2-E	valohapetustuotteet
2	The effect of blue light exposure in an ocular melanoma animal model	444-500 nm, tehotiheys ei tiedossa	in vivo	suonikalvoston syöpäsolut	suonikalvoston syöpäsolut
3	The influence of sublethal blue light exposure on human RPE cells	LED 405 nm, 1 mW/cm ²	in vitro	verkkokalvon pigmenttiepi-teelin solut	ROS, metabolinen aktiivisuus, apoptoosi, mitokondrio, soluproteiinit
4	Influence of blue light on photoreceptors in a live retinal explant system	LED 405 nm, 1 mW/cm ²	in vitro	fotoreseptorisolut	solukuolemat, ROS, fotoreseptorisolujen muoto ja järjestäytyminen
5	Phototoxic Action Spectrum on a Retinal Pigment Epithelium Model of Age-Related Macular Degeneration Exposed to Sunlight Normalized Conditions	LED 380-520 nm, 0-10 mW/cm ²	in vitro	verkkokalvon pigmenttiepi-teelin solut	solun elinkykyisyys, nekroosi ja apoptoosi
6	White Light-Emitting Diodes	LED 460 nm, 0,1 W/nm	in vivo	verkkokalvo	fotoreseptorisolujen apoptoosi ja

	(LEDs) at Domestic Lighting Levels and Retinal Injury in a Rat Model	<p>valkoinen LED (6 500 K), 0,028 W/nm</p> <p>valkoinen fluoresseiniilamppu, sinisen valon kohdalla 0,055 W/nm</p> <p>keltainen fluoresseiniilamppu, sinisen valon kohdalla 0,07 W/nm</p>			nekroosi, ROS
7	Damage of photoreceptor-derived cells in culture induced by light emitting diode-derived blue light	<p>LED 464 nm, 0,38 mW/cm²</p> <p>LED 522 nm, 0,38 mW/cm²</p> <p>LED valkoinen, 0,38 mW/cm²</p>	in vitro	fotoreseptorisolut (661 W - tappisolujohdannaiset)	ROS, solun elinvoimaisuus, proteiinitasot
8	Retinal damage induced by commercial light emitting diodes (LEDs)	<p>LED 449 nm, 2,82 W/m²·sr</p> <p>LED 467 nm, 3,1 W/m²·sr</p> <p>LED 473 nm, 2,49 W/m²·sr</p> <p>LED 507 nm, 1,81 W/m²·sr</p> <p>valkoinen LED 460-600 nm, 8,33 W/m²·sr</p>	in vivo	verkkokalvo	ROS, stressivaste, solukuolema, fotoreseptorisolujen järjestäytyminen

Tutkimuksissa 1, 6, 7 ja 8 on vertailtu sinisen valon (400-500 nm) aallonpituutta johonkin muuhun aallonpituuteen tai valkoiseen valoon. Tutkimuksessa 1 verkkokalvon pigmenttiepiteelin A2-E-lipofuskiinia altistettiin joko siniselle valolle 15 minuutin ajan tehollisuudella 20 mW/cm² tai valkoiselle halogeenilampun valolle 60 minuutin ajan. Lipofuskiini on oksidatiivisen stressin ja ajan myötä solukoon kertyvä hajoamistuote (Hervonen 1994, viitattu 14.9.2015). Tämän jälkeen A2-E -soluja

lisättiin porsaiden verkkokalvon pigmenttiepiteelin soluihin. A2-E -solujen lisääminen nosti pigmenttiepiteelin soluissa tapahtuvien solukuolemien määrää. Siniselle valolle altistetussa ryhmässä, johon A2-E -soluja on lisätty, solukuolemia tapahtui huomattavasti valkoiselle valolle altistettua ryhmää enemmän. Tutkimuksen 1 tuloksena on havaittu, että hapetettu A2-E aiheuttaa suoria DNA-vaurioita verkkokalvolla.

Tutkimuksessa 6 tutkittiin oksidatiivisen stressin vaikutuksia rottien verkkokalvolla tapahtuviin solukuolemiin. Siinä käytettiin sinisen LED:in valoa ja verrattiin sitä valkoisen LED:in, valkoisen fluoreseiniilampun ja keltaisen fluoreseiniilampun vaikutuksiin. Rottien silmät altistettiin jollekin näistä valoista kolmen, yhdeksän tai 28 päivän ajaksi, ja eri ryhmien tuloksia verrattiin keskenään. Elektroretinografiatutkimuksen (ERG) perusteella havaittiin huomattavia muutoksia sinisen ja valkoisen LED:in osalta. Fluoreseiniilamppujen valolle altistetuissa ryhmissä muutokset verkkokalvossa eivät olleet niin suuria. Uloimman tumakerroksen paksuus pieneni LED-valolle altistetuissa ryhmissä jopa neljäsosaan, ja solujen apoptoosia havaittiin enemmän verrattuna fluoreseiniilamppuryhmiin. Tutkimuksen mukaan kolmen päivän altistuksen jälkeen ROS-määrä LED-ryhmissä kasvoi nopeammin verrattuna fluoreseiniilamppuryhmiin. Yhdeksän päivän altistuksen jälkeen tulokset olivat kuitenkin fluoreseiniilamppuryhmissä LED-ryhmien tuloksia suuremmat. Tutkimuksen 6 tulos on se, että kaupalliset LED-valot voivat olla haitallisia albiinorottien verkkokalvolle. Tutkimuksen 6 mukaan kaupallisten LED-valojen vaikutus ihmisverkkokalvoon vaatii lisätutkimuksia.

