

8

MUU OPTINEN SÄTEILY

Maila Hietanen, Reijo Visuri, Heidi Nyberg

SISÄLLYSLUETTELO

8.1	Näkyvä valo	264
8.2	Infrapunasäteily	271
8.3	Altistumisrajat näkyvälle valolle ja IR-säteilylle.....	273

Optiseksi säteilyksi luetaan UV-säteilyn lisäksi näkyvä valo ja infrapunasäteily. Näkyvä valo (400–780 nm) sijaitsee sähkömagneettisessa spektrissä UV-säteilyn (100–400 nm) ja infrapunasäteilyn (780 nm – 1 mm) välissä (kuva 1.1, luku 1). Näkyvän valon ihminen aistii näköhavaintona. Infrapunasäteily tuntuu puolestaan lämpönä iholla ja ihonalaisissa kudoksissa ja siksi sitä kutsutaan joskus lämpösäteilyksi.

Näkyvän valon tai infrapunasäteilyn aallonpituuksista ei ole yleensä haittaa ihmiselle. Poikkeuksen muodostaa työolosuhteissa, esimerkiksi hitsauksen yhteydessä, tapahtuva altistuminen hyvin kirkkaalle valolle. Toinen merkittävä vaaratilanne syntyy silloin, kun käytetään infrapunasäteilyn tai näkyvän valon aallonpituuksilla toimivaa laseria. Lasersäteilyyn liittyviä vaaroja ja varsinkin sen aiheuttamia silmävaurioita käsitellään laaja-alaisemmin luvussa 3, Laserturvallisuus.

Tässä luvussa esitellään lukijalle käytännön sovelluksia, joissa käytetään näkyvän valon ja infrapunasäteilyn aallonpituuksia, pois lukien laserit. Lisäksi esitellään näille kahdelle säteilylajille määritellyt altistumisrajat.

8.1 | Näkyvä valo

Näkyvän valon spektri koostuu seuraavista aallonpituuksista: violetti 400–450 nanometriä (nm), sininen 450–490 nm, vihreä 490–560 nm, keltainen 560–590 nm, oranssi 590–630 nm ja punainen 630–780 nm.

Näkyvä valo on nimensä mukaisesti ainoa optisen säteilyn laji, jonka ihmissilmä pystyy aistimaan. Tämä johtuu siitä, että verkkokalvolla on olemassa näkyvän valon aallonpituuksille omat aistinreseptorinsa, tappi- ja sauvasolut (kuva 2.22, luku 2). Sauvasolut toimivat hyvin hämärässäkin, mutta eivät osallistu värien näkemiseen. Tappisolulla ihminen näkee värejä, mutta ne eivät toimi heikossa valaistuksessa. Tappisoluja on kolmea eri lajia puna-, sini- ja viherherkkiä, jotka reagoivat nimensä mukaisesti eri aallonpituuksien havainnointiin. Värien näkeminen on aina kuitenkin subjektiivinen näköelämys, johon vaikuttaa verkkokalvon näköreseptoreihin saapuvien aallonpituuksien lisäksi aivojen tulkinta tilanteesta, jossa väri nähdään.

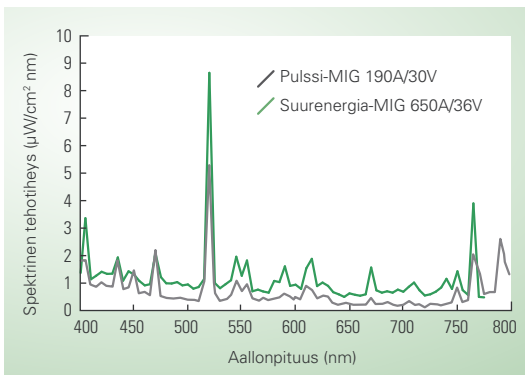
Vaikka näkyvän valon kohdistuminen silmän verkkokalvolle on edellytys näkemiselle, voimakas näkyvä valo ja erityisesti sen lyhyet aallonpituudet voivat kuitenkin vahingoittaa verkkokalvoa ja sen herkkiä aistinsoluja.

Tämä johtuu siitä, että näkyvän valon lyhyiden aallonpituuksien sisältämillä fotoneilla on niin suuri energia, että ne voivat vaurioittaa silmänpohjaa suhteellisen helposti.

Tavanomaiset valonlähteet eli lamput lähettävät kaikkia näkyvän valon aallonpituuksia. TV-studioissa ja television lähetysautoissa käytetään tehokkaita valonheittäjiä, jotka lähettävät näkyvän valon lyhyempiä aallonpituuksia ja saattavat olla haitallisen voimakkaita. Valaistustarkoituksiin valmistettuja lamppeja käsitellään luvussa 6 UV-säteilylle altistuminen, koska näkyvän valon lisäksi lamput tuottavat jonkin verran UV-säteilyä.

