

LÄÄKELAITOKSEN JULKAISUSARJA 4/1998

Terveydenhuollon laadunhallinta

**Valohoitolaitteet, niiden UV-säteily ja valohoitojen
laadunvarmistus**

Laura Huurto
Kirsti Leszczynski
Reijo Visuri
Lasse Ylianttila
Kari Jokela



LÄÄKELAITOS
LÄKEMEDELVERKET
NATIONAL AGENCY
FOR MEDICINES

Valohoitolaitteet, niiden UV-säteily ja valohoitojen laadunvarmistus

Laura Huurto, tarkastaja
Kirsti Leszczynski, ylitarkastaja
Reijo Visuri, tarkastaja
Lasse Ylianttila, tutkimusassistentti
Kari Jokela, tutkimusprofessori, dosentti
Säteilyturvakeskus, Ionisoimattoman säteilyn laboratorio

Kannen kuva: Teuvo Parviainen

Jakelu:
Lääkelaitos
Terveystieteiden tutkimuskeskus
PL 55
00301 HELSINKI
puh. (09) 4733 4242

ISBN 952-5099-22-9
ISSN 1238-8777

ESIPUHE

Keinotekoista ultraviolettisäteilyä (UV-säteilyä) käytetään eräiden ihosairauksien, kuten psoriasiksen hoitoon. Pitkäaikaisiin valohoitoihin on todettu liittyvän kohonnut riski okasolusyöpään. Suomessa valohoitoja annetaan sekä sairaaloiden ihotautiklinikoilla että yksityisillä lääkäriasemilla.

Säteilyturvakeskus selvitti vuosina 1992-1995 Suomessa käytössä olevan valohoitolaitekannan sekä mittasi valohoitolaiteiden UV-säteilyn spektrit ja annosnopeudet. Samalla arvioitiin myös hoitohenkilökunnan UV-altistusta. Tukimusta jatkettiin vuonna 1996 Lääkelaitoksen rahoituksella. Tällöin täydennettiin valohoitolaiteiden spektrimittauksia ja kalibroitiin kaikki yliopisto- ja keskussairaaloiden käyttämät UV-mittarit sekä määritettiin eri mittarimerkkien spektriset herkkyudet. Lisäksi testattiin Säteilyturvakeskuksessa kehitetyn laskennallisen kalibroitimenetelmän soveltuvuutta UV-mittarien kalibroitikertoimen määrittämiseen.

Tässä julkaisussa käsitellään UV-säteilyn biologisia vaikutuksia ja valohoitolaiteiden tekniikkaa, esitellään Suomen keskussairaaloissa käytettävät valohoitolaitteet ja UV-mittarit sekä niille tehdyt mittaukset. Lisäksi julkaisussa annetaan suositukset valohoitolaiteiden laadunvarmistuksesta ja potilaiden UV-annosten määrittämisestä.

Lääkelaitos on omalta osaltaan pyrkinyt edistämään laadunhallinnan käyttöönottoa terveydenhuollossa. Tässä tarkoituksessa Lääkelaitoksen julkaisusarjassa ilmestyi vuonna 1997 ensimmäinen laadunhallintajärjestelmän perusteita ja käsitteitä sisältävä selvitys, joka käsitteli *terveydenhuollon laitteiden ja tarvikkeiden hankintaa, käyttöä ja ylläpitoa*. Tämä julkaisu muodostaa jatkon terveydenhuollon laadunhallintaa käsittelevälle kokonaisuudelle.

Lääkelaitos toivoo tämän julkaisun olevan apuna terveydenhuollon organisaatioille laadunhallintajärjestelmien kehittämistyössä. Julkaisu on tarkoitettu kaikille valohoidosta sekä valohoitolaiteiden toimintakuntoisuudesta vastaaville henkilöille - sekä terveydenhuollon yksiköissä että huolto- ja korjauspalveluja tarjoavissa yrityksissä.

Tämän julkaisun perustyön on tehnyt Säteilyturvakeskuksen Ionisoimattoman säteilyn laboratorio. Parhaat kiitokset tekijöille.

Helsingissä syyskuussa 1998

Hannes Wahlroos
Ylijohtaja

Petri Pommelin
Yksikön päällikkö

Huurto L, Leszczynski K, Visuri R, Ylianttila L, Jokela K. Valohoitolaitteet, niiden UV-säteily ja valohoitojen laadunvarmistus.

Avainsanat: UV-säteily, valohoidot, eryteema, annosnopeus, laadunvarmistus

TIIVISTELMÄ

Keinotekoista ultraviolettisäteilyä (UV-säteilyä) käytetään eräiden ihosairauksien, kuten psoriasiksen hoitoon. Pitkäaikaisiin valohoitoihin on todettu liittyvän kohonnut riski okasolusyöpään.

Tässä raportissa kuvataan UV-säteilyn biologisia vaikutuksia ja valohoitolaitteiden tekniikkaa, esitellään Suomen keskussairaaloiden käyttämät valohoitolaitteet sekä niistä mitatut UV-säteilyn spektrit ja annosnopeudet. Lisäksi kuvataan sairaaloiden käyttämät UV-mittarit ja annetaan niille kalibrintikertoimet valohoitolaitteiden annosnopeuden mittaamista varten.

Lopuksi annetaan suositukset valohoitolaitteiden laadunvarmistuksesta ja potilaiden UV-annosten määrittämisestä.

Huurto L, Leszczynski K, Visuri R, Ylianttila L, Jokela K. Phototherapy appliances, their ultraviolet radiation and quality assurance of phototherapy.

Key words: UV-radiation, phototherapy, erythema, dose rate, quality assurance

ABSTRACT

Artificial UV radiation (UVR) is used in the treatment of psoriasis and other skin diseases. Long term phototherapy is associated to increased risk of squamous cell carcinoma.

This report gives a short review of biological effects of UVR and technical aspects of phototherapy units. The phototherapy units used in Finnish Central hospitals are described and the measured UVR dose rates of these units are presented. In addition, the UVR meters used in hospitals are described and the calibration factors are given for UVR dose rate measurements.

Finally, recommendations are given for the quality assurance of phototherapy units as well as for assessing UVR doses of patients.

Sisällysluettelo

ESIPUHE	3
TIIVISTELMÄ	4
ABSTRACT	5
1 JOHDANTO	9
2 ULTRAVIOLETTISÄTEILY JA SEN MITTAAMINEN	10
2.1 Ultraviolettisäteily	10
2.2 Radiometriset suureet ja käsitteet	10
2.2.1 Irradianssi	10
2.2.2 Säteilytys eli annos	11
2.2.3 Vaikutusspektri ja efektiivinen annos	11
2.2.4 Annosnopeus	12
2.2.5 MED ja SED	12
2.4 Valohoitolaiteiden UV-säteilyn mittaaminen	13
2.4.1 Spektroradiometriset mittaukset	13
2.4.2 Laajakaistaiset mittaukset	14
2.4.2.1 Laajakaistaisten mittareiden kalibrointi	14
2.4.2.2 Antureiden spektrisen herkkyyden määrittäminen	14
3 ULTRAVIOLETTISÄTEILY JA IHO	15
3.1 Ihon rakenne ja optiset ominaisuudet	15
3.2 Ihon reagointi UV-säteilyyn ja suojaimekanismit	16
3.3 Ihotyypit	17
3.4 Eryteema	17
3.5 Eryteeman vaikutusspektrit	18
3.6 UV-säteilyn terapeuttiset vaikutukset	18
3.7 UV-säteilyn karsinogeenisuus	18
4 VALOHOITOLAITTEIDEN RAKENNE JA TEKNIikka	20
4.1 Yleistä	20
4.2 UV-lamput	21
4.3 Laitteiden rakenne	21
4.4 Valotusajat	23
4.5 UV-valohoittojen riskit	23
5 SAIRAALOIDEN VALOHOITOLAITTEET JA MITTAUKSET	24
5.1 Sairaaloitten laitekanta	24
5.1.1 Kokovartalolaitteet	24
5.1.2 Pienikokoiset hoitolaitteet	25
5.2 Mittaukset	25
5.2.1 Spektrimittaukset	25
5.2.2 Laajakaistaisten mittareiden kalibrointi	25
5.2.3 Antureiden spektrisen herkkyyden määrittäminen	26

5.3	Spektrimittausten tulokset	26
5.3.1	UV-lamppujen spektrit	26
5.3.2	Valohoitolaitteiden annosnopeudet	27
5.3.3	Pohdinta	28
5.4	Työturvallisuus	29
6	LAAJAKAISTAISET UV-MITTARIT	30
6.1	Yleistä	30
6.2	Sairaaloiden UV-mittarit	30
6.3	UV-mittareiden kalibrointi	31
6.3.1	Kalibrointimenettely	31
6.3.2	Kalibrointikertoimet	32
6.4	UV-antureiden spektriset herkkyydet	33
6.5	Valohoitolaitteiden sisäiset UV-mittarit	35
6.6	Laskennallinen kalibrointi	35
6.7	Pohdinta	35
7	UV-VALOHOITOJEN LAADUNVARMISTUS	36
7.1	Yleistä	36
7.2	Nykyinen käytäntö	36
7.2.1	Laitteiden säteilytehon seuranta	36
7.2.2	UV-annoksen seuranta	36
7.3	Suosituksset uv-valohoitojen laadunvarmistuksesta	37
7.3.1	Henkilöstö	37
7.3.2	Valohoitolaitteiden käyttö ja huolto	37
7.3.3	Valohoitojen toteutus ja potilasturvallisuus	38
7.3.4	UV-säteilyn annosnopeuden mittaaminen	38
7.3.5	Potilaiden UV-annosten seuranta	39
7.3.6	Yhteenveto laadunvarmistuksen pääkohdista	40
8	JOHTOPÄÄTÖKSET	41
9	KIRJALLISUUSVIITTEET	43
	LIITEET	48

1 JOHDANTO

Valohoidoilla tarkoitetaan ultraviolettisäteilyn (UV-säteilyn) käyttöä erilaisten ihosairauksien hoitoon (Diffey 1982). Suomessa valohoitoja annetaan sekä sairaaloiden ihotautiklinikoilla että yksityisillä lääkäriasemilla. Vuosittain hoidettavien potilaiden määrä yliopisto- ja keskussairaaloissa on noin 5 550 (Jansén ym., käsikirjoitus). Suurin potilasryhmä on psoriaatikot, jotka tarvitsevat usein pitkäaikaista hoitoa (Snellmann 1993). Useissa viime vuosina julkaistuissa tutkimuksissa on tuotu esille, että pitkäaikaiset valohoidot lisäävät merkittävästi potilaan riskiä sairastua okasolusyöpään (Bruynzeel ym. 1991, Forman ym. 1989, Lindelöf ym. 1991, Stern ja Lange 1988, Stern 1990, Stern 1992). Huolestuttavinta on, että myös melanooman riski näyttää kasvavan (Stern ym. 1997). Ihosyöpäriskin vuoksi olisi pyrittävä siihen, että toivottu hoitotulos saavutetaan mahdollisimman vähäisellä säteilyaltistuksella. Tämä on mahdollista kehittämällä hoidon aikana kertyvän UV-annoksen määrityksen tarkkuutta.