Tutkimuksessa 7 on käytetty rottaeläinten tappisolujohdannaisia (661 W), jotka altistettiin siniselle, vihreälle ja valkoiselle LED-valolle in vitro. Solujen elinkelpoisuus pieneni siniselle valolle altistettaessa 20 prosenttiin, valkoiselle valolle altistettaessa noin 35 prosenttiin ja vihreälle valolle altistettaessa elinkelpoisuus oli altistuksen jälkeenkin edelleen 98 %. ROS-tuotanto kasvoi eniten siniselle LED-valolle altistettaessa. Eri aallonpituuksien vaikutuksia verkkokalvoon tutkittiin lisäksi muilla eri tavoilla ja tuloksena todettiin sinisen LED-valon olevan valkoista ja vihreää LED-valoa haitallisempaa. Lisäksi tutkimuksessa on selvitetty n-asetyylikysteiniini -antioksidantin (NAC) suojaavuutta sinisen valon aiheuttamia solutuhoja vastaan. Tulokseksi saatiin, että NAC parantaa solujen elinkelpoisuutta vähentämällä solukuolemia ja ROS-tuotantoa.

Tutkimuksessa 8 on käytetty kaupallisesti valmistettua valkoista LED-valoa ja verrattu sitä kolmen eri aallonpituuden sinisiin ja yhteen sinivihreään LED-valoon. Tutkimuksessa on tutkittu rotan verkkokalvoa. Rottia pidettiin läpinäkyvissä häkeissä ja niitä altistettiin jatkuvalla valolle kuuden, 12, 18, 24, 48 ja 72 tunnin ajan. Tutkimuksessa on keskitytty erityisesti kaupallisen valkoisen LED-valon

vaikutuksille, ja tuloksena kerrotaan sen aiheuttavan oksidatiivisia vaurioita koko verkkokalvolle DNA- ja proteiinitasoilla. Siniselle ja sinivihreälle valolle altistettaessa vaurioiden huomattiin olevan selvästi suurempia, joten altistusaikaa lyhennettiin maksimissaan 24 tuntiin. Lyhytaaltoisimman sinisen valon havaittiin olevan selvästi sinistä ja sinivihreää valoa haitallisempaa aiheuttaessaan solujen sisäistä stressiä ensisijaisesti fotoreseptorisoluissa. Lyhytaaltainen valo aiheutti soluissa lisääntyntä nekroosia, pidempiaaltainen sinivihreä valo puolestaan enemmän apoptoosia. Tutkimuksen lopputuloksena todetaankin LED:in sinisen valon aallonpituuden olevan kaikista haitallisinta verkkokalvolle, mikä oli jo aiemmissakin tutkimuksissa osoitettu. Tutkimuksessa viitataan myös nykyiseen lainsäädäntöön, jonka mukaan valo on vaarallista silmälle aiheuttaessaan verkkokalvon vaalenemista. Tätä vaalenemista ei tutkimuksessa 8 havaittu. Sen sijaan valoaltistus aiheutti huomattavaa turvotusta silmän kudoksissa, joka viittaa solujen nekroosiin.

Tutkimuksissa 2, 3, 4 ja 5 sinisen valon vaikutuksia ei verrattu muiden aallonpituusalueiden valon vaikutuksiin. Tutkimuksessa 2 suonikalvoston syöpäsoluja ruiskutettiin kaniin oikeanpuoleisiin silmiin. Vasemmanpuoleiset silmät jätettiin terveiksi vertailukohdiksi. Tämän koejärjestelyn avulla tutkitaan sinisen valon vaikutuksia syöpäsoluihin. Koe-eläimet jaettiin kahteen ryhmään, joista toinen ryhmä altistettiin siniselle valolle ja verrokki-ryhmä suojattiin siltä. Testijakso kesti kahdeksan viikkoa, ja päivittäinen altistusaika oli kahdeksan tuntia. Molemmista ryhmistä löytyi lähes yhtä paljon silmän sisäisiä massoja, eikä histopatologisissa tutkimuksissa löytynyt merkittäviä eroavaisuuksia. Siniselle valolle altistuneessa ryhmässä syöpäsolujen lisääntyminen silmän takaosassa oli kuitenkin runsaampaa.

Tutkimuksessa 3 ihmisen verkkokalvon pigmenttiepiteelisolun ARPE-19 -soluja altistettiin siniselle valolle kahdella eri teholla in vitro -olosuhteissa. Tutkimuksessa keskityttiin matalampitehoisen säteilyn vaikutuksiin verkkokalvon pigmenttiepiteelin soluissa. Solujen elinkelpoisuudessa ja lukumäärässä 24, 48 ja 72 tunnin valoaltistuksen aikana ei tapahtunut merkittävää vaihtelua. Tällä varmistettiin se, että käytetty säteily määrä jäi juuri hengenvaarallisen tason alapuolelle. Tutkimuksen edetessä havaittiin solun sisäisen ROS:n määrän kasvaneen 24 tunnin altistuksen jälkeen ja määrän olevan riippuvainen käytetyn säteilyn tehosta. Matalalle säteilyannokselle altistumisen havaittiin johtavan verkkokalvon pigmenttiepiteelin solujen stressisignaalien käynnistymiseen. Tämä aiheuttaa muutoksia solujen mitokondrioiden profiilissa ja pidensi solujen solusykliä. Verkkokalvon pigmenttiepiteelin solut ovat tutkimuksen mukaan kykeneväisiä sopeutumaan pieniin määriin sinisen valon säteilyä, jolloin solukuolemilta vältytään.