Myös erityyppisissä hitsaustöissä syntyy erittäin kirkasta lyhytaaltoista näkyvää säteilyä (kuva 8.1). Siten lyhytkin suojaamattomien silmien altistuminen hitsausvalokaaren kirkkaalle näkyvälle valolle voi aiheuttaa verkkokalvovaurioita.

Näkyvän valon aiheuttamat silmänpohjan verkkokalvovauriot johtuvat sekä liiasta lämmöstä että fotokemiallisista muutoksista. Näkyvän valon aiheuttamia lämpövaurioita tapahtuu verkkokalvolla, kun noin kymmenen mikrometrin (μm) paksuiseen pigmenttiepiteelikerrokseen absorboitunut säteilyenergia poistuu johtumalla ympäristöönsä. Vaurion sijainnilla verkkokalvolla on merkitystä, koska tarkimman näkemisen alue on verkkokalvon keskellä, (katso luku 2.3 Optinen säteily ja silmä). Lämpövaurion syntyyn vaikuttaa myös verkkokalvolle muodostuvan kuvan koko. Pienen kuvan ympäröivä kudος kykenee jäädyttämään tehokkaammin kuin suuren. Esimerkiksi jos



Kuva 8.1 Esimerkki MIG-hitsauksessa syntyvästä näkyvän säteilyn spektristä

Hitsauksessa syntyy UV-säteilyn lisäksi voimakasta, erittäin kirkasta lyhytaaltoista näkyvän valon aallonpituuksilla olevaa säteilyä. Hitsauksesta on enemmän luvussa 6.

verkkokalvolle yhden sekunnin ajan osuva säteily, jonka tehotehoisuus on noin 10 W/cm^2 , tuottaa $1\ 000 \mu\text{m}$ kuvan, niin vauriokynnys ylittyy. Vastavasti verkkokalvo kuitenkin kestää vaurioitumatta yhden sekunnin ajan 1 kW/cm^2 tehotehoisuutta, jos muodostuvan kuvan koko on vain $20 \mu\text{m}$.

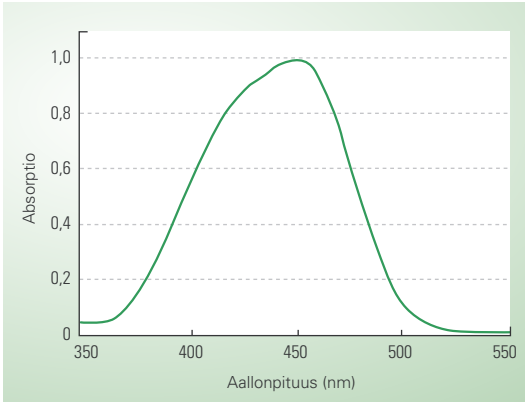
Verkkokalvon fotokemialliset vauriot tapahtuvat edellisestä poiketen ilman merkittävää kudoslämpötilojen nousua. Erityisesti näkyvän valon aallonpituuden pienentyessä alle 500 nm eli sinisen valon alueelle, säteilykvanttien energian kasvu tehostaa verkkokalvon fotokemiallisten vaurioiden syntyä. Verkkokalvo vaurioituu erityisen herkästi lyhytaaltoisen ”sinisen valon” vaikutuksesta, koska sinisen valon sisältämien fotonien energia on suurempi kuin pitkäaalloisemman säteilyn, esimerkiksi vihreän ja punaisen valon fotonien energiat. Mitä suurempi energia fotoneilla on, sitä herkemmin silmänpohjassa tapahtuu fotokemiallisia vaurioita. Verkkokalvo vaurioituu hyvin herkästi aina 400 nm asti. UV-A-alueella silmän uloimpien kerrosten suodattava vaikutus tehostuu ja tästä syystä UV-A-säteily ei pääse tunkeutumaan juurikaan verkkokalvolle saakka, kuten luvussa 3 kuvassa 3.1, on esitetty.

Fotokemiallisten vaurioiden syntymiseen on todettu ainakin kaksi syntytapaa. Toinen niistä syntyy silmän sauva- ja tappisolujen fotopigmentin absorboidessa säteilyä ja aiheuttaen fotoreseptorien vaurioitumisen. Toinen mekanismi aiheuttaa vaurion verkkokalvon pigmenttiepiteeliin siellä olevien melaniinijyvästen absorboidessa valoa. Aineenvaihdunnallinen yhteys fotoreseptorien ja verkkokalvon pigmenttiepiteelikerroksen kanssa on niin merkittävä, että vaurio kumpaan tahansa solukerrokseen vaikuttaa haitallisesti koko verkkokalvon toimintaan ja saattaa heikentää näköä.

Näkyvän valon verkkokalvolle synnyttämä vaurio voi olla pysyvä tai tilapäinen. Sinisen valon reseptorien herkkyyks voi heikentyä jopa 90 prosenttia, ja vaikutus voi kestää useita kuukausia.