Brittiläiset ja yhdysvaltalaiset ihotautilääkärit ovat julkaisseet suosituksen valohoidosta (British 1993, American 1994). Suositukset kattavat laajasti valohoitojen kliinisen käytännön, hoitojen indikaatiot ja kontraindikaatiot, sekä keinot UV-säteilyn haittavaikutusten minimoimiseksi. Suosituksissa esitetään muun muassa, että valohoitolaitteita on seurattava säännöllisesti UV-mittarilla ja että potilaiden hoitokerrat ja kertyvä UV-annos on kirjattava. Lisäksi kehoitetaan suojaamaan kriittiset ihoalueet valotuksen ajaksi sekä minimoimaan potilaiden pitkäaikainen UV-altistus ja välttämään ns. ylläpitohoitoa. Koska kohonnut ihosyöpäriski säilyy vielä useita vuosia valohoitojen päättymisen jälkeen, suositellaan potilaiden säännöllistä ja pitkäaikaista, jopa elinikäistä seuranta-ihosyöprien varhaiseksi toteamiseksi (British 1993, Stern ym. 1997, Wolff 1997).

Suomessa ei toistaiseksi ole annettu vastaavia ohjeita tai suosituksia. UV-valohoitoihin voidaan kuitenkin soveltaa säteilylaissa (592/1991) esitettyjä lääkinnällisen säteilyn käytön oikeutus- ja optimointiperiaatteita. Näiden periaatteiden mukaan valohoidosta on oltava potilaalle enemmän hyötyä kuin haittaa ja altistus on pidettävä niin pienenä kuin hoidon onnistumisen kannalta on mahdollista. Säteilylaissa edellytetään myös, että lääkinnällisessä käytössä oleville säteilylaitteille järjestetään laadunvarmistus.

Säteilyturvakeskus (STUK) aloitti vuonna 1992 tutkimushankkeen, jonka tarkoituksena oli selvittää Suomessa käytössä oleva UV-valohoitojen laitekanta ja parantaa UV-annosten määritystarkkuutta. Vuosina 1992 - 1995 mitattiin 13 yliopisto- ja keskussairaalan käytössä olevien valohoitolaitteiden UV-säteilyn spektrit ja annosnopeudet. Samalla arvioitiin myös hoitohenkilökunnan UV-altistusta (Huurto 1994, Leszczynski 1993, Leszczynski 1994a). Tutkimusta jatkettiin vuonna 1996 Lääkelaitoksen rahoituksella. Tällöin täydennettiin valohoitolaitteiden spektrimittauksia ja kalibroitiin kaikki yliopisto- ja keskussairaaloitten käyttämät UV-mittarit sekä määritettiin eri mittarimerkkien spektriset herkkyudet. Lisäksi testattiin STUK:ssa kehitetyn laskennallisen kalibroitimenetelmän soveltuvuutta UV-mittareiden kalibroitimien määrittämiseen.

Tutkimushankkeen aikana mitattiin lähes 70 valohoitolaitetta, mikä vastaa noin 65 % sairaaloiden laitekannasta sekä kalibroitiin käytännössä kaikki sairaaloiden käyttämät UV-mittarit, joita oli 26 kpl. STUK:n hankkeen lisäksi Turun yliopiston kliinisellä laitoksella on alustavasti selvitetty valohoitaja antavien sairaaloiden ja lääkäriasemien hoito- ja laadunvarmistuskäytäntöä (Jansén ym., käsikirjoitus).

Tässä raportissa esitetään yhteenveto Suomen sairaaloiden valohoitolaitteista ja niissä käytettävistä UV-lampuista sekä UV-säteilyn spektrisestä jakaumasta ja annosnopeuksista, kuvataan sairaaloiden UV-mittarit sekä annetaan kalibroitimikertoimet ja ohjeet mittareiden käytöstä valohoitolaitteiden UV-säteilyn annosnopeuden määrittämiseen. Lisäksi esitetään suositukset valohoitojen laadunvarmistuksen järjestämisestä ja potilaiden UV-annosten seurannasta.

Tavoitteena on kehittää valohoitolaitteiden ja niiden käytön laadunvarmistusta, jotta voidaan parantaa valohoitojen säteilyturvallisuutta ja vähentää tarpeetonta UV-altistusta hoidon tehon heikentymättä. Tarkoituksena on myös antaa valohoitojen parissa työskenteleville lääkäreille ja tutkijoille vertailukelpoista ja radiometrisesti luotettavaa tietoa valohoitolaitteiden UV-säteilyn spektrisestä jakaumasta ja annosnopeuksista.

2 ULTRAVIOLETTISÄTEILY JA SEN MITTAAMINEN

2.1 Ultraviolettisäteily

Ultraviolettisäteily on sähkömagneettista säteilyä, jonka aallonpituus on 100 - 400 nm. Fysikaalisesti UV-säteily on osa ns. ionisoimatonta säteilyä. UV-säteily on myös osa optista säteilyä kuten näkyvä valo ja infrapunasäteily. UV-spektri jaetaan yleensä osa-alueisiin UV-C (200 - 280 nm), UV-B (280 - 320 nm) ja UV-A (320 - 400 nm) (WHO 1979). Näiden osa-alueiden raja-aallonpituudet voivat kuitenkin vaihdella: UV-C:n ja UV-B:n rajana käytetään myös 290 nm (Parrish ym. 1978) ja UV-B:n ja UV-A:n rajana 315 nm (Coblentz 1932, Diffey 1982).

2.2 Radiometriset suureet ja käsitteet

Radiometria käsittelee optisen säteilyn mittauksia ja niihin liittyvää fysiikkaa. Tässä kappaleessa esitellään UV-säteilyn mittauksiin liittyvät tärkeimmät suureet ja käsitteet. Termeillä "UV-säteilylähde" ja "säteilylähde" tarkoitetaan tässä yhteydessä kaikkia UV-säteilyä tuottavia lähteitä, kuten aurinkoa ja yksittäisiä UV-lamppuja sekä yhdellä tai useammalla UV-lampulla varustettuja laitteita.

2.2.1 Irradianssi

Radiometrisissa mittauksissa keskeinen suure on *irradianssi* (*irradiance*) E , jolla tarkoitetaan tietylle pinta-ala-alkiolle dA tulevaa säteilytehoa $d\Phi$,

$$E = \frac{d\Phi}{dA} . \quad (2.1)$$

Irradianssin yksikkö on W/m^2 . Kaava (2.1) kuvaa tapausta, jossa säteilyvuo on yhdensuuntainen, ja kohtisuorassa pintaa dA vasten. Jos säteilyn tulosuunta on viisto, ja tulosuunnan ja pinnan A normaalin N välistä kulmaa merkitään θ :lla (kuva 2.1), niin silloin pinta-ala-alkion dA irradianssi E on

$$E = \frac{d\Phi}{dA \cos \theta} . \quad (2.2)$$

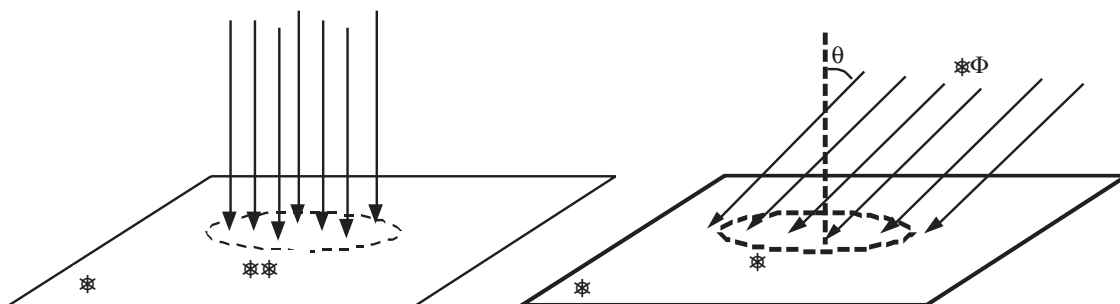
Säteilylähteet ovat usein suurikokoisia mittalaitteen anturiin nähden, ja säteilyä osuu anturiin eri suunnilta. Jotta anturi mittaisi kaavan (2.2) mukaisesti oikein eri suunnista tulevaa säteilyä, niin anturin herkkyyden eri suunnista saapuvalla säteilyllä on noudatettava kosinifunktiota. Käytännössä anturin kulmavasteen poikkeama kosinivasteesta aiheuttaa virheen, joka voi olla tyypillisesti suuruusluokaltaan $\pm 10\%$.

Laajakaistaisen optisen lähteen irradianssi vaihtelee usein eri aallonpituuksilla. *Spektrinen irradianssi* E_λ , jolla tarkoitetaan aallonpituuskaistan $d\lambda$ irradianssia, on

$$E_\lambda = \frac{dE}{d\lambda} . \quad (2.3)$$

Spektrisen irradianssin yksikkö on W/m^2nm . Lähteen kokonaisirradianssi E aallonpituusalueella $\lambda_1 \dots \lambda_2$ on silloin

$$E = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} E_\lambda d\lambda . \quad (2.4)$$



Kuva 2.1. Pinta-ala-alkiolle dA tuleva irradianssi a) suorassa ja b) viistossa säteilytyksessä.

2.2.2 Säteilytys eli annos

Jos irradianssi on vakio koko säteilytyksen ajan, niin *säteilytyksellä* (*radiant exposure*) H tarkoitetaan tietylle pinnalle osuvan irradianssin E ja säteilytysajan Δt tuloa.

$$H = E \cdot \Delta t \quad (2.5)$$

Säteilytyksen sijasta voidaan puhua myös valotuksesta. Nämä ovat radiometriassa käytettyjä termejä, fotokemiassa ja fotobiologiassa käytetään termiä 'annos' (SFS-IEC 1992). SI-järjestelmän mukainen yksikkö on J/m^2 , mutta fotobiologiassa käytetään myös yksikköä mJ/cm^2 ($1 mJ/cm^2 = 10 J/m^2$).

2.2.3 Vaikutusspektri ja efektiivinen annos

Vaikutusspektri (*action spectrum*) kuvaa monokromaattisen optisen säteilyn kykyä aiheuttaa jotain tiettyä kemiallista tai biologista vaikutusta. Vaikutusspektri esitetään usein spektristen herkkyyserktoimien S_λ avulla.