Tutkimuksessa 4 käytettiin tutkimusryhmänä nuorten rottaeläinten silmiä, jotka altistettiin siniselle valolle in vitro -olosuhteissa. Kontrolliryhmänä käytettiin vastaavia silmiä, joita ei altistettu tutkittavalla valolla. Valoaltistus kesti puoli tuntia, tunnin, kolme tuntia, kuusi tuntia ja 24 tuntia. Tämän jälkeen verkkokalvo irroitettiin pigmenttiepiteelistä, ja siitä tutkittiin ROS:ia ja solukuolemia verkkokalvon uloimmassa tumakerroksessa. Lisäksi analysoitiin fotoreseptorisolujen järjestäytymistä eri menetelmillä. Suurin ROS-määrä mitattiin yhden tunnin altistuksen jälkeen. Valoaltistuksen jälkeen havaittiin myös fotoreseptorisolujen epäjärjestäytymistä, ja verkkokalvon uloimmat osat menettivät muotonsa. Tässä tutkimuksessa ei muutoksia mitokondrioissa havaittu. Solukuolemat lisääntyivät uloimmassa tumakerroksessa valoaltistuksen jatkuessa. Tutkijat pitävät tuloksia vertailukelpoisina ihmissilmään, koska heidän mukaansa rottien fotoreseptorisolut ovat hyvin samankaltaisia kädelisten fotoreseptorisolujen kanssa.

Tutkimuksessa 5 oli tarkoitus löytää kaikista vaarallisista sinivihreän valon aallonpituus in vitro -olosuhteissa. Siinä porsaiden verkkokalvon pigmenttiepiteelin soluja viljeltiin kuusi tuntia erilaisilla A2-E -pitoisuuksilla ja altistettiin 10 nanometrin levyisille sinisen valon aallonpituuskaistoille. Säteilyn tehotiheys normalisoitiin vastaamaan auringon valoa, joka pääsee verkkokalvolle. Tutkimuksessa tutkittiin solujen elinkelpoisuutta, nekroosia ja apoptoosia eri aallonpituuskaistoilla. A2-E:n annostus oli määritelty niin, ettei se aiheuttanut solujen tuhoutumista pimeässä. Tutkimustuloksina havaittiin A2-E -pitoisuuden kasvaessa solujen apoptoosin lisääntyvän neljällä aallonpituuskaistalla välillä 415-455 nm (kaistojen keskikohdat 420 nm, 430 nm, 440 nm ja 450 nm). Solujen elinkelpoisuuden huononemista havaittiin kaikilla eri aallonpituuksilla, kuitenkin välillä 415-455 nm huononeminen oli voimakkainta. Nekroosia ei havaittu millään aallonpituuskaistalla muita enemmän. Tutkimuksen tuloksena todettiin valon intensiteetin, aallonpituuden, tehotiheyden ja A2-E:n absorptiospektrin vaikuttavan sinisen valon haitallisuuteen.

8.3.1 Sinisen valon vaikutusten tutkiminen

Sinistä valoa on tutkittu kolmessa tutkimuksessa (tutkimukset 2,6 ja 8) in vivo ja viidessä (tutkimukset 1, 3, 4, 5 ja 7) in vitro. In vivo -tutkimuksissa eläviä koe-eläimiä altistettiin siniselle valolle, jonka jälkeen ne uhrattiin. Suurin osa tutkimuksista (tutkimukset 1, 2, 4, 5, 6, 7 ja 8) on tehty koe-eläimillä, tutkimuksessa 3 on käytetty tutkimuskohteena viljeltyjä ihmisen verkkokalvon soluja. Tällöin tutkimustulosten paikkansapitävyys ihmisen silmässä ei ole täysin osoitettavissa, koska tutkimuksia ei ole tehty elävän ihmisen silmän soluilla. Tämä tuli esille myös usean tutkimuksen pohdinta-osiossa.

Tutkimuksia 1 ja 2 lukuun ottamatta kaikissa tutkimuksissa oli sinisen valon lähteenä käytetty LED-valaisinta. Tutkimusten 7 ja 8 mukaan vihreän ja valkoisen LED:in raportoitiin olevan vähemmän haitallista kuin sinisen. Sinistä LED-valoa on verrattu valkoiseen tutkimuksissa 6, 7 ja 8. Tulokset ovat yhteneväisiä siltä osin, että valkoisella ja sinisellä raportoidut tulokset eivät suuresti poikenneet toisistaan, sillä valkoinen LED-valo sisältää suuren määrän sinisen valon aallonpituutta. Kuitenkin puhtaan sinisen valon haitat olivat hieman valkoista suurempia. Tutkimuksessa 1 sinistä LED-valoa on verrattu halogeenilampun tuottamaan valkoiseen valoon ja siinä tulokset osoittavat suuremman eron tutkimuksessa käytettyjen valojen välillä.