Sinivalohoito

Näkyvällä valolla on myös terapeuttisia vaikutuksia. Näkyvän valon sinisillä aallonpituuksilla voidaan hoitaa vastasyntyneen keltatauti, jossa vauvan iho ja silmät värjäytyvät keltaiseksi johtuen verenkierrossa olevasta ylimääräisestä keltaisesta sappiväriaineesta, bilirubiinista. Bilirubiinia syntyy punasolujen sisältämän hemoglobiinin hajotessa. Vastasyntyneillä punasoluja saattaa hajota normaalia enemmän esimerkiksi enneaikaisen tai vaikean synnytyksen seurauksena. Normaalisti maksa käsittelee ja



Kuva 8.2 Bilirubiinin absorptiospektri

Bilirubiinin absorptiospektristä havaitaan, että sininen valo absorboituu bilirubiinimolekyylisiin tehokkaimmin 450 nm kohdalla.

muuntaa verenkierrassa olevan bilirubiinin vesiliukoiseksi niin, että se poistuu sappinesteen ja virtsan mukana pois elimistöstä. Vastasyntyneen maksa on kuitenkin vielä kypsyttämätön. Mikäli bilirubiinia muodostuu vastasyntyneellä runsaasti, maksa ei pysty käsittelemään sitä, vaan se kertyy vereen ja värjää vauvan ihon keltaiseksi. Ihon keltaisuus ei sinänsä ole haitallista, mutta veren korkea bilirubiinipitoisuus saattaa aiheuttaa vaurioita vastasyntyneen aivoihin. Tämä johtuu siitä, että vastasyntyneillä aivoverisuonien veri-aivoeste, joka normaalisti suojelee aivokudosta verenkierrassa olevilta kuona-aineilta, on vielä kehittymätön. Bilirubiini pääsee tunkeutumaan aivojen puolelle ja lisää aivovaurioiden syntymisen riskiä. Tästä syystä voimakas keltaisuus vaatiikin hoitoa.

Vauvan keltaisuutta tutkitaan silmämääräisesti, valomittarilla tai verikokeella. Keltataudissa käytettävän hoidon valinta riippuu bilirubiinin pitoisuuden lisäksi muun muassa vauvan iästä ja painosta. Valohoidossa käytetään sinistä valoa aallonpituusalueella 420–480 nm. Nämä aallonpituudet vaikuttavat vapaaseen bilirubiiniin ihossa kahden millimetrin syvyydessä hajottaen iholle kertynyttä ja ihon pintaverisuonissa veren mukana kiertävää bilirubiinia. Sininen valo absorboituu bilirubiinimolekyylisiin ja muuttaa bilirubiinin vähemmän myrkylliseen ja vesiliukoiseen muotoon, jolloin se poistuu elimistöstä virtsan kautta. Sinivalohoito tapahtuu yleensä lapsivuodeosastolla ja yleensä valohoito kestää 1–3 päivää, kunnes bilirubiinipitoisuus on riittävästi laskenut. Valohoidon aikana vauva pidetään sinivalolampun alla ilman vaatteita, mutta silmät suojattuina.

Valohoidon tehokkuus riippuu säteilyn voimakkuudesta, aallonpituudesta ja siitä, kuinka suuri pinta-ala saa säteilyä. Bilirubiinin absorptiomaksimi on aallonpituudella 450 nm, mutta valon aallonpituuden kasvaessa vihreään päin valo tunkeutuu syvemmälle kudokseen, jolloin hoito tehostuu (kuva 8.2). Säteilytys tapahtuu useimmiten siten, että irradianssi iholla on 10–50 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$. Säteilytys voi tapahtua lamppujen tai vauvan alle sijoitettavan optisen kuitumaton avulla.

Sinivalohoidon aikana on huolehdittava myös siitä, ettei muiden vauvojen silmiin osu hajavaloa, sillä sinivalon aallonpituusalueella silmän vauriot ovat mahdollisia. Joskus tarvitaan nopeammin vaikuttavaa hoitoa, jos keltaisuus on hyvin voimakasta. Tällöin vauvalle tehdään verenvaihto bilirubiinin poistamiseksi elimistöstä. Tämä on kuitenkin harvinaista.

Kirkasvalohoito

Auringonvalon vähäinen määrä syksyllä ja talvella aiheuttaa ihmisille väsymystä ja jopa masennusoireita. Noin 40 prosentille suomalaisista aikuisista ilmaantuu talvisin kaamosoireita ja alle prosentti sairastaa kaamosmasennusta. Myös vuorotyöt ja aikaerot häiritsevät sisäistä kelloa. Lääkehoidon ohella kirkasvalohoito on osoittautunut tehokkaaksi keinoksi ehkäistä vuodenajasta tai aikaeroista johtuvia oireita. Kaikki ihmiset eivät kuitenkaan saa kirkasvalosta helpotusta oireisiinsa.