UV-säteilyn *efektiivinen annos* (*effective dose*) on vaikutusspektrillä painotettu UV-säteilyn annos (CIE 1996). Esimerkiksi arvioitaessa UV-säteilyn kykyä aiheuttaa iholle eryteemaa, eli punoitusta, käytetään yleisesti kansainvälisen valaistusjärjestön CIE:n (*Commission Internationale d'Eclairage*) julkaisemaa eryteeman vaikutusspektriä (CIE 1987). Merkitään CIE:n vaikutusspektrin herkkyyserktoimia $S_{eryt,\lambda}$. Silloin *eryteeman efektiivinen annos* H_{eryt} voidaan laskea kaavasta

$$H_{eryt} = \Delta t \cdot \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} S_{eryt,\lambda} E_\lambda dt \quad (2.6)$$

Efektiivisellä annoksella ei ole omaa standardoitua symbolia ja sen yksikkö on sama kuin annoksen eli J/m^2 . Selvyyden vuoksi termiä 'annos' voidaan käyttää muodoissa 'painottoman annos' erotukseksi em. efektiivisestä annoksesta. Koska efektiivisen annoksen yksikkö on sama kuin annoksen, on käyttöyhteydessä aina mainittava onko kyseessä efektiivinen annos vai painottoman annos. Samoin on yksilöitävä mitä vaikutusspektriä on käytetty.

2.2.4 Annosnopeus

Fotokemiassa ja fotobiologiassa voidaan määritellä myös UV-säteilyn *annosnopeus* (*dose rate*) sekä painottamattomalle annokselle että efektiiviselle annokselle. Annosnopeudella tarkoitetaan UV-säteilyn annosta jaettuna säteilytysajalla Δt . Kyseessä on siis sama suure kuin radiometrinen suure irradianssi. Jos *efektiivistä annosnopeutta* merkitään E_{eryt} , se voidaan esittää seuraavasti:

$$E_{eryt} = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} S_{eryt,\lambda} E_{\lambda} d\lambda \quad (2.7)$$

Annosnopeudella ei ole standardoitua symbolia ja sen yksikkö on sama kuin irradianssin eli W/m^2 .

Radiobiologiassa termi 'annos' liittyy suureeseen 'absorboitunut annos' ja niitä käytetään usein toistensa synonyymeinä. Absorboituneella annoksella tarkoitetaan kohteeseen absorboituneen energian määrää massayksikköä kohden ja sen yksikkönä J/kg. Fotobiologinen annoksen määritelmä ei ota mitään kantaa siihen, että tiettyyn kohteeseen, esim. kudokseen, saapuvasta UV-säteilystä osa absorboituu ja osa poistuu kohteesta heijastuksena ja läpäisynä. Kuitenkin vain säteilyn absorboitunut osa voi aiheuttaa fotokemiallisia ja fotobiologisia vaikutuksia ko. kohteessa. Tätä sanotaan fotobiologian ensimmäiseksi laiksi eli Grotthus-Draperin laiksi (Megaw ja Drake 1986, Holmes 1989, Seyfried 1989).

2.2.5 MED ja SED

Kuvattaessa UV-säteilyn kykyä aiheuttaa eryteemaa käyttöön on otettu käsite MED, *Minimal Erythema Dose*, eli punoituskynnys. Sillä tarkoitetaan pienintä UV-säteilyn eryteemapainotettua annosta, joka aiheuttaa iholla havaittavan mutta lievän punoituksen.

MED ei ole määrätyn suuruinen vakio, vaan yksilökohtainen ihotyyppistä riippuva kynnysarvo. Eri yksilöiden välillä ihon punoitusherkyys vaihtelee moninkertaisesti. Yksilön oma MED vaihtelee ihon rusketuksen ja muun karaistumisen vaikutuksesta. Tietyt lääkkeet ja kosmeettiset aineet voivat lisätä ihon punoitusherkyyttä. MED-käsitettä on käytetty tietyn lukuarvon omaavana referenssiarvona kuvaamaan väestön keskimääräistä punoituskynnystä. Esimerkiksi CIE on aiemmin suositellut keskieuropalaisen väestön MED-arvioksi $250 J/m^2$ (CIE 1993). STUK on käyttänyt MED:n arvona $200 J/m^2$ (Jokela ym. 1993, Leszczynski 1993). Myös pohjoismaiset ihotautilääkärit suosivat tätä arvoa (Jansén, henkilökohtainen tiedonanto). IEC:n sähkötekniillinen sanasto käyttää MED:n määritelmänä monokromaattisen aallonpituudeltaan 295 nm UV-säteilyn annosta $100 J/m^2$ (SFS-IEC 1992). Tämä vastaa CIE-vaikutusspektrillä painotettua annosta $100 J/m^2$. Usean nykyään käytössä olevan laajakaistaisen eryteemaefektiivistä annosnopeutta mittaavan mittarin yksikkönä on MED/h. Esimerkiksi auringon UV-säteilyn monitorointiin sekä sairaala- ja laboratoriokäyttöön tarkoitettujen Solar Light -mittareiden valmistaja ilmoittaa mittarin 1 MED:n vastaavan $210 J/m^2$ annosta aallonpituudella 297 nm (Solar Light Co. 1994).

Tällainen MED ja MED/h yksiköiden käyttö on ristiriidassa sen kanssa, että MED on yksilöllinen fysiologinen suure. Koska kuitenkin dermatologiassa on tarve käyttää jotain yksikköä, jolla kuvata eryteemaefektiivisen UV-säteilyn annosta, on ehdotettu otettavaksi käyttöön termi: SED, *Standard Erythema Dose* (Jokela ym. 1993, CIE 1996). Kansainvälinen valaistusjärjestö CIE suosittaa SED:n käyttöönottoa ja määrittelee yhden SED:n annoksen suuruudeksi $100 J/m^2$ CIE-vaikutusspektrillä painotettuna. CIE korostaa, että SED:llä ei haluta kuvata minkään tietyn ihotyypin keskimääräistä MED:tä. SED-yksikköä voidaan käyttää auringon aiheuttaman UV-altistuksen kuvaamiseen ja valohoitojen annosten esittämiseen kuten seuraavissa esimerkeissä: Kirkkaana kesäpäivänä Euroopassa vuorokautinen UV-altistus on noin 30 - 40 SED. Potilaan UV-B-hoidon aloitusannos on 1,7 SED (CIE 1996).

2.4 Valohoitolaitteiden UV-säteilyn mittaaminen

Valohoitolaitteiden UV-säteilyn mittaamiseen käytetään kahdenlaisia mittareita, spektrometriä ja laajakaistaisia UV-mittareita. Sekä spektrometriset että laajakaistaiset mittaukset pyritään tekemään normaaleilla hoitoetäisyyksillä. Spektrometrillä säteilyn spektrin irradianssi voidaan mitata kapeilla kaistoilla (leveys tyypillisesti 0,5 - 1,5 nm) yli halutun aallonpituusalueen.

Laajakaistaisilla mittareilla on tavallisesti eri anturit UV-A-, UV-B- ja UV-BC-alueille. UV-A-alueella kaistanleveys on tyypillisesti noin 40 - 60 nm ja UV-B-alueella noin 20 - 30 nm. Fotobiologiseen käyttöön on kehitetty antureita, joiden spektrin herkkyys jäljittelee ihmisen ihon punoitusherkkyttä.

Seuraavassa luodaan suppea katsaus keskeisiin spektrometrimittausten tarkkuuteen vaikuttaviin tekijöihin ja laajakaistaisien mittareiden kalibrointiin.

2.4.1 Spektrometriset mittaukset

Spektrometri muodostuu tavallisesti optiikkaosasta ja elektroniikkaosasta, jolla ohjataan optiikkaosan toimintaa. Optiikkaosassa on säteilyä keräävä vastaanottoaukko ja monokromaattori mitattavan aallonpituuskaistan valitsemiseksi. Vastaanottoaukko on useimmiten varustettu optista säteilyä läpäisevällä ja sirottavalla diffuuserilla. Tässä työssä käytiin spektrometriä Optronin 742 (OL 742), joka on kaksoishila-spektrometri, jonka ilmaisimena on valomonistinputki ja sisäänmeno-optiikkana teflondiffuuseri. OL 742 spektrometrin kaistanleveys on 1,7 nm ja spektrit mitataan tavallisimmin 1 nm:n aallonpituusvälein.

Keskeisimmät spektrometrimittausten tarkkuuteen vaikuttavat tekijät ovat mittanormaalien ja kalibroinnin epävarmuus, spektrometrin lämpötilaherkkyys, monokromaattorin aallonpituusasteikon epätarkkuus ja kulmavaste. Seuraavassa esitettävää katsausta yksityiskohtaisempi kuvaus on esitetty viitteissä Huurto 1994 ja Leszczynski 1994b.

Spektrometrin OL 742 kalibrointi oli jäljitettävissä USA:n kansalliseen mittanormaallaboratorioon NIST:hen (*National Institute for Standards and Technology, Gaithersburg, Maryland*) joko suoraan tai lampputoimittajan, Optronin Laboratories Inc. (OL), kautta. Sairaaloissa tehdyt spektrometrimittaukset perustuivat kahta poikkeusta lukuunottamatta kalibrointiin, joissa lähteinä käytettiin 200 W halogeenilamppua (OL-M676) ja 40 W deuteriumlamppua Model UV-40 (OL-586). Syksyllä 1996 STUK:n laboratoriossa tehdyt kalibroinnit perustuivat suoraan NIST:stä hankittuun 1 kW FEL-mittanormaallilamppuun (F-434). Koska halogeenilamppujen spektrin irradianssi on herkkä virranvaihteluille, käytettiin kalibroinneissa tarkkoja vakiovirtalähteitä OL 65 ja OL 83DS, joista saatavan virran epävarmuus on pienempi kuin 0,1 %. Lampputoimittajat ilmoittavat irradianssin epävarmuudeksi tyypillisesti alle 2 %. Tähän perustuen voidaan STUK:n irradianssikalibroinnin epävarmuudeksi tällä hetkellä arvioida ± 3 %. On kuitenkin huomattava, että vuonna 1995 suoraan NIST:stä hankitun lampun ero aiemmin käytetyistä OL-lampuista oli noin 7 % (Leszczynski 1996).

OL 742 spektrometrin lämpötilaherkkydeksi on aiemmissa tutkimuksissa määritetty $-1,5 \text{ }^\circ\text{C}$ (Huurto 1994, Leszczynski 1994b). Koska lämpötilat hoitolaitteiden mittausten aikana, etenkin kaappimaisten laitteiden sisällä, kohosivat usein yli $30 \text{ }^\circ\text{C}$ kalibrointilämpötilan ollessa tyypillisesti noin $22 - 24 \text{ }^\circ\text{C}$, mittaustulokset korjattiin kalibrointi- ja mittaustulosten erotuksen suhteen. Korjauksen jälkeen spektrometrin lämpötilaherkkydestä johtuvaksi epävarmuudeksi arvioidaan ± 3 % (Leszczynski 1994b).