Tutkimuksissa käytetyn valon tehotiheys ja siitä käytetty mittayksikkö vaihteli tutkimusten välillä. Koska valonsäteilyn aiheuttamiin mahdollisiin muutoksiin vaikuttaa suuresti juuri käytetty aallonpituus ja tehotiheys, tulisi mittayksiköiden olla samoja tulosten vertailemiseksi. Tutkimuksissa 3, 4, 5 ja 7 käytetyn säteilyn tehotiheys oli ilmoitettu muodossa mW/cm^2 ja sinistä valoa oli näissä tutkimuksissa käytetty tehotiheydellä $0,18\text{--}10 \text{ mW}/\text{cm}^2$. Tutkimuksessa 1 käytetty saapuvan säteilyn tehotiheyden oli ilmoitettu olevan $0,2 \text{ mW}/\text{mm}^2$, joka muunnettuna on $20 \text{ mW}/\text{cm}^2$. Tutkimuksessa 8 käytetyn valon lähettämä säteilytiheys on $1,81\text{--}8,33 \text{ W}/\text{m}^2 \cdot \text{sr}$. Säteilyn tehotiheys saadaan kertomalla säteilytiheys avaruuskulmalla eli steradianilla (Möller 1988, 382). Tutkimuksessa 3 oli esitetty malli verkkokalvolle pääsevistä auringonvalon määrästä. Tämän mallin mukaan aallonpituudella $400\text{--}500 \text{ nm}$ verkkokalvolle pääsevän auringon valonsäteilyn tehotiheys on välillä $0,01\text{--}0,13 \text{ mW}/\text{cm}^2$. Tätä suuremmilla tehotiheyksillä tutkittaessa ei enää ehkä tutkita realistisia säteilymääriä. Tutkimuksessa 6 on ilmoitettu käytetystä valonlähteestä ainoastaan tehospektri aallonpituuden mukaan, joten sitä ei voida verrata tutkimuksissa 1, 3, 4, 5, 7 ja 8 käytettyyn valoon.

Tutkimuksista seitsemän (tutkimukset 1, 3, 4, 5, 6, 7 ja 8) pohjautuu silmänpohjan ikärappeuman (AMD) tutkimukseen, joten se vaikuttaa olevan pääsyy sinisen valon vaikutuksiin kohdistuvalle tutkimukselle. Ainoastaan tutkimus 2 pohjautui lähtökohtaisesti johonkin muuhun sairauteen keskittyessään suonikalvoston syöpäsolujen lisääntymiseen.

8.3.2 Sinisen valon vaikutus silmään

Kaikissa kahdeksassa katsaukseen valikoituneessa tutkimuksessa sinisen valon todettiin olevan haitallista silmän verkkokalvolle. Sinistä valoa tutkittiin sekä vertaamalla sitä muihin valon väreihin

eli eri aallonpituuksiin nähden tai siten, että verrokkiryhmänä käytettiin valolle altistamattomia kohteita. Tutkimusta 2 lukuun ottamatta kaikissa havaittiin jonkin asteisia solukuolemia siniselle valolle altistumisen jälkeen. Lisäksi sininen valo aiheutti muutoksia verkkokalvon pigmenttiepiteelin solujen mitokondrioiden muodossa ja järjestäytymisessä (tutkimukset 3 ja 4). Tutkimuksessa 2 todettiin sinisen valon lisäävän syöpäsolujen määrää.

Useimmissa tutkimuksissa (tutkimukset 1, 3, 4, 5, 6, 7 ja 8) on tutkittu verkkokalvon soluja. Tutkimuskohteena olivat joko fotoreseptori- tai verkkokalvon pigmenttiepiteelin solut. Tutkimuksessa 2 tutkimuskohteena olivat suonikalvoston solut. ROS-pitoisuutta tutkittiin viidessä tutkimuksessa (tutkimukset 3, 4, 6, 7 ja 8), ja näissä kaikissa todettiin ROS-pitoisuuden kasvua siniselle valolle altistaessa.

Solukuolemaa (apoptoosia tai nekroosia) tutkittiin seitsemässä tutkimuksessa (tutkimukset 1, 3, 4, 5, 6, 7 ja 8). Näistä yhdessä (tutkimus 3) todettiin solujen olevan kykeneväisiä toipumaan matalam-
pitehoisen säteilyn aiheuttamista vaurioista, kun taas viidessä tutkimuksessa (tutkimukset 4, 5, 6, 7 ja 8) havaittiin solukuolemia. Tutkimuksessa 1, 5, 6 ja 7 havaittiin valoaltistuksen seurauksena apoptoosia ja tutkimuksessa 8 sekä apoptoosia että nekroosia. Tutkimuksessa 4 havaittiin solukuolemia, mutta niiden luonnetta ei eritelty tarkemmin.

9 POHDINTA

9.1 Katsauksen reliabiliteetti

Kirjallisuuskatsausprojektin aluksi teimme suunnitelman, jossa määrittelimme hakustrategian ja tutkimuskysymykset. Tietokantojen ja hakusanojen valinnassa hyödynsimme informaation asiantuntemusta, ja niiden ansiosta löysimme tutkimuskysymyksiin vastaavia tutkimuksia. Suunnitelmaa noudatettiin koko projektin ajan. Kirjallisuushakuja tehdessämme dokumentoimme haut tarkasti omiin taulukoihimme, jolloin jo tehtyjen hakujen yksityiskohtiin palaaminen oli helppoa. Tarkka hakuprosessin kuvaaminen mahdollistaa myös katsauksen toistettavuuden.