Kirkasvalohoidossa ”sisäinen kello” ohjelmoidaan uudelleen. Tämä tapahtuu altistamalla silmiä voimakkaalle näkyvälle valolle, joka vähentää aivojen käpyrauhanen tuottaman melatoniini-hormonin määrää. Melatoniini säätelee unta ja sitä erittyy nimenomaan pimeään aikaan eli öisin tai toisaalta kaamoksen aikaan, jolloin ei saada riittävästi valoa.

Kirkasvalohoitoa annetaan erityisillä klinikoilla, mutta myös kotikäyttöön tarkoitetut kirkasvalolaitteet ovat yleistyneet jatkuvasti. Uusin kaamosoireiden hoitoon tarkoitettu tuote on sarastusvalolaite. Se voidaan ajastaa siten, että valaistusvoimakkuus kasvaa pikku hiljaa ennen heräämistä. Parhaiten kirkasvalolamppu toimii väsymyksen ehkäisemisessä, jos sitä käytetään samaan aikaan aamupäivisin säännöllisesti läpi talven ja noin viisi kertaa viikossa. Lamppuun ei tarvitse suoraan katsoa, mutta silmiä täytyy pitää auki.

Valon aallonpituus tai lampputyyppe, esimerkiksi loiste- tai hehkulamppu, eivät ole niin ratkaisevia kuin lampun valaistusvoimakkuus. Valohoidoissa käytetään 2 500 luksin (lx) valaistusvoimakkuutta 1–2 tunnin ajan

päivittäin. Vastaava teho saavutetaan 30 minuutin pituisella 10 000 luksin valohoidolla. Vertailun vuoksi sisävalaistus on alle 500 luksia, ulkona oleva valo pilvisenä päivänä on 1 000–5 000 luksia ja keskikesän auringon paisteessa on jopa 50 000 luksia tai enemmän. Jos ulkona on aurinkoista, kannattaa lampun eteen jäämisen sijasta ulkoilla, koska ulkona altistuu suuremmalle luksimäärälle. Tehokkainta olisi käyttää sarastus- ja kirkasvalolamppua sekä harrastaa liikuntaa säännöllisesti.

Vaikka valon aallonpituudella ei olekaan yhtä suurta merkitystä kuin lampun emittoiman säteilyn valaistusvoimakkuudella, niin kirkasvalolampun emittoiman spektrin tulisi painottua enemmän vihreän värin aallonpituusalueelle kuin sinisen tai punaisen, koska silmä on herkempi vihreälle valolle ja sillä on saatu parhaat hoitotulokset. UV-aallonpituuksia ei kirkasvalohoidossa tarvita. Päinvastoin, mahdollinen kirkasvalolampun tuottama UV-säteily pitää suodattaa pois silmien suojaamiseksi UV-säteilyn haitoilta.

Kirkasvalohoitoa, jossa käytetään 2 500–10 000 luksin valaistusvoimakkuutta, pidetään suhteellisen turvallisena silmille. Yleiset haittavaikutukset ovat lieviä, mutta häikäisyä voidaan pitää varoitusmerkinä, samoin kuin silmien rasittumista tai näköhäiriöitä. Yleensä haittavaikutukset ovat ohimeneviä tai ne voidaan poistaa vähentämällä valon annostusta. Silmä- ja verkkokalvosairauksia sairastavien kannattaa keskustella silmälääkärin kanssa ennen kirkasvalohoidon aloittamista. Myös valolle herkistäviä lääkkeitä käytettäessä, tai jos henkilöllä on verkkokalvoon vaikuttavia elimellisiä sairauksia, on syytä keskustella ensin lääkärin kanssa.

Loistediodit

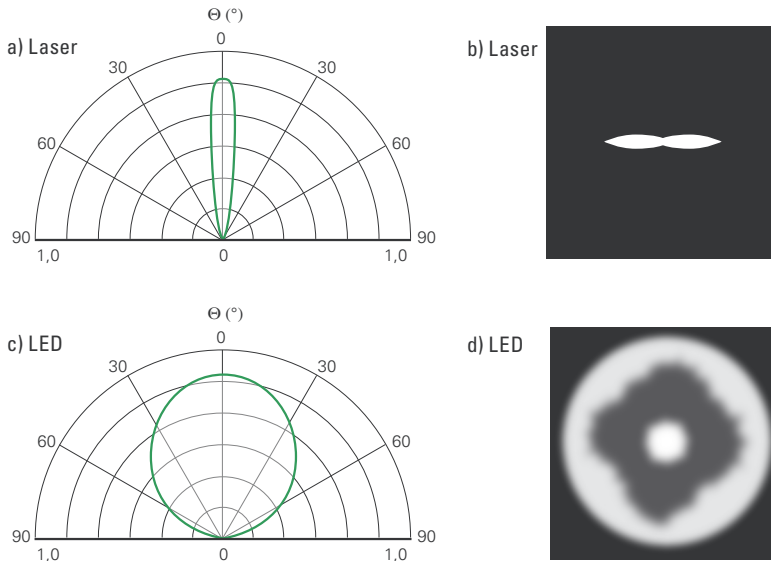
Loiste- eli valodiodi eli LED (Light-Emitting Diode) lähettää näkyvää tai näkymätöntä säteilyä, kun siihen johdetaan sähkövirtaa. LED on rakenteeltaan yksinkertainen puolijohdekomponentti, jossa puolijohdesiru on valo tai säteilyä tuottava osa. Loistediodin lähettämän säteilyn aallonpituus määräytyy siinä käytettävän puolijohteen materiaalien ja pinnoitteiden perusteella. Tyypillisen näkyvän valon aallonpituuksilla toimivan valodiodin spektri on aallonpituusalueella 450–650 nm. IR-alueella toimivien IR-LEDien spektri on tyypillisesti 800–1 500 nm. LED-tekniikan kehittyminen on tuonut markkinoille näkyvän valon ja infrapuna-alueella toimivien LEDien lisäksi UV-aallonpituusalueella toimivia UV-LEDEjä.