Aallonpituusasteikon siirtymistä voi lämpötilamuutosten lisäksi aiheutua mm. monokromaattorin mekaanisesta siirtelystä. Aallonpituusasteikko kalibroidaan mittaamalla tarkasti tunnettu matalapaineisen elohopealampun spektriviiva, joka on $253,65 \text{ nm}$, hoitolaitteen spektrimittauksen alussa. Käytettäessä elohopealamppua aallonpituusasteikon kalibrointiin, aallonpituuden epävarmuudeksi auringon spektrimittauksissa on arvioitu ± 2 % (Leszczynski 1994b). Koska loistelampuilla varustettujen hoitolaitteiden spektrit ovat auringon spektriä loivempia, voidaan arvioida aallonpituusasteikon virheen näissä mittauksissa olevan alle ± 2 %.

Vaikka spektrometrin sisäänmeno-optiikka on suunniteltu mittaamaan säteilyä puoliavaruudesta kosinivastetta noudattaen, kulmavaste poikkeaa ideaalisesta kosinivasteesta erityisesti suurilla tulokulmilla. Spektrometrin kalibroinnissa käytetty mittanormaalilamppu on kalibroitietäisydellä (50 cm) säteilylähteenä pistemäinen, eikä epäideaalinen kulmavaste aiheuta merkittävää virhettä nollakulmalla kalibroitaessa. Valohoitolaitteet sen sijaan ovat pääsääntöisesti pintalähteitä, joista kohdistuu säteilyä spektrometriin useista suunnista. Jos säteilyn jakauma tunnettaisiin, voitaisiin epäideaalisesta kosinivasteesta aiheutuva virhe korjata, edellyttäen että todellinen kulmavaste on tiedossa. Esimerkiksi STUK:n auringon UV-säteilymittaukset korjataan laskennallisesti käyttäen spektrometrin mitattua kosinivastetta ja mallilaskelmiin perustuvaa säteilyjakautumaa (Leszczynski ym. 1993, Leszczynski 1994b). Auringon UV-säteilymittauksissa virhe ilman kosinikorjausta on suuruudeltaan noin $\pm 10\%$ ja korjauksen jälkeen epävarmuudeksi arvioidaan $\pm 5\%$. Hoitolaitteiden rakenteet poikkevat toisistaan ja kulmavasteesta aiheutuva virhe on laitekohtainen. Suurimmillaan tämän virheen arvioidaan olevan noin $\pm 10\%$. Valohoitolaitteiden ja UV-lamppujen spektrimittauksissa kokonaisepävarmuuden arvioidaan olevan $\pm 15\%$.

2.4.2 Laajakaistaiset mittaukset

Laajakaistaiset UV-mittarit antavat tiedon UV-säteilyn annosnopeudesta jollain tietyllä ja suhteellisen leveällä aallonpituusalueella, mutta niillä ei saada tietoa UV-säteilyn spektrisestä jakaumasta kuten spektrometrilla. Laajakaistaisen mittareiden ongelmana on, että niiden antureiden spektrin herkkyys on erilainen eri aallonpituuksilla ja anturit voivat olla herkkiä UV-säteilylle myös aallonpituuksilla, joiden mittaamiseen valmistaja ei ole niitä alunperin tarkoittanut. Siksi antureille on määritettävä kalibroitukertoimet erikseen kaikille spektriltään erilaisille UV-lähteille. Jos laajakaistainen mittari on kalibroitu tietylle lähteelle ja mitataan lähettä, jonka spektri poikkeaa huomattavasti kalibroitilähteen spektristä, niin mittarin antama lukema voi olla moninkertaisesti liian suuri tai liian pieni (Sayre ja Kligman 1991). Koska lisäksi saman anturimerkin eri yksilöiden spektriset herkkyydet voivat poiketa toisistaan (Leszczynski ym 1997), anturin spektrisen herkkyyden määrittäminen on hyödyllistä.

2.4.2.1 Laajakaistaisen mittareiden kalibrointi

Laajakaistaiset mittarit kalibroidaan eri UV-lähteille vertaamalla mittarin näyttämää lukemaa samassa kohdassa spektrometrilla mitattuun annosnopeuteen. Mittareiden kalibroitukertoimet saadaan jakamalla spektrometrilla määritetty annosnopeus mittarin näyttämällä lukemalla. Ideaalisessa tapauksessa kalibroitukerroin on 1,0. UV-A-antureiden kalibroinnin vertailuarvoksi laskeaan UV-säteilyn annosnopeus UV-A-alueella 320 - 400 nm ja UV-B-antureiden alueella 280 - 320 nm. Eryteema-antureiden yksikön MED/h vertailuarvona käytetään CIE:n vaikutusspektrillä painotettua annosnopeutta, jossa 1 MED vastaa 200 J/m².

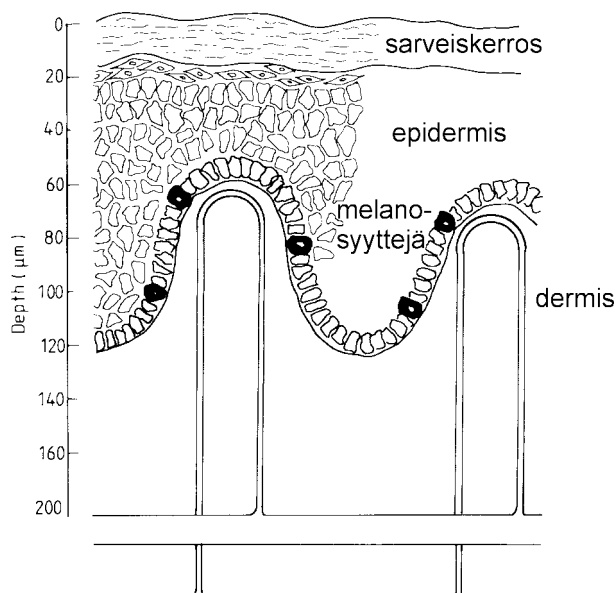
2.4.2.2 Antureiden spektrisen herkkyyden määrittäminen

Jotta voidaan arvioida UV-mittarin anturin soveltuvuutta spektriltään erilaisten UV-lähteiden mittaamiseen, anturin spektrin herkkyys on tunnettava. Antureiden spektrin herkkyys määritetään mittaamalla UV-lähettä, jolla voidaan tuottaa UV-säteilyä kapeilla kaistoilla (5 - 10 nm) lähes koko UV-alueella (250 - 400 nm). Mittarin näyttämistä lukemista eri aallonpituuskaistoilla saadaan laskevia anturin suhteellinen spektrin herkkyys.

3 ULTRAVIOLETTISÄTEILY JA IHO

3.1 Ihon rakenne ja optiset ominaisuudet

Ihmisen iho muodostuu kahdesta erilaisesta kerroksesta: päällimmäinen kerros on 20 - 150 μm paksu orvaskesi eli epidermis, ja alempi 1 - 4 mm paksu verinahka eli dermis. Epidermiksen ja samalla siis koko ihon pinnallisin osa on ohut, vain 8 - 20 μm paksuinen sarveiskerros eli marraskesi, joka muodostuu kuolleista sarveissoluista (kuva 3.1, Diffey 1982).



Kuva 3.1. Kaavamainen poikkileikkauskuvitus ihon rakenteesta (Diffey 1982).

UV-B-säteilystä suurin osa absorboituu sarveiskerrokseen ja UV-A:sta vastaavasti noin 50 % (Parrish 1983, Bruls et al. 1984). Epidermikseen pääsevistä säteilyistä vain noin 5 % on suoraa säteilyä, suurin osa on sarveiskerroksessa sironnutta diffuusia säteilyä (Everett ym. 1966). Sironnan syynä on sarveiskerroksen rakenne: kuolleen ja kuivettuneen solukon rakenne on löyhä, joten siinä on paljon ilman ja kudoksen välistä sirottavaa rajapintaa. Epidermiksen rakenne on suurelta osin vesipitoista solukkoa, ja siinä on vain vähän sironnata aiheuttavia tekijöitä. Siten epidermiksessä UV-A-säteily, valo ja infrapunasäteily etenevät pääosin suorana läpäisynä. UV-B:n ja UV-C:n osalta sironnan merkitys on epäselvä (Parrish 1983).

Sarveiskerroksessa ja epidermiksessä tapahtuu lyhytaaltoisen optisen säteilyn absorptiota mm. proteiineihin, aminohappoihin, urokaanihappoon ja melaniiniin. Aallonpituusalueella 250...300 nm epidermis absorboi säteilyä voimakkaasti riippumatta melaniinin määrästä. Välillä 300...330 nm melaniinin vaikutus absorptioon on jyrkkä. Epidermis läpäisee hyvin optista säteilyä välillä 300...1300 nm, ja siten tämä säteily etenee dermikseen (Parrish 1983, Megaw ja Drake 1986). Osa UV-säteilystä siis tunkeutuu hyvinkin syvälle ihoon ja sen verisuonistoon. Se vaikuttaa siten verisoluihin, ihosolujen perimään ja erilaisten biologisten prosessien kemiallisiin välittäjäaineisiin.

3.2 Ihon reagointi UV-säteilyyn ja suojamekanismit

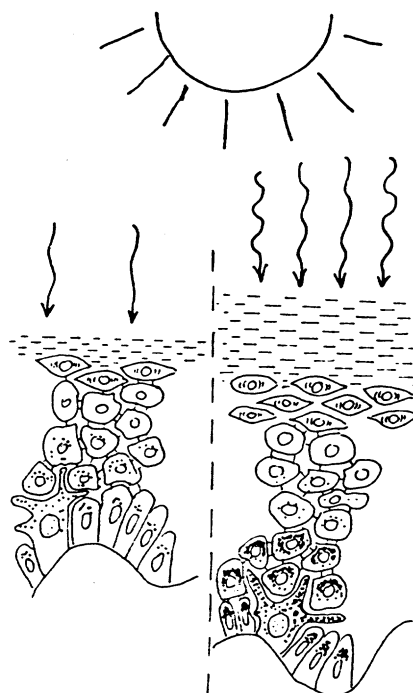
UV-säteilyn aiheuttamat muutokset normaalissa ihossa voidaan jakaa akuutteihin vaikutuksiin ja myöhäisvaikutuksiin. Akuuteista vaikutuksista tutuin on ihon punoitus, ns. auringon polttama, eli eryteema, joka kehittyy iholla muutamassa tunnissa UV-säteilytyksestä.