Katsauksen luotettavuutta lisää se, että molemmat tutkijat teimme samat haut ja päädyimme lopulta lähes samaan lopputulokseen. Vain yksi tutkijan B löytämä tutkimusartikkeli puuttui tutkijan A hakutuloksista, muuten hakutulokset olivat molemmilla tutkijoilla samat. Katsauksen luotettavuuteen vaikuttaa myös haussa käytetyt tietokannat ja valittujen tutkimusten julkaisujen luotettavuus, jotka pyrimme varmistamaan jo hakustrategiaa laatiessamme. Toisaalta valitsimme katsaukseen vain ilman korvausta saatavia tutkimuksia, joten on mahdollista, että joitakin valideja tutkimuksia on jäänyt löytymättä. Suurimpana luotettavuuteen negatiivisesti vaikuttavana tekijänä koemme rajallisen ymmärtämyksen lääketieteen ja biologian termeistä, joita katsaukseen valitut tutkimukset käsittelivät. Käytännön tutkimustyötä vaikeutti myös rajattu aikataulu. Tutkimuksille oli asetettu sisäänotto-kriteeriksi se, että artikkeleiden tulee olla joko englannin- tai suomenkielisiä. Tämä on saattanut rajata pois muilla kielillä kirjoitettuja artikkeleita, mutta emme usko tämän vaikuttaneen suuresti hakutulosten määrään. Selvästi suurin osa tutkimustiedosta on kuitenkin dokumentoitu englannin kielellä, jolloin se on mahdollisimman suuren yleisön saatavilla.

9.2 Tulosten tarkastelu ja johtopäätökset

Tämän katsauksen perusteella voidaan todeta, että viimeisen kymmenen vuoden aikana juuri LED-valo on ollut suurin tutkimuksen kohde sinisen valon säteilylähteenä. Tutkimusta on tehty ympäri maailman ja tutkimusten tuloksia on käytetty myös esimerkiksi silmälasilinsien lisäominaisuuksien markkinoinnissa. Silmälasilinsien valmistajien mielenkiinto tutkimusta kohtaan näkyy myös siinä, että maailman johtavat linsivalmistajat saattavat toimia rahoittajina näissä tutkimuksissa. LED-

valaisimien ja -näyttöjen yleistyminen on saanut tutkijat kiinnostumaan sinisen valon aallonpituuksien vaikutuksista. Johtopäätöksenä voimme todeta sinisen valon, ja erityisesti LED-valaisimien, olevan silmälle haitallista. LED-valoja kuitenkin kehitetään jatkuvasti ja niiden turvallisuutta pyritään parantamaan.

Euroopan unionin direktiivissä (2006/25/EY) optiselle säteilylle on asetettu seuraavat raja-arvot näkyvän valon osalta. Tehotiheys saa olla 0,001 mW/cm² kun säteily kestää yli 10 000 sekuntia. Alle 10 000 sekuntia kestävä säteilyn tehotiheys saa olla 10 mW/cm² jaettuna ajalla sekunteina. (Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2006/25/EY) Tutkimuksissa käytetyt tehotiheydet (0,38-10 mW/cm²) ovat siis suuntaa antavalla tasolla. Yksittäisen ihmisen saamaa säteilyn määrää ja kestoja ei voida kuitenkaan varmuudella tietää tai ennustaa, joten soluissa tapahtuvien muutosten määrää ei voida kiistatta todistaa. Katsauksessa käsiteltyjen tutkimusten, joissa käytetty säteily on ollut tehotiheydeltään korkeampaa tai kestoiltaan pidempiaikaisempaa kuin direktiivissä on asetettu, tuloksia ei voida suoraan yleistää ihmisen yleisiin elinolosuhteisiin. Myös se, että tutkimuksen kohteena on usein käytetty ihmisen kudoksen sijaan koe-eläimiä, aiheuttaa sen, ettei tuloksia voida yleistää koskemaan myös ihmissilmää. Katsauksessa käsiteltyjen tutkimusten mukaan tehotiheydeltään suuri määrä sinistä valoa tai pitkäkestoinen altistus on kuitenkin kiistatta haitallista silmän verkkokalvolle.

Suurin osa katsaukseen mukaan otetuista tutkimuksista pohjautui silmänpohjan ikärappeuman tutkimukselle. Silmänpohjan ikärappeuma on yleisin heikkonäköisyyttä aiheuttava sairaus Suomessa ja länsimaissa ja sen syntymekanismia ei täysin tunneta. (Kaarniranta & Kinnunen 2014, 2265.) Useissa tutkimuksissa sinisen valon aiheuttamia solumuutoksia pidetään kuitenkin ikärappeuman vaikutustekijöinä.

Silmän mykiö kellastuu iän myötä, joten voidaan pohtia, onko tämä kellastuminen luonnon oma tapa suojata silmää siniseltä valolta. Keltaisen suodattimen avulla sinisen valon määrää voidaan pienentää ja myös tämän kaltaista suodattamista käsitteleviä tutkimuksia kirjallisuushakuja tehdesämme tuli vastaan. Suodattimia, jotka suodattavat sinistä valoa, on tutkittu ja otettu käyttöön tekomykiöiden yhteydessä. Sininen valo on aina ollut läsnä ihmisen ympäristössä auringon säteilyssä, joten se ei ole elinympäristössämme uusi asia. Viime vuosina erityisesti uusinta teknologiaa edustavat LED-valaisimet ovat aiheuttaneet huolta sinisen valon lähteenä. Jos sininen valo olisi todella vaarallista sellaisilla säteilymäärillä, joita auringosta saamme, olisimme luultavasti kaikki enemmän tai vähemmän heikkonäköisiä jo ennen vanhuuden aiheuttamia verkkokalvomutoksia.