Pienitehoisia valodiodeja käytetään merkkivaloina, valokyltteinä ja leluissa. Taistelupeleihin käytettävistä leluista käytetään yleisesti nimeä laserpeli,

mutta sanaa ”laser” käytetään näissä leluissa lähinnä mainonnan edistämiseksi, koska valolähteenä käytetään lasersäteilyn sijasta infrapuna-aallonpituuksilla toimivaa loistediodia tai tavallista lampun polttimoa. Näkyvämmällä infrapuna-alueella diodit (IR-LED) ovat yleistyneet myös kuituoptisissa ja langattomissa tietoliikennesovelluksissa ja niitä käytetään myös television ja stereolaitteiden kaukosäätimissä. Suuritehoisia valodiodoja käytetään valaistuksessa, kuten liikennevaloissa ja hälytysajoneuvoissa. UV-LEDit toimivat UV-A-aallonpituuksilla ja niiden käyttökohteet ovat yleensä samoja mustavalolamppujen kanssa, kuten esimerkiksi rahantunnistulaitteissa tai tehostevaloina. Mustavalolamppuja ja niiden käyttöä käsitellään tarkemmin luvussa 6.

Tehokkaiisiin LEDeihin voi sisältyä silmävauriovaara samalla tavoin kuin lasersäteilyä hyväksi käytettäviin laitteisiin. Se, että silmällä ei pysty visuaalisesti havaitsemaan IR-LEDien infrapunasäteilyä eli kyseessä on ”näkyvä säde”, ei automaattisesti merkitse sitä, että säteily olisi silmän kannalta turvallista. Ensimmäiset LED-sovellukset olivat lähinnä merkkivaloja, jotka olivat niin pienitehoisia, että niihin ei sovellettu mitään turvallisuussuosituksia. Valodiodien tehon kasvaessa ja tietoliikennesovelluksissa käytettävien IR-LEDien vastatessa täysin lasersäteilyä tuottavien diodien toimintaa, niiden alettiin epäillä olevan yhtä haitallisia silmälle kuin mitä lasersäteily on. Tämän vuoksi LEDien turvallisuusstandardiksi vahvistettiin viime vuosikymmenen alussa kansainvälinen IEC-laserstandardi (IEC 60825-1, 1993). Kuitenkin myöhemmät arvioinnit ovat osoittaneet LED-lähteiden olevan huomattavasti silmäturvallisempia kuin laserit, joten vuonna 2007 LED-lähteet poistettiin laserstandardin kohderyhmistä. Nykyään niihin sovelletaan kansainvälisen valaistuskomitean CIE:n epäkoherenttia optista säteilyä koskevaa standardia (CIE S009:2002).

Vaikka LEDien tuottama säteily on epäkoherenttia ja se on aallonpituudeltaan laajakaistaisempaa verrattuna lasersäteilyyn, LEDit muistuttavat monilta muilta ominaisuuksiltaan enemmän koherentteja laserlähteitä kuin tavallisia epäkoherentteja lamppulähteitä. Spektrin aallonpituuskaista on muutamia kymmeniä nanometrejä, joten säteily ei ole täysin monokromaattista mutta ei myöskään laajakaistaista. Lisäksi säteily-spektri ja sen haittavaikutukset rajoittuvat useimmiten vain yhden fotobiologisen spektrikaistan alueelle, mikä on enemmän tyypillistä lasersäteilylle. LEDissä säteilykeila hajoaa voimakkaasti, joten sitä suunnataan yleensä linssi(e)n avulla. Mitä kapeampi säteilykeila on, sitä voimakkaampi ja kirkkaampi se on. Muutamia laserdiodin ja valodiodin eroavuuksia on havainnollistettu kuvassa 8.3.