Suuret määrät UV-A-säteilyä vaurioittavat dermiksessä sijaitsevia ihon kollageenisäikeitä (Kligman ym. 1985, van Weelden ym. 1988). Tämän valoelastoosiksi sanotun ilmiön vaikutuksesta iho menettää joustavuuttaan ja rypistyy, ts. vanhenee ennen aikojaan. Myöhempien tutkimusten mukaan UV-B-säteily aiheuttaa valoelastoosia tehokkaammin kuin UV-A (Kligman ja Sayre 1991).

Iholla on omat biologiset suojamekanisminsa, joilla se pyrkii vähentämään ihoon ja sen läpi tunkeutuvan UV-säteilyn määrää ja siten ehkäisemään haittavaikutusten syntyä. Näkyvin suojausmekanismi on pigmentaatio eli ihon ruskettuminen: epidermiksessä oleva pigmentti, melaniini, tummuu ja sen määrää lisäätty. Ruskettuminen voidaan jakaa kahteen tyyppiin: välittömään ja viivästyneeseen rusketukseen. Välittömässä rusketumisessa ihon pintakerroksissa jo oleviin melaniinihiukkasiin sitoutunut melaniinin väritön esiaste, premelaniini, tummuu ensisijaisesti UV-A-säteilyn vaikutuksesta. Tummuus voi näkyä jopa heti ja se kestää tavallisesti muutamia tunteja, toisinaan jopa päiviä, jolloin se sekoittuu viivästyneeseen rusketukseen. Välittömän rusketuksen edellytyksenä on se, että ihon pintakerroksissa on riittävästi melaniinihiukkasia, ts. iho on helposti ruskettuvaa tyyppiä. Viivästyneessä rusketuksessa dermiksen ja epidermiksen rajalla sijaitsevat melanosyytti-solut tuottavat lisää melaniinihiukkasia, jotka siirtyvät ihon pintakerrokseen ja tummuvat. Myös melaniinia tuottavien melanosyyttien määrä ja koko kasvaa. Viivästynyt rusketus aiheutuu pääosin UV-B-säteilyn absorptiosta.

Toinen ihon suojausmekanismi on sarveiskerroksen paksuuntuminen, eli hyperkeratoosi. Epidermiksen sarveissolujen, keratinosyyttien, jakaantumissykli kiihtyy ja solukerrosten määrää kasvaa (kuva 3.2). Tämä vie aikaa useista päivistä viikkoihin. Hyperkeratoosi aiheutuu herkimmin UV-C:n ja UV-B:n vaikutuksesta, UV-A:n vaikutus on vähäisempi (Epstein 1970, Jung 1975, Parrish 1983).

Sekä pigmentaation että hyperkeratoosin suojausvaikutukset perustuvat lisääntyneeseen UV-säteilyn absorptioon. Paksuuntunut sarveiskerros pidentää UV-säteilyn kulkemaa matkaa sekä paksun kerroksen takia sinällään että lisääntyneen sironnan takia, jolloin kokonaisabsorptio lisääntyy. Pelkkä pigmentaatio ilman sarveiskerroksen paksuuntumista suojaa lähinnä UV-A-säteilyltä. UV-B säteilyn osalta rusketuksen suojaava vaikutus on heikompi (Gange ym. 1984).



Kuva 3.2. UV-säteily aiheuttaa sarveiskerroksen paksuuntumista (Jung 1975).

3.3 Ihotyypit

Ns. valkoisen rodun¹ ihmisten iho voidaan herkkyyteensä mukaan luokitella neljään eri tyyppiin (Parrish 1979). Ihotyyppin I henkilöt palavat aina helposti, ruskettuvat vain vähän tai eivät lainkaan, heidän ihonsa on hyvin vaalea, usein pisamainen. Tyyppin II iho sietää UV-säteilyä vähän paremmin, palaa toisinaan mutta ruskettuu jonkin verran. Ihotyypit III ja IV vastaavasti sietävät UV-säteilyä suhteellisen hyvin. Luokiteltaessa ihmisiä eri ihotyyppeihin apuna käytetään myös silmien ja hiusten väriä. Taulukossa 3.1 on esitetty jaottelu eri ihotyyppeihin ja näiden ihotyyppien osuus keskieurooppalaisessa (Parrish 1979) ja suomalaisessa (Jansén 1989) väestössä.

Tyyppiluokittelu kuvaa lähinnä ihon eryteemaherkkyyttä. Tyyppijakoa voidaan myös käyttää esim. arvioitaessa UV-valohoidon aloitusannoksen suuruutta (Fitzpatrick 1988). Toisaalta henkilön omaan arvioon perustuvan ihotyyppiluokituksen luotettavuutta UV-herkkyden määrittämisessä on myös kritisoitu (Jansén 1989, Snelmann ym. 1995).

Taulukko 3.1 Eri ihotyyppien ominaisuudet ja niiden esiintyvyys keskieurooppalaisessa ja suomalaisessa väestössä. (Parrish 1979, Jansén 1989, STUK 1996).

Ihotyyppi	Ihon reaktiot	Osuus Keski-Euroopan väestöstä	Osuus Suomen väestöstä
I	Palaa aina, ei rusketu	2 %	2 %
II	Palaa helposti, ruskettuu hieman	12 %	28 %
III	Palaa lievästi, ruskettuu kohtuullisesti	78 %	60 %
IV	Palaa harvoin, ruskettuu hyvin	8 %	10 %

3.4 Eryteema

Eryteema eli ihon punoitus johtuu ihon pintaosien verimäärän lisääntymisestä ihon verisuonten, lähinnä subpapillarisen dermoksen kapillaarien laajentumisen takia. Verisuoniston laajenemisen syyksi on esitetty kahta erityyppistä mekanismia: UV-säteilyn suora vaikutus verisuoniin tai kemiallisten välittäjäaineiden aiheuttama reaktio. Jälkimmäistä selitysmallia puoltavat monet seikat. Eryteemavaikutukseltaan voimakkain osa UV-spektriä absorboituu lähes kokonaan epidermikseen, ja dermikseen saakka tunkeutuu lähinnä UV-A-säteilyä, jonka eryteemaa aiheuttava vaikutus on vähäinen. Säteililyksen ja eryteeman synnyn välinen viive myös tukee käsitystä siitä, että eryteeman synnä on UV-säteilyn epidermiksessä käynnistämät kemialliset muutokset. Aktivoituneet kemialliset välittäjäaineet siirtyvät sitten dermikseen aiheuttaen verisuoniston laajenemisen. Välittäjäaineita ja niiden tarkkaa merkitystä ei tunneta. Välittäjäaineiksi on ehdotettu mm. histamiineja, sytokiineja sekä prostaglandiineja.

Eryteemaherkkyden vaihtelua eri aallonpituuksilla, eli eryteeman vaikutusspektriä, on selitetty eri tavoin. Van der Leun oletti että lyhytaaltainen UV-säteily 250 nm tienoilla aiheuttaisi eryteemaa suoralla vaikutuksella verisuonistoon, ja 300 nm säteily puolestaan vaikuttaisi kemiallisten välittäjäaineiden kautta (van der Leun 1966). Myöhempien tutkijoiden (Farr ja Diffey 1985) mukaan koko UV-spektrin alueella eryteeman synty perustuu välittäjäaineisiin. Eryteemaherkkyden vaihtelu eri aallonpituuksilla selittyy sillä, että välittäjäaineita on useampi kuin yksi, tai että välittäjäaineiden vapautumiseen liittyy useita eri mekanismeja. Diffey on pitänyt myös mahdollisena, että UV-A:n aiheuttama eryteema aiheutuu säteilyn suorasta vaikutuksesta verisuonistossa (Diffey 1982).

¹ Englanninkielisissä teksteissä käytetään termejä *Caucasian* tai *Caucasoid*.

3.5 Eryteeman vaikutusspektrit

Ensimmäiset eryteeman vaikutusspektrit on määritetty jo 1920-luvulla, ja sen jälkeen on esitetty useita toisistaan enemmän tai vähemmän poikkeavia malleja (Hausser ja Vahle 1921, Coblentz ja Stair 1934, CIE 1935, Everett ym. 1965, Freeman ym. 1966, Cripps ja Ramsay 1970, Parrish ym. 1983, CIE 1987, Anders ym. 1995). Esitettyjen vaikutusspektrien eroihin syynä ovat olleet erilaiset määrittelytavat, kuten säteilylähteiden erilaiset kaistanleveydet, säteilytetyn ihoalueen valinta, se kuinka heikko punoitus luetaan eryteemaksi jne. Nykyisin laajaa hyväksyntää on saanut CIE:n 1980-luvun lopulla julkaisema eryteeman vaikutusspektri (kuva 3.3), joka on muodostettu yhdistämällä eri eryteematutkimuksia (CIE 1987).

CIE-vaikutusspektrin herkkyyskertoimet S_λ aallonpituuden funktiona ovat:

$$\begin{aligned} \lambda \leq 298 \text{ nm}: & S_\lambda = 1 \\ 298 \text{ nm} < \lambda \leq 328 \text{ nm}: & S_\lambda = 10^{0,094(298 - \lambda)} \\ 328 \text{ nm} < \lambda \leq 400 \text{ nm}: & S_\lambda = 10^{0,015(139 - \lambda)} \end{aligned} \quad (3.1)$$

CIE-vaikutusspektri ei biologisessa mielessä ole täsmällinen eryteemaherkkyden kuvaaja, mutta kuitenkin tähänastisista malleista paras ja käyttökelpoisin approksimaatio. Se kuvaa kohtuullisella tarkkuudella valkoihoisen henkilön ihon keskimääräistä eryteemaherkkyden vaihtelua eri aallonpituuksilla. Esimerkiksi IEC on ottanut CIE-vaikutusspektrin käyttöön testattaessa ja luokiteltaessa erilaisia UV-lähteitä (IEC 1988), ja STUK soveltaa sitä solariumien tarkastuksissa (Visuri ym. 1993).

3.6 UV-säteilyn terapeuttiset vaikutukset

Keinotekoista UV-säteilyä voidaan käyttää eräiden ihosairauksien, kuten atooppisen ihottuman, vitiligon eli valkopäivisyyden ja psoriasisksen hoitoon sekä valoyliherkkyyden siedätyshoitoon. Psoriasis on kuitenkin ylivoimaisesti merkittävin UV-valohoitojen kohde. Psoriasisissa ihon sarveissolujen toiminta on kiihtynyt jolloin iholle syntyy kuolleiden sarveissolukerrosten muodostamia hilseileviä läikkiä. UV-valohoidon tarkoituksena on hillitä sarveissolujen jakaantumista. Psoriasisksen hoitoon käytetään helioterapiaa (Snellmann 1993), keinotekoisilla UV-lähteillä annettavaa valohoitoa sekä fotokemiallista PUVA-hoitoa (Psoraleeni + UV-A). PUVA-hoidossa iho herkistetään UVA-säteilylle, joko ulkoisesti tai sisäisesti annettavalla psoraleenilla, kuten metoksaleenilla tai trioksaleenilla. Psoraleenin herkistävän vaikutuksen takia hoitovaste saavutetaan pienemmällä UVA-säteilyn määrällä kuin ilman psoraleenia. Psoraleenit myös pienentävät ihon punoituskynnystä, ts. eryteema syntyy pienimmillä UV-säteilyn annoksilla. Psoraleeneilla on kuitenkin myös mutageenisia ja karsinogeenisia vaikutuksia (Bickers 1983).