Kirjallisuushakuja tehdessä löysimme myös paljon tutkimustietoa sinisestä valosta vuorokausirytmien säätelijänä, joten se on toinen merkittävä syy tutkia sinistä valoa. Näissä tutkimuksissa ei kuitenkaan käsitelty suoranaisesti vaikutuksia silmään, vaikka vuorokausirytmää säätelevä valo havaitaan ensimmäksi verkkokalvon reseptorisoluissa. Tämä siniturkoosi valo (465-495 nm) on ihmiskehölle tarpeellista, eikä sitä ole tarkoitus silmälasilinssimateriaaleilla tai -pinnoitteilla suodattaa.

9.3 Omat oppimiskokemukset

Opinnäytetyöprosessin edetessä olemme oppineet monia hyödyllisiä taitoja. Tiedonhaku on ollut yksi työn tärkeimmistä elementeistä, ja sitä voi hyödyntää myös tulevaisuudessa alan uusinta tutkimustietoa etsiessä. Tieteellisten artikkeleiden lukeminen vaatii paneutumista ja keskittymistä, ja olemme sitä työn edetessä päässeet hyvin harjoittelemaan. Artikkeleiden ymmärtäminen ja katsauksen kannalta oleellisten asioiden etsiminen on myös kehittynyt. Koko opinnäytetyöprosessin ajan olemme itse toimineet itsemme projektipäällikköinä; aikatauluttaminen, projektin hallinta ja tavoitteellisen työn tekeminen ovat tulleet tutuiksi. Tämä tulee olemaan tulevaisuudessa myös työelämässä hyödyksi pitkäaikaisemmissa ja tavoitteellisissa projekteissa ja tehtävissä toimiessa. Kahden tutkijan yhteistyö ei aina ole täysin mutkatonta, mutta olemme tehtävänjaossa onnistuneet omasta mielestämme loistavasti. Vastuu on jaettu aihealueittain ja työtehtävittäin ja sovitut asiat on tehty ajallaan.

Katsausta tehdessä olemme kehittyneet myös ammatillisesti. Tietoperustan yhteydessä olemme kerranneet jo tuttuja asioita, ja tutkimuksiin tutustuessamme oppineet paljon uutta. Myös optometrian ja erityisesti silmä lääketieteen alaan liittyvä englanninkielinen sanasto on tullut projektin myötä tutuksi.

9.4 Jatkotutkimusehdotukset

Tulevaisuudessa katsaus tulisi päivittää tuoreimman tutkimustiedon kokoamiseksi, koska tutkimus sinisen valon ympärillä tulee jatkumaan vilkkaana. Systemaattista kirjallisuuskatsausta voisi käyttää tulevaisuudessa optometrian alan opinnäytetöissä myös jatkossa. Alaan liittyvää tutkimustietoa

kerätään jatkuvasti, ja kirjallisuuskatsaus on tutkimusmetodina toimiva juuri tutkimustiedon kokoamisessa. Tällä menetelmällä saatu tieto on myös luotettavaa ja relevanttia. Siniseen valoon liittyen kirjallisuuskatsauksen voisi tehdä vaikkapa vuorokausirytmien säätelyn näkökulmasta. Tämän katsauksen ulkopuolelle jäivät tässä tapauksessa myös tutkimukset, joissa käsiteltiin jonkin suodattimen, aineen tai yhdisteen vaikutusta siniseltä valolta suojaavana tekijänä.

LÄHTEET

Katsaukseen valitut alkuperäistutkimukset on merkitty tähdellä (*).

Aarnisalo, E. & Saari, K. 2011. Peruskäsitteitä valo-opista ja valon merkityksestä näkö tapahtumassa. Teoksessa Saari, K. (toim.) *Silmätautioppi*. 6. uudistettu painos. Helsinki: Kandidaattikustannus Oy, 38–39.

*Ader, M., Funk, R., Knels, L., Roehlecke, C. & Schumann, U. 2011. Influence of blue light on photoreceptors in a live retinal explant system. *Molecular Vision* 17 (98), 876–884.

*Aeschbach, D., Brainard, G., Czeisler, C., Foster, R., Gooley, J., Gregory-Evans, K., Hull, J., Lockley, S., Moseley, M., Peirson, S., Rizzo, J., Wulff, K. & Zaidi, F. Short-Wavelength Light Sensitivity of Circadian, Pupillary, and Visual Awareness in Humans Lacking an Outer Retina. *Current Biology* 17 (24), 2122–2128.

*Anderson, R., Kaidzu, S. & Tanito, M. 2006. Protective effects of soft acrylic yellow filter against blue light-induced retinal damage in rats. *Experimental Eye Research* 83 (6), 1493–1504.

*Anteck, E., Burnier, M., Dawson, W., Di Cesare, S., Fernandes, B., Maloney, S., Marshall, J., Martins, C. & Odashiro, A. 2009. The effect of blue light exposure in an ocular melanoma animal model. *Journal of Experimental & Clinical Cancer Research* 28 (48), 1–9.