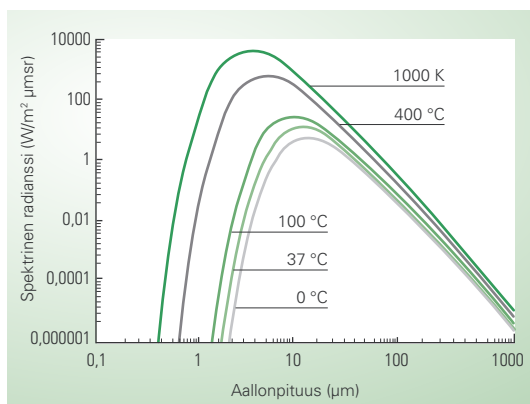
Kuva 8.3 Laserdiodin ja valodiodin (LEDin) säteen hajoaminen

Kuvasta nähdään selvästi miksi laserdiodi on vaarallisempi silmälle verrattuna valodiodiin: a) laserdiodin säteily lähtee hyvin kapeana keilana, b) pieneltä pinta-alalta. c) valodiodin säteily puolestaan leviää enemmän, ja d) säteilevän pinta-alan koko on suurempi. Valodiodin säteilemä energia leviää nopeasti suurelle alalle, kun taas laserdiodin säteily etenee kapeana keilana mahdollistaen säteilyn kohdistumisen silmässä pieneksi pisteeksi hyvinkin kaukana säteilylähteestä. Säteilytehon lisääntyminen lisää myös valodiodin säteilyvaaraa, mutta säteilyä ei voi fokusoida verkkokalvolle yhtä pieneksi pisteeksi kuin laserin säteilyä.

Voimakkaan LEDin aiheuttama silmävamma on sama kuin minkä tahansa optisen säteilyn haittavaikutus alueella 400–1 400 nm eli aallonpituudesta riippuen joko terminen tai fotokemiallinen verkkokalvovaurio. Kuitenkaan yhtään LEDin aiheuttamaa silmävammaa ei ole raportoitu tieteellisessä kirjallisuudessa, vaikka diodilasereiden aiheuttamia silmätapaturmia on sattunut useasti.

8.2 Infrapunasäteily

Infrapunasäteily eli IR-säteily (Infra Red) on näkyvää valoa pitempiaaltoista säteilyä, jota kutsutaan myös lämpösäteilyksi. Infrapunasäteilyn aallonpituusalue on hyvin laaja ulottuen 780 nanometristä yhteen millimetriin



Kuva 8.4 Säteilevän kappaleen lämpötilan vaikutus sen lähettämään IR-säteilytehoon

Säteilyn spektri on jatkuva eli se tarkoittaa, että kappale säteilee kaikilla aallonpituuksilla.

saakka. Lähi-infrapunasäteilyn eli IR-A-säteilyn aallonpituusalue on 780–1 400 nm; keski-infrapunasäteilyn eli IR-B-säteilyn aallonpituusalue on 1 400–3 000 nm ja kaukoinfrapuna-alueen eli IR-C-säteilyn aallonpituusalue on 3 000 nm – $1 \cdot 10^6$ nm.

Voimakasta infrapunasäteilyä esiintyy teollisuudessa metallin tai lasin käsittelyssä kuumennus- ja sulatusuunien lähellä sekä valssaamoissa, joissa käsitellään hehkuvia metalleja. Sulatusuunien lähellä työskentelevien lasinpuhaltajien päivittäinen säteilyannos on jopa 20 MJ/m^2 , josta noin kymmenen prosenttia on alle 1 400 nm säteilyä.

Kaikki kappaleet säteilevät jonkin verran infrapunasäteilyä ja spektri- ja kauma riippuu säteilijän lämpötilasta. Kuvasta 8.4 havaitaan, että mitä kuumempi säteilijä on, sitä suurempi on sen säteilyteho ja sitä lyhyempiaaltoista sen säteily on.

IR-säteilyn aallonpituuksilla säteilykvanttien energiat ovat pienempiä kuin näkyvän valon tai UV-säteilyn aallonpituuksilla. IR-säteilyn absorboituminen kudoksiin aiheuttaa muutoksia atomien värähdystiloissa, joka johtaa kudosten lämpenemiseen. IR-säteilyn aiheuttamat vauriot ovatkin siis kudosten liiallisesta lämpenemisestä johtuvia. Fotokemiallisia reaktioita ei esiinny pelkän IR-säteilyaltistuksen seurauksena.

Lähi-IR-A-säteily tunkeutuu ihossa muutaman millimetrin syvyyteen. Lähi-IR-säteilyn kudoksia lämmittävää ominaisuutta käytetään hyväksi fysikaalisissa hoidoissa, jossa sen avulla lämmitetään ja rentoutetaan esimerkiksi lihaksia. Aallonpituuden kasvaessa vesimolekyylit alkavat kuitenkin

absorboida optista säteilyä voimakkaasti ja IR-B-aallonpituuksilla säteilyn tunkeutumissyvyys ihoon alkaa pienetä. Vesi absorboi erittäin hyvin yli 5 000 nm aallonpituista IR-C-säteilyä. Tästä syystä infrapunasäteily tunkeutuukin tätä korkeammilla aallonpituuksilla vain ihon päällimmäiseen kerrokseen eli marrasketeen asti.