Psoriasisksen valohoitoja on tutkittu paljon. Samoin on koetettu selvittää psoriasisksen hoitovasteen vaikutusspektriä. Hyvin usein viitataan Fischerin havaintoon, että psoriasisksen hoitovaste UV-säteilylle on suurimmillaan aallonpituudella 313 nm (Fischer 1976). Vakiintuneen käsityksen mukaan psoriasisksen hoidon vaikutusspektri on kutakuinkin sama kuin eryteeman vaikutusspektri myös pidemmillä aallonpituuksilla. Myöhempien tutkimusten mukaan lyhytaaltoisella UV-säteilyllä, alle 290...295 nm, ei saada aikaan psoriasisksen paranemista sellaisilla annoksilla, jotka ovat pienempiä tai yhtä suuria kuin hoidettavan henkilön terveen ihon MED-annos, eli annoksilla, joita iho sietäisi palamatta (Parrish ja Jaenicke 1981).

3.7 UV-säteilyn karsinogeenisuus

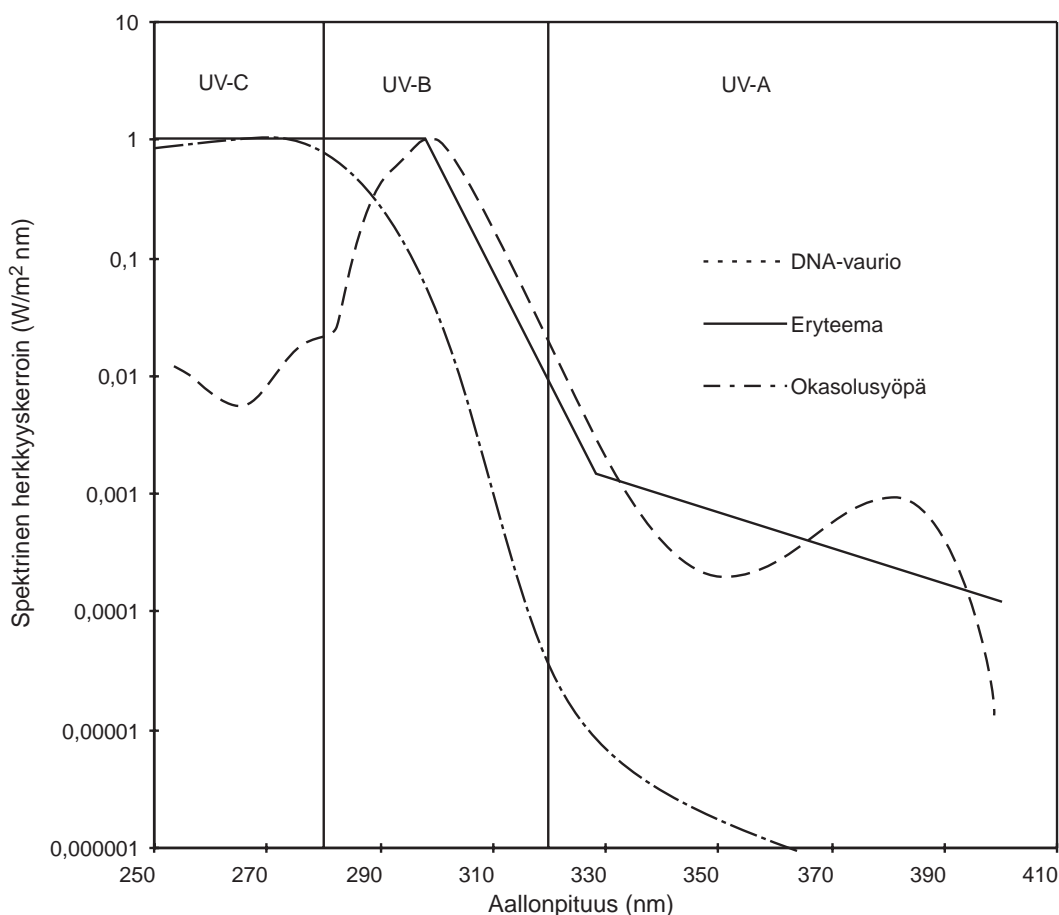
UV-säteilyllä on myös karsinogeenisissa eli syöpää aiheuttavissa ominaisuuksissa. Ionisoivan säteilyn tavoin UV-säteily voi aiheuttaa eri tyyppisiä DNA-molekyylin vaurioita. Paha DNA-vaurio voi johtaa solun kuolemaan, jolloin muita seurauksia ei esiinny. Lievemmat vauriot voivat estää DNA:n kahdentumisen, jolloin solu ei kykene jakaantumaan. Tätä ominaisuutta hyödynnetään psoriasisksen

valohoidossa. Soluilla on kyky korjata DNA:n vaurioita. Jos korjaus onnistuu, solu elää ja toimii normaalisti. Vaillinainen tai epäonnistunut korjaus voi johtaa siihen, että solun jakaantumis- ja elin-kyky säilyvät, mutta solu muuntuu syöpäsoluksi. DNA-vaurion vaikutusspektri (Setlow 1974) on esitetty kuvassa 3.3.

UV-säteilyllä voi myös olla promootiovaikutus syövän kehityksessä, ts. se voi edistää jonkin muun karsinogeenin vaikutuksesta syntyneen syöpäsolun kehittymistä ja lisääntymistä. Oletus promootiovaikutuksesta perustuu lähinnä havaintoihin, joissa UV-säteily vaurioittaa ihon immuunijärjestelmää mm. tuhoamalla Langerhansin soluja ja vähentämällä T-lymfosyyttien aktiivisuutta. On esitetty, että paikallisessa säteilytyksessä pienehköt määrät UV-säteilyä aiheuttavat vain paikallista immuuniosuppressiota säteilytetyllä alueella, mutta suuret UV-säteilyannokset vaikuttavat koko immuunijärjestelmään (Moan ym. 1990). Vastakkaisen käsityksen mukaan tällaista annoksen suuruudesta riippuvaa kaksoisvaikutusta ei ole, vaan paikallisen ja kokonaisvaltaisen vaikutuksen ilmenemisen välillä on ainoastaan ajallinen viive (Noonan ja De Fabo 1990).

UV-säteilyn karsinogeenisuutta on arvioitu lukuisilla epidemiologisilla tutkimuksilla ja hiirikokeilla (Roffo 1939, Forbes ym. 1978, Vitaliano ja Urbach 1980, Vitasa ym. 1990). Tyvisolusyövän, eli basaaliooman, ja okasolusyövän tiedetään liittyvän pitkäaikaiseen altistukseen auringon UV-säteilylle ja siten UV-säteilyn suureen kokonaisannokseen (Urbach 1980, Scotto ym. 1983, Fitzpatrick ja Sober 1985, Vitasa ym. 1990). Ihosyövistä vaarallisimman syövän, melanooman, oletetaan liittyvän toistuviin intensiivisiin altistuksiin ja useita kertoja tapahtuneisiin ihon palamisiin. Etenkin lapsuudessa tapahtuneita ihon palamisia pidetään suurena riskinä melanooman syntymiselle (Lee 1982, Lew ym. 1983, Marks 1994). Myös tästä näkemyksestä poikkeavia tutkimustuloksia on julkaistu (D'Arcy ym. 1986).

Okasolusyövän synnyn vaikutusspektriä on tutkittu karvattomilla albiinohiirillä. Ottamalla huomioon ihmisen ja hiiren ihon erilaiset optiset ominaisuudet kokeellisista tuloksista on johdettu vaikutusspektri, SCUP-h², joka kuvaa okasolusyövän ilmiantuvuutta ihmisen ihossa (De Gruijl ym. 1993, De Gruijl ja van der Leun 1994). Vaikutusspektrin kuvaaja on esitetty kuvassa 3.3.



Kuva 3.3. DNA-vaurion (Setlow 1974) ja okasolusyövän synnyn (De Gruijl ym. 1993) sekä CIE:n eryteeman (CIE 1987) vaikutusspektrit.

² SCUP = Skin Cancer Utrecht-Philadelphia

4 VALOHOITOLAITTEIDEN RAKENNE JA TEKNIikka

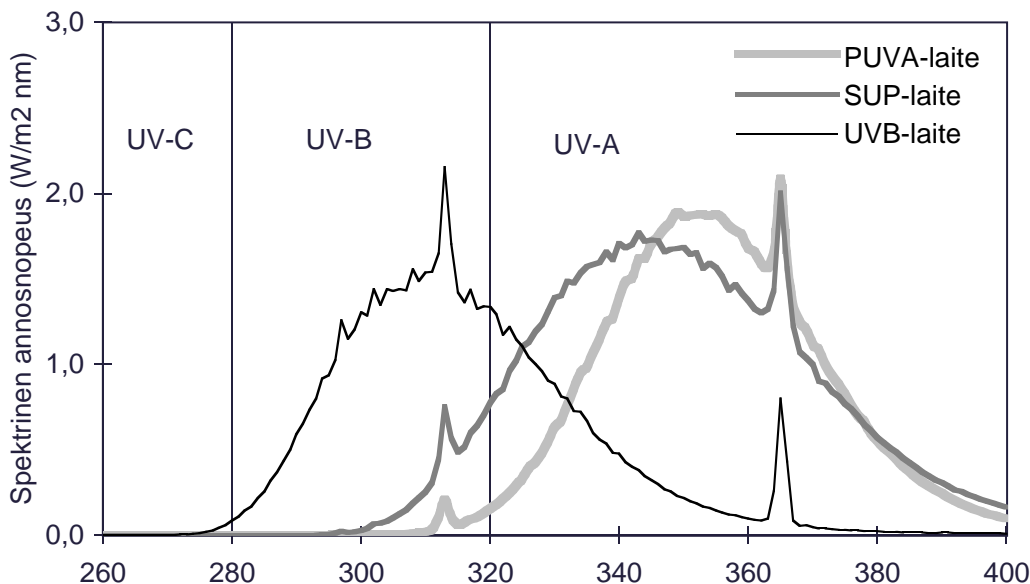
4.1 Yleistä

Keinotekkoisten UV-lähteiden valmistustekniikan kehittyessä markkinoille on tullut laaja valikoima erimerkkisiä UV-valohoitolaitteita³. Valohoitolaitteilla voidaan, mallista riippuen, valottaa joko koko kehoa tai paikallisia ihoalueita esim. käsiä. Valohoitolaitteiden tuottaman UV-säteilyn voimakkuus riippuu mm. käytettävistä lamputa ja niiden lukumäärästä sekä laitteen rakenteesta kuten heijastimista ja suodattimista. Biologisen tehokkuuden ja eri hoitomuotojen valinnan kannalta ratkaisevinta on valohoitolaitteen tuottaman UV-säteilyn spektrinen jakauma. Eri hoitolaitteita arvioitaessa ja vertailtaessa on otettava huomioon, että laitteiden runkoihin voidaan asentaa eri merkkiä UV-lamppuja, ja että laitteen heijastimet ja suodattimet voivat muuttaa lamppujen tuottaman säteilyn irradianssia ja spektriä.