*Arnault, E., Barrau, C., Bigot, K., Cohen-Tannoudji, D., Fontaine, V., Gondouin, P., Gutman, E., Nanteau, C., Picaud, S., Sahel, J., Viénot, F. & Villette, T. 2013. Phototoxic Action Spectrum on a Retinal Pigment Epithelium Model of Age-Related Macular Degeneration Exposed to Sunlight Normalized Conditions. *Plos One* 8 (8), 1–12.

Atchison, D. A. & Smith, George. 2000. *Optics of the Human Eye*. Oxford: Butterworth-Heinemann Ltd.

Atlas of Ophthalmology. 2014. Retina. Viitattu 21.5.2015, <http://atlasofophthalmology.org/retina/>.

*Barker, F., Gerss, J., Johnson, E., Koepcke, W., Neuringer, M., Schalch, W. & Snodderly, D. Nutritional Manipulation of Primate Retinas, V: Effects of Lutein, Zeaxanthin, and n-3 Fatty Acids on Retinal Sensitivity to Blue-Light-Induced Damage. *Investigative Ophthalmology & Visual Science* 52 (7), 3934–3942.

*Behar-Cohen, F., Boulenguez, P., Carré, S., Chahory, S., Jaadane, I., Jonet, L., Martinsons, C., Savoldelli, M. & Torriglia, A. 2015. Retinal damage induced by commercial light emitting diodes (LEDs). *Free Radical Biology and Medicine* 2015 (84), 373–384.

*Bierman, A., Figueiro, M. & Rea, M. Retinal mechanisms determine the subadditive response to polychromatic light by the human circadian system. *Neuroscience Letters* 438 (2), 242–245.

*Brainard, G., Czeisler, C., Gooley, J., Kronauer, R., Lockley, S. & Rajaratnam, S. Spectral responses of the human circadian system depend on the irradiance and duration of exposure to light. *Sci Transl Med* 2 (31), 1–21.

CIE 2015. CIE Colorimetry - Part 2: Standard Illuminants for Colorimetry. Viitattu 20.5.2015. http://cie.co.at/index.php?i_ca_id=484.

Edwards, K. H. & Gibson, G. A. 2010. Intraocular lens short wavelength light filtering. *Clinical & experimental optometry : journal of the Australian Optometrical Association* 93 (6), 390–399.

Essilor. 2015. Crizal Previncia. Viitattu 21.4.2015, <http://www.crizalprevencia.com/>.

European Commission. 2008. Light Sensitivity - Scientific Committee on Emerging and Newly Identified Health Risks. Viitattu 11.9.2015, http://ec.europa.eu/health/ph_risk/committees/04_scenihr/docs/scenihr_o_019.pdf.

Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi terveyttä ja turvallisuutta koskevista vähimmäisvaatimuksista työntekijöiden suojelemiseksi altistumiselta fyysikaalisista tekijöistä (keinotekoinen optinen säteily) aiheutuville riskeille 5.4.2006/25/EY.

Fowler, C. & Petre, K. 2001. *Spectacle lenses: theory and practice*. Oxford: Butterworth Heine-
mann.

*Funk, R., Knels, L., Roehlecke, C., Schaller, A. 2009. The influence of sublethal blue light exposure on human RPE cells. *Molecular Vision* 15 (205), 1929–1938.

Geller, M. 2014. Everything to Know About Blue Light and Crizal Previncia. Viitattu 22.2.2015, <http://www.newgradoptometry.com/everything-to-know-about-blue-light-crizal-prevencia>.

*Gen-Shuh, W., Lee, L., Shang, Y., Sliney, D. & Yang, C. 2014. White Light-Emitting Diodes (LEDs) at Domestic Lighting Levels and Retinal Injury in a Rat Model. *Environmental Health Perspectives* 122 (3), 269–276.

Hakkarainen, K., Hervonen, H., Hiltunen, E., Holmberg, P., Hotakainen, K., Hänninen, O., Kaikkonen, M., Karrasch, M., Kauranen, M., Kiviniitty, K., Koskelo, R., Laaksonen, A., Lappalainen, R., Leppäluoto, J., Lindblom-Yläne, S., Litmanen, H., Markkula, A., Nienstedt, W., Niku, M., Oi-vanen, M., Pasternack, A., Perkkiö, J., Polo, O., Pyörälä, E., Pösö, R. & Wähälä, K. 2010. Näköaisti. Teoksessa Hiltunen, E., Holmberg, P., Jyväsjärvi, E., Kaikkonen, M., Lindblom-Yläne, S., Nienstedt, W. & Wähälä, K. (toim.) *Galenos - Johdanto lääketieteen opintoihin*. Helsinki: WSOYpro Oy, 262–273.

*Hammer, M., Guehrs, K., Richter, S. & Schweitzer, D. 2006. Retinal pigment epithelium cell damage by A2-E and its photo-derivatives. *Molecular Vision* 12 (151), 1348–1354.

*Hara, H., Kobayashi, S., Kuse, Y., Ogawa, K., Shimazawa, M. & Tsuruma, K. Protective effects of bilberry and lingonberry extracts against blue light-emitting diode light-induced retinal photoreceptor cell damage in vitro. *Complementary and Alternative Medicine* 14 (120), 1–11.

*Hara, H., Kuse, Y., Ogawa, K., Tsuruma, K. & Shimazawa, M. 2014. Damage of photoreceptor-derived cells in culture induced by light emitting diode-derived blue light. *Scientific Reports* 4 (5223), 1–12.