Infrapunasäteily tunkeutuu eri tavalla myös silmään riippuen tarkasteltavasta aallonpituusalueesta. Alle 1 400 nm IR-säteily etenee pisimmälle eli verkkokalvolle asti. Alueella 1 400–1 900 nm IR-säteily absorboituu silmän sarveiskalvoon ja etukammionesteeseen, mutta yli 1 900 nm säteily absorboituu vain sarveiskalvoon (Kuva 3.1, luku 3). Toisin sanoen, IR-säteily tunkeutuu sitä syvemmälle silmään mitä lyhytaaltoisempaa se on. Lyhytaaltoisen IR-säteilyn absorboituessa silmään voi seurauksena olla mykiön samentuma.

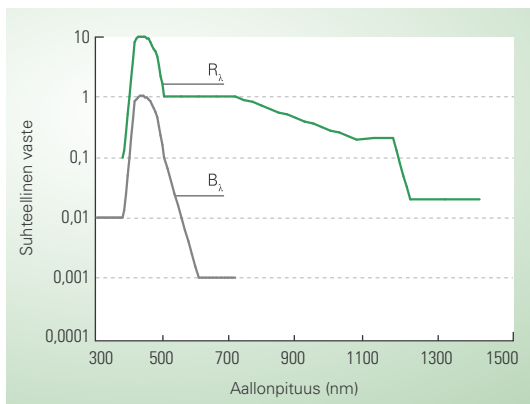
Infrapunasauvat

Viime aikoina yleistyneitä IR-säteilyn lähteitä ovat infrapunasauvat, joita käytetään erilaisiin hoito- ja virkistystarkoituksiin sekä kylpylöissä, kuntosaleilla että kodeissa. Säteilylähteenä toimii yleensä 1–3 kW tehoinen kerääminen lämmitin, joka tuottaa pitkäaaltoista IR-säteilyä (5,6–15 μm). Perinteisestä saunasta infrapunasauva eroaa siten, että ilman lämpötila pysyy hyvin alhaisena, 43–54 °C välillä. Kuitenkin IR-sauna aiheuttaa voimakasta hikoilua, koska infrapunasäteily tunkeutuu syvälle ihoon ja ihonalaiset kudokset lämpenevät IR-säteilyn vaikutuksesta.

IR-säteilyn on todettu lievittävän kipua laajentamalla ääreisverisuonia. Tästä syystä IR-lamppuja onkin käytetty jo kauan erilaisten lihas- ja nivelongelmien hoidossa. Lisäksi IR-saunaa pidetään alhaisen lämpötilansa vuoksi sopivana myös henkilöille, joille perinteinen saunominen korkeassa lämpötilassa ei sovi esimerkiksi verenkiertoelimistön ongelmien vuoksi. IR-saunan käyttö on hyvin suosittua myös subjektiivisten rentoutus- ja virkistysvaikutusten takia. Sen sijaan tutkimustietoa mahdollista toistuvan tai pitkäaikaisen altistumisen haitoista ei ole toistaiseksi olemassa.

8.3 | Altistumisrajat näkyvälle valolle ja IR-säteilylle

Suomen lainsäädännössä ei ole määritelty väestöön kohdistuvia näkyvän valon altistumisrajoja. Aikaisemmin työsuojelulainsäädännössä ei ole ollut raja-arvoja myöskään työperäiselle näkyvän valon altistumiselle, vaikka



Kuva 8.5 Sinisen valon silmälle aiheuttamaa fotokemiallista vauriota kuvaava vaikutusspektri B_{λ} ja vastaavasti näkyvän valon ja IR-A-säteilyn lämpövauriota kuvaava vaikutusspektri R_{λ}

Aallonpituusalue 300–700 nm kattaa osan UV-B-säteilystä, UV-A-säteilyn kokonaan ja suurimman osan näkyvästä säteilystä. Näihin liittyvään riskiin viitataan yleisesti aiemmin käytetyllä ilmauksella ”sininen valo”. Tarkasti ottaen sininen valo kattaa ainoastaan suunnilleen 400–490 nm välisen aallonpituusalueen, joka on kuitenkin silmän verkkokalvovaurion kannalta ehdottomasti vaarallinen alue, kuten kuvasta voidaan havaita.

työntekijät saattoivatkin altistua voimakkaalle ja kirkkaalle lyhytaaltoiselle ”siniselle valolle”, esimerkiksi hitsauksen aikana. Altistumisen arvioinnissa ja turvatoimenpiteiden määrittämisessä käytettiin kansainvälisten asiantuntijajärjestöjen, kuten ICNIRPin (International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection) ja ACGIHin (American Conference of Government Industrial Hygienists) suosituksia. EU:n komission annettua vuonna 2006 optisen säteilyn direktiivin 2006/25/EY¹, työntekijöiden altistumisraajat keinotekoiselle näkyvälle valolle ja infrapunasäteilylle määräytyvät tämän direktiivin mukaan viimeistään vuonna 2010, jolloin se on laitettava täytäntöön kohdemaissaan. Tiivistelmä EU:n optisen säteilyn direktiivissä esitettyistä raja-arvoista löytyy kirjan lopussa olevasta liitteestä 4.