UV-säteilyn spektrin perusteella hoitolaitteet ryhmitellään tavallisesti PUVA-, UV-B- ja SUP-laitteisiin:

- PUVA-laitteiden painottamattomasta UV-annoksesta noin 99 % on UV-A-säteilyä, mutta eryteemaefektiivisestä annoksesta jopa puolet voi aiheutua UV-B-säteilystä.
- UV-B-laitteiden painottamattomasta UV-annoksesta puolet on UV-B- ja puolet UV-A-säteilyä, mutta eryteemavaikutuksesta on lähes 100 % aiheutuu UV-B-säteilystä.
- SUP-laitteiden spektrit (ns. *Selective UV-Phototherapy*) ovat välimuoto PUVA- ja UV-B-laitteiden spektreistä.

Kuvassa 4.1 on esitetty esimerkit valohoitolaitteiden spektreistä.



Kuva 4.1. Esimerkkejä erimerkkisten valohoitolaitteiden UV-säteilyn spektreistä.
 PUVA-laite: Airam PUVA 22; 22 kpl Airam LUA 80 W lamppuja.
 SUP-laite: Metec Helarium; 24 kpl Wolff System Helarium B1-12-100 W lamppuja.
 UV-B-laite: Waldmann UV 6002; 21 kpl Philips TL 100 W/12 lamppuja.

³ UV-valohoitolaitteilla tai vain valohoitolaitteilla tarkoitetaan tässä yhteydessä ihosairauksien hoitoon käytettäviä UV-säteilyä tuottavia laitteita, ei kosmeettiseen käyttöön tarkoitettuja solariumeja eikä ns. kaamosmenun hoitoon markkinoitavia hyvin voimakasta näkyvää valoa tuottavia laitteita.

4.2 UV-lamput

Lähes kaikkien UV-hoitolaitteiden säteilijät ovat loistelamppuja. Loistelamput ovat matalapaineisia elohopealamppuja, joissa argonkaasuun sekoitettu elohopea höyrystyessään emittoi voimakkaasti sekä näkyvää valoa että UV-säteilyä diskreettinä viivaspektrinä. Loistelamppujen sisäpinnalla olevassa loisteaineessa syntyvä fluoresenssi muuttaa lyhytaaltoiset emissioviivat jatkuvaksi UV-spektriksi, jossa elohopean emissioviivat näkyvät terävinä piikkeinä. Loistelamppujen annosnopeus voi laskea käyttöiän myötä jopa 50 % tuhannen käyttötunnin jälkeen (Mountford 1985), mutta STUK:n mittauksissa havaittiin vain 15 % lasku SUP-laitteen annosnopeudessa, kun verrattiin 800 h käytössä olleita lamppuja käyttämättömiin lamppeihin.

Vähemmän käytetty lamputyyppi on monimetallilamppu (*metal halide lamp*). Monimetallilamput ovat kooltaan suhteellisen pienikokoisia korkeapaineisia kaasupurkauslamppuja, jotka tuottavat voimakasta säteilyä myös hyvin lyhyillä aallonpituuksilla. Siksi laitteissa, joissa käytetään monimetallilamppuja on aina suodattimet leikkaamassa pois lyhytaaltoista UV-säteilyä.

4.3 Laitteiden rakenne

Koko vartalon valotukseen käytettävät valohoitolaitteet ovat useimmiten rakenteeltaan kaappimaisia, ja niissä loistelamput muodostavat pystysuuntaisen seinämän valotettava henkilön ympärille. Käytössä on myös rusketuskäyttöön tarkoitettujen solariumien kaltaisia hoitolaitteita, joissa valotettava henkilö on makuulla (kuva 4.2).

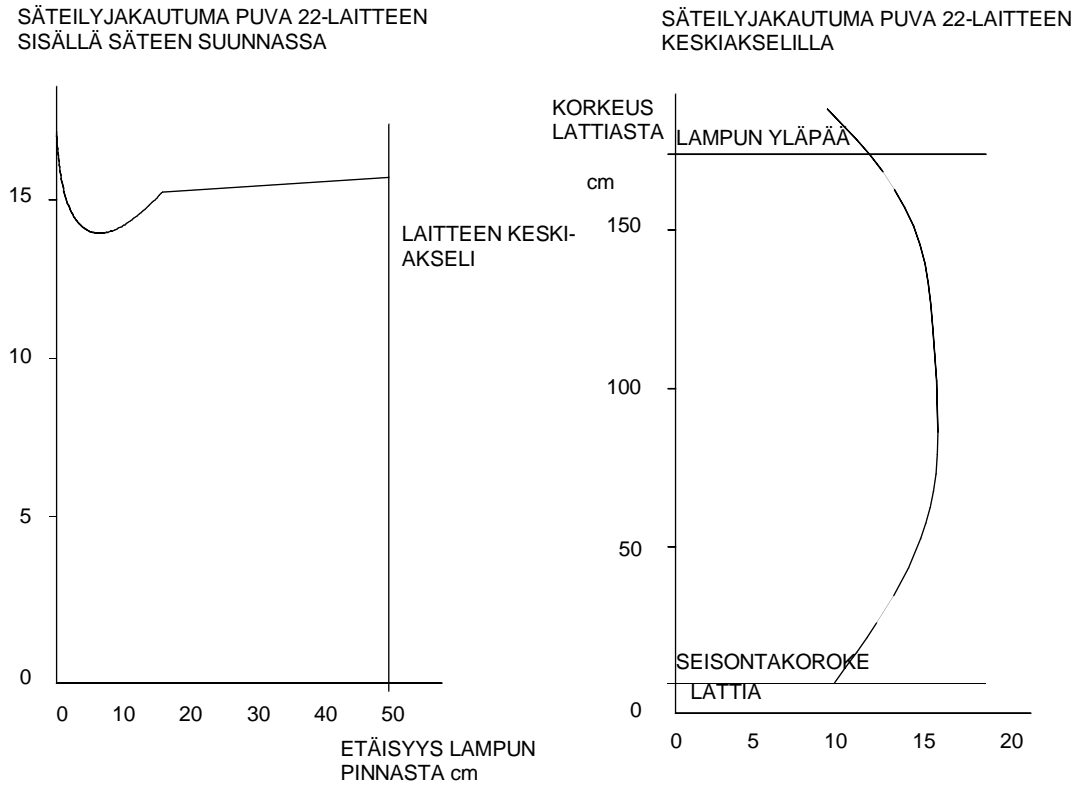


Kuva 4.2. Erilaisia UV-valohoitolaitteita.

Loistelamppujen takana käytetään usein heijastimia, joilla säteilyä suunnataan hoidettavan henkilöön. Tyypillisin heijastin on jokaisen lampun taakse sijoitettava, koko lampun pituinen alumiinikoru. Laitteissa, joissa potilas on makuulla, lamppujen suojana käytetään muovilevyjä, joiden läpäisevyys UV-A-alueella on 85...95%, UV-B-alueella läpäisevyys vähenee ja aallonpituuden 275 nm:n kohdalla se on 50 % (Visuri ym. 1993). Näin ollen muovilevyt voivat muuttaa laitteiden spektrin jakaumaa lamppujen spektriin verrattuna. Useimmissa kaappimaisissa laitteissa ja paikallishoitolaitteissa käytetään metalliritilää tai suojaa ei ole lainkaan. Muovin tai ritilän käyttö suojaa lähinnä loistelamppuja kolhaisuilta ja särkymiseltä. Loistelamput eivät käytössä kuumene niin, että niistä olisi palovamman vaaraa.

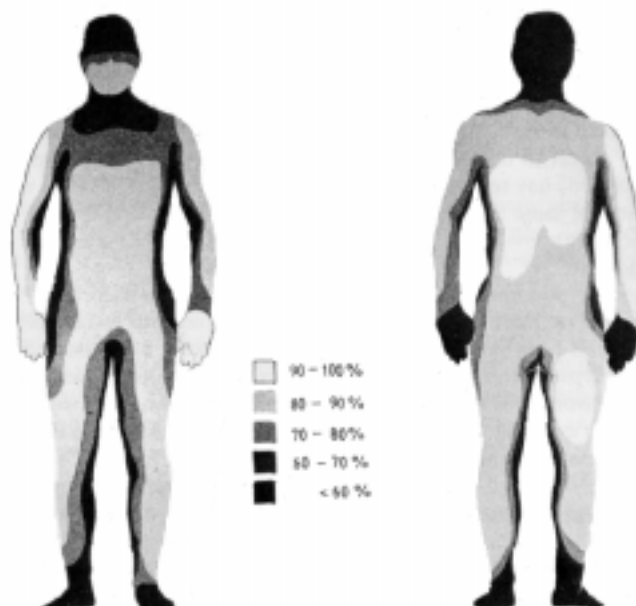
Kuvassa 4.3 on esitetty UV-säteilyn jakautuma erään kaappimallisen hoitolaitteen sisällä. Säteilyn voimakkuus korkeussuunnassa on pienimmillään lähellä ylä- ja alareunaa ja suhteellisen tasainen

keskikolmanneksessa. Vaakasunnassa säteilykenttä on tasainen vasta noin 15 cm:n etäisyydeltä lampuista keskiakselille asti. Tämä johtuu siitä, että vasta riittävän etäisyyden päässä lamppujen pinnasta mittauskohdassa useiden loistelamppujen säteily summautuu. Samasta syystä pituus-suunnassa annosnopeus on suurimmillaan keskiosassa, jossa loistelamppujen säteily summautuu lamppujen koko pituudelta. Ylä- ja alareunassa säteilyä tulee vain rajatusta suunnasta, joten annosnopeus jää pienemmäksi.



Kuva 4.3. UV-säteilyn jakauma kaappimaisen hoitolaitteen sisällä. (Lähde: Airam PUVA 22:n ohjekirja)

Käytännössä hoidettavan henkilön vartalo on noin 15...30 cm:n etäisyydellä lamppujen pinnasta. Koska pää ja jalat ovat laitteen reunaosissa ja raajojen sisäpinnat jäävät katveeseen, annosnopeuden jakauma iholla on hyvinkin epätasainen, kuten kuvasta 4.4 nähdään.



Kuva 4.4. UV-säteilyn suhteellinen jakauma ihmisen iholla kaappimaisessa hoitolaitteessa (Lähde: Diffey 1982)

Koko vartalon säteilytykseen tarkoitettujen loistelamppulaitteiden lisäksi käytössä on pienempiä, lähinnä raajojen ja pään paikalliseen hoitoon tarkoitettuja laitteita. Pienikokoisissa laitteissa säteilylähteenä on 4 - 12 kpl lyhyitä loistelamppuja tai monimetallilamppu. Monimetallilamppuja on tavallisesti vain yksi, ja sen takana on kaareva alumiiniheijastin, jotta saadaan riittävän suuri ja tasainen säteilykeila. Lampun edessä on suodatinlasi, joka poistaa UV-C-säteilyn sekä vaimentaa tai poistaa myös UV-B-säteilyn. Eräissä malleissa on irrotettavia lisäsuodattimia, joilla voidaan edelleen rajata säteilyn spektrialuetta. Monimetallilamput ja niiden suodattimet kuumenevat käytön aikana voimakkaasti. Näiden laitteiden käyttöetäisyydet ovat välillä 30...50 cm. Pienikokoisten loistelamppulaitteiden valotusetäisyydet ovat hyvin lyhyitä.

Kaikissa UV-hoitolaitteissa säteilytysaika valitaan ajastimella. Ajastimet ovat joko digitaalisia tai mekaanisia, ja niiden asetustarkkuus vaihtelee laitemerkin mukaan. PUVA-laitteissa, joiden säteilytysajat ovat parinkymmenen minuutin luokkaa, ajastimen asetustarkkuus on tavallisesti 1 minuutti. UV-B-laitteissa, joiden hoitoajat voivat olla niinkin lyhyitä kuin 15 sekuntia, käytetään tyypillisimmin digitaalisia ajastimia, joiden asetustarkkuus on 1 sekunti. Joissain hoitolaitteissa säteilytysajan sijasta voidaan valita haluttu säteilyannos. Näissä malleissa on sisäänrakennettu UV-mittari, joka mittaa UV-säteilyn voimakkuutta valotuksen aikana ja tämän perusteella laitteen elektroniikka säätää valotusajan.

4.4 Valotusajat

Valohoidot annetaan aina usean, keskimäärin 15 säteilytyskerran eli valotuksen jaksoina, joissa valotuksia on 2 - 5 kertaa viikossa. Valotusaikoihin vaikuttavat laitteen eryteematehokkuus, hoidettava ihosairaus, hoidettavan henkilön ihotyypin ja PUVA-hoidoissa myös käytetty psoraleni ja sen annostus. Valotusajat ja siten myös UV-annokset ovat alussa pieniä, ja niitä kasvatetaan vähitellen. Ensimmäisten hoitokertojen valotusajan pituus voidaan valita sen perusteella, kuinka herkäksi potilas itse arvioi ihonsa, ts. mihin ihotyypin hänen oletetaan kuuluvan. Vaihtoehtoisesti potilaan yksilöllinen ihon herkkyys voidaan määrittää valotestillä ennen hoidon aloitusta (Snellman 1995). Tällainen menettely on kuitenkin työläs, eikä sitä sovelleta Suomessa kliinisessä käytössä. Myös laitevalmistajat antavat suosituksia valotusaikakaavioiksi. Käytännössä valohoitoyksiköt laativat valotuskaavionsa näiden ja oman kokemuksensa perusteella.

4.5 UV-valohoitojen riskit

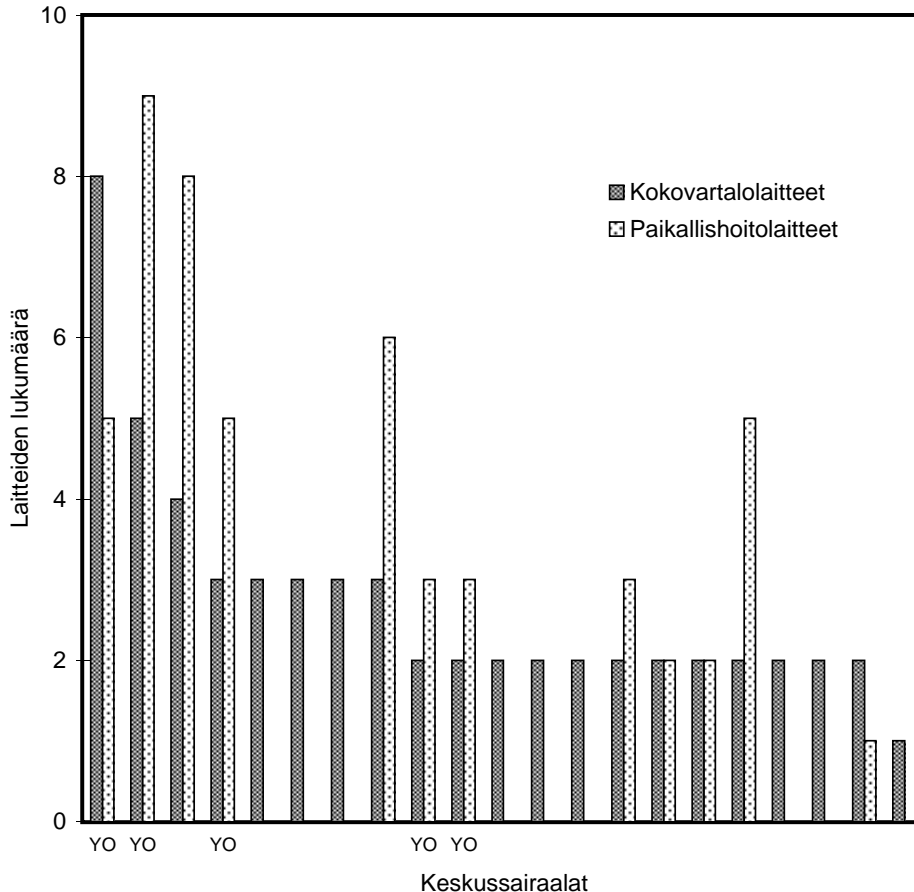
Koska PUVA-hoitoa on pitkään käytetty psoriasisien hoitoon, niin sen pitkäaikaisvaikutuksista on jo tutkimustuloksia. Vastaavia tutkimuksia esim. UV-B-hoidoista on huomattavasti vähemmän. Joidenkin tutkimusten mukaan PUVA-hoidoilla ei olisi mitään vaikutusta okasolusyövän syntyyn, vaan sen esiintyvyys on sama kuin muulla väestöllä (Eskelinen ym. 1985, Hensler ja Christophers 1984). On esitetty myös tuloksia, joiden mukaan PUVA-hoito sinällään ei lisää okasolusyövän riskiä, vaan tuumorin synty liittyy aina johonkin muuhun karsinogeeniseen altistukseen (Hensler ym. 1989, Torinuki ja Tagami 1988). Nämä ovat kuitenkin ristiriidassa uudempien tulosten kanssa, joiden mukaan pitkäaikaisesti PUVA-hoitoa saaneilla potilailla on selvästi kohonnut okasolusyövän riski muuhun väestöön verrattuna (Forman ym. 1989, Bruynzeel ym. 1991, Stern 1990, Stern 1992). Viimeisimpien tutkimusten mukaan myös melanoomariski on kohonnut (Stern ym. 1997). Kohonnut okasolusyöpäriski näyttää liittyvän lähinnä suuriin kokonaisannoksiin. Potilailla, joiden kumuloinut UV-annos on yli 1000 J/cm² (10 MJ/m²) tai joilla oli hoitokertoja enemmän kuin 200 - 260, on 11 - 16-kertainen riski verrattuna niihin, joiden kokonaisannokset ovat alle 200 J/cm² tai hoitokertoja oli vähemmän kuin 160 (Stern ja Lange 1988, Lindelöf ym. 1991).

Pitkäaikaisiin PUVA-hoitoihin liittyvän mahdollisen syöpäriskin takia on annettu suosituksia potilaiden pitkäaikaisseurannasta myös hoitojen päättymisen jälkeen mahdollisen ihosyövän varhaiseksi havaitsemiseksi (British 1993, American 1994, Stern 1997, Wolff 1997).

5 SAIRAALOIDEN VALOHOITOLAITTEET JA MITTAUKSET

5.1 Sairaaloiden laitekanta

Suomen yliopisto- ja keskussairaaloissa on käytössä noin 60 koko vartalon hoitoon tarkoitettua UV-valohoitolaiteita ja noin 50 paikallishoitolaiteita. Kuvassa 5.1 on esitetty laitteiden määrä sairaaloittain.



Kuva 5.1. UV-valohoitolaiteiden määrä sairaaloittain. Yliopistosairaalat on merkitty lyhenteellä YO.

5.1.1 Kokovartalolaitteet

Liitteen A taulukossa A I on esitetty keskussairaaloissa olevat koko vartalon hoitoon tarkoitetut valohoitolaiteet. Kokovartalon PUVA- ja UV-B-hoitolaiteet ovat rakenteeltaan kaappimaisia. Vanhimmat PUVA-kaapit ovat kotimaisia Airam 22- ja 22A -merkkisiä. 80- ja 90-lukujen vaihteessa hankitut PUVA 2200 -laitteet ovat Karateknikka Oy:n valmistamia. Niissä käytettävät loistelamput ovat hieman pidempiä kuin Airam 22:ssa. 80-luvun puolivälin jälkeen hankitut PUVA-kaapit ovat saksalaista Waldmann-merkkiä.

UV-B-kaapit ovat kaikki Waldmann-merkkisiä. Näistä UV 1000 -laitteet on hankittu vuosina 1983 - 91, yksi mahdollisesti 70-luvun lopulla. Laitteen runko on aivan sama kuin Waldmann PUVA 1000 -laitteen, mutta lamppuina käytetään UV-B-loistelamppuja. UV 6002 -laitteet ovat vuosilta 1983 - 87, ja lamppumerkit ja lamppujen lukumäärät vaihtelevat. Uusimmat, vuosina 1986 - 95 hankitut, kaappimalliset laitteet ovat PUVA- ja UV-B-laitteiden yhdistelmiä. Laitteissa on sekä UV-B- että PUVA-loistelamppuja, yhteensä 40 kpl, yleisimmin suhteessa 13 ja 27. Lamppuja voidaan käyttää joko erikseen tai molempia yhtäaikaan. Yhtä lukuun ottamatta näiden laitteiden PUVA-lamput ovat Waldmann F85/100W PUVA -merkkisiä. Sen sijaan UV-B-lamppuja on käytössä neljää eri merkkiä.

SUP-hoitoihin