Hervonen, A. 1994. Oksidatiivinen stressi ja solun vanheneminen. Viitattu 14.9.2015, http://duodecimlehti.fi/web/guest/arkisto?p_p_id=Article_WAR_DL6_Articleportlet&viewType=viewArticle&tunnus=duo40368&dlehtihaku_view_article_WAR_dlehtihaku_p_auth=.

Holzman, D. 2010. What's in a Color? The Unique Human Health Effects of Blue Light. *Environmental Health Perspectives* 118 (1), A22–A27.

Hoya. 2015. BlueControl – Lisää mukavuutta silmillesi. Viitattu 21.4.2015, http://www.hoya.fi/index.php?SID=5536245d86741461985818&page_id=27024.

Hyvärinen, L. 2015. Silmän rakenne. Viitattu 29.4.2015, <http://www.lea-test.fi/su/silmat/silman.html>.

Immonen, I., Kivelä, T. & Saari, K. 2011. Verkkokalvo ja sen sairaudet. Teoksessa K. M. Saari (toim.) *Silmätautioppi*. 6. uudistettu painos. Helsinki: Kandidaattikustannus Oy, 231–262.

Jalie, M. 2003. *Ophthalmic lenses & dispensing*. 2. painos. Edinburgh: Butterworth Heinemann.

Juntunen, E. 2014. From LED die to a lighting system. VTT Science. Kuopio: Grano Oy.

Kaarniranta, K. & Kinnunen, K. 2014. Silmänpohjan kostea ikärappeuma pitää hoitaa ajoissa. *Lääkärilehti* 69 (37), 2265–2268.

Kallionpää, K. 2015. Älypuhelimien sininen valo saattaa haitata lapsen yöunta. Viitattu 17.2.2015, <http://www.hs.fi/terveys/a1305914760955>.

Kivelä, T. 2011. Silmän rakenne ja toiminta. Teoksessa Saari, K. (toim.) *Silmätautioppi*. 6. uudistettu painos. Helsinki: Kandidaattikustannus Oy, 12–12.

Kleinstejn, R. & Pitts, R. 1993. *Environmental Vision: Interactions of the Eye, Vision, and the Environment*. USA: Butterworth-Heinemann.

*Koide, R., Dawson, W., Nakanishi-Ueda, T., Ueda, T. & Yasuhara, H. 2009. Eye damage control by reduced blue illumination. *Experimental Eye Research* 89 (6), 863–868.

Lemp, M. & Snell, R. 1998. *Clinical Anatomy of the Eye*. 2. painos. USA: Blackwell Science, Inc.

Meslin, D. 2010. *Ophthalmic Optic Files. Materials & treatments*. Essilor Academy Europe Publications 2010.

Motiva Oy. 2009. Lampputieto. Viitattu 21.4.2015, <http://www.lampputieto.fi/lamput/lampputyypit/hehkulamppu/>.

Möller, K. 1988. Optics. California: University Science Books.

Piiliset. 2015. BlueStop = seis siniselle valolle. Viitattu 8.9.2015, <http://www.piiliset.fi/tuote/blues-top-pysayttaa-sinisen-valon/>.

Rabbetts, R. B. 1998. Clinical visual optics. 3. painos. London: Butterworth-Heinemann Ltd.

Rihlama, S. 1997. Värioppi. 6. painos. Tampere: Tammer-Paino Oy.

Saari, K. 2001. Verkkokalvo ja sen sairaudet. Teoksessa Saari, K. (toim.) Silmätautioppi. 5. uudistettu painos. Helsinki: Kandidaattikustannus Oy, 231.

Sarajärvi, A. & Tuomi, J. 2009. Laadullinen tutkimus ja sisällönanalyysi. 5. uudistettu laitos. Helsinki: Tammi.

Solunetti. 2006. Viitattu 14.9.2015, <http://www.solunetti.fi/fi/solubiologia/etusivu/>.

Sotty, C. 2013. The Benefits and Dangers OF BLUE LIGHT. Review of Optometry 150 (7), 39.

Suomen valoteknillinen seura ry. 2015. Ledifaktat. Viitattu 21.4.2015, <http://www.valosto.com/toimintaryhmat/lediryhma/ledifaktat>.

Summanen, P. 2013. Makuladegeneraatio (silmänpohjan ikärappeuma). Viitattu 14.10.2014 http://www.terveysportti.fi/dtk/ltk/koti?p_artikkeli=ykt00968&p_haku=silm%C3%A4npohjan%20ik%C3%A4rappeuma.

The Joanna Briggs Institute. 2015. Joanna Briggs Institute Reviewers' Manual: 2015 edition / Supplement. Viitattu 15.9.2015, http://www.joannabriggs.org/assets/docs/sumari/Reviewers-Manual_The-systematic-review-of-studies-of-diagnostic-test-accuracy.pdf.

Wallace, C. 2014. Safeguard eyesight by taking care over use of LED light. Viitattu 21.4.2015, <http://www.ft.com/intl/cms/s/0/a78d6b68-85ef-11e4-a105-00144feabdc0.html#axzz3NGaXwLDi>.

Walsh, K. 2009. UV radiation and the eye. Viitattu 8.9.2015 https://www.jnjvisioncare.co.uk/sites/default/files/public/uk/documents/tvci_uv_radiation_and_the_eye.pdf.