Kuten UV-säteilyn niin myös näkyvän valon ja IR-säteilyn haittavaikutukset silmään riippuvat aallonpituudesta. Eri aallonpituuksien erilainen biologinen vaikutus otetaan huomioon vaikutusspektrillä. Kuvassa 8.5 on esitetty vaikutusspektrit, joissa otetaan huomioon sinisen valon silmälle

¹⁾ Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2006/25/EY, terveyttä ja turvallisuutta koskevista vähimmäisvaatimuksista työntekijöiden suojelemiseksi altistumiselta fyysisistä tekijöistä (keinotekoinen optinen säteily) aiheutuville riskeille

aiheuttaman fotokemiallisen vaurion aallonpituusriippuvuus sekä näkyvän valon ja IR-A-säteilyn silmälle aiheuttaman lämpövaurion aallonpituusriippuvuus.

Laskettaessa ja arvioitaessa säteilylähteen voimakkuutta, sinistä valoa tuottavan säteilylähteen spektrinen radianssi eli ”kirkkaus” painotetaan vaikutusspektrillä B_λ . IR-säteilyä tuottavan säteilylähteen spektrinen radianssi painotetaan puolestaan vaikutusspektrillä R_λ . Saatuja lukuarvoja verrataan optisen säteilyn direktiivissä annettuun altistumisrajaan tarkasteltavalle optisen säteilyn aallonpituudelle (liite 4). Nämä raja-arvot on määritetty niin, että pysyttäessä näiden altistumisrajojen alapuolella, silmässä estetään sinisen valon aiheuttamien fotokemiallisten vaurioiden syntyminen tai vastaavasti IR-säteilyn aiheuttamien lämpövaurioiden syntyminen.

Laajakaistaisen infrapunasäteilyn (780–3 000 nm) silmäaltistumisrajat ottavat huomioon säteilyn äkilliset vaikutukset ja kaihinhoidon kehittymisen. Jatkuvalle altistumiselle, kun altistumisaika on suurempi kuin 1 000 sekuntia, raja-arvo on 100 W/m² ja tilapäiselle altistumiselle, kun altistumisaika ≤ 1000 sekuntia, raja-arvo on 1 000 W/m².

KIRJALLISUUTTA

Näkyvä valo

ICNIRP. Guidelines on Limits of Exposure to Broad-Band Incoherent Optical Radiation (0.38 to 3 μ m). *Health Physics*, 73 (3): 539–554, 1997.

ICNIRP. Statement on Far Infrared Radiation Exposure. International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection. *Health Physics* 91 (6): 630–645, 2006.

Sinivalohoito

Migliorini MG, Galvan P, Sbrana G, Donzelli G P, Vecchi C. Bilirubin photoconversion induced by monochromatic laser radiation. Comparison between aerobic and anaerobic experiments in vitro. *Biochemical Journal*, 256: 841–846, 1988.

Kirkasvalohoito

Kosonen P. Valohoitolaitteiden säteilyturvallisuus kaamosmasennuksen ja hyperbilirubinemian hoidossa. Diplomityö. Teknillinen korkeakoulu, sähkötekniikan osasto, 1997.

Levitt AJ, Lam RW. Canadian Consensus Guidelines for the Treatment of Seasonal Affective Disorder. Clinical and Academic Publishing, 1999.

Partonen T. Seasonal affective disorder. The clinical picture and the effects of bright light treatment in winter depression. Publications of The National Public Health Institute, Series A 13/1995 [dissertation]. Helsinki: University of Helsinki, 1995.

Partonen T. Talvisin toistuva masennustila. *Duodecim*, 107: 680–68, 1991.

Loistediodit

Commission International de l'Eclairage (CIE). Photobiological safety of lamps and lamp systems. CIE S 009/E:2002. Wien, 2002.

ICNIRP Statement on light emitting diodes (LEDs) and laser diodes: Implications for hazard assessment. *Health Physics* 78 (6): 744–752, 2000.

International Electrotechnical Commission (IEC). Safety of laser products—
Part 1: Equipment classification, requirements and user's guide. 60825-
1:1993+A2:2001. Geneva, 2001.

Infrapunasäteily

ICNIRP Statement on Far Infrared Radiation Exposure. Health Physics
91(6):630–645, 2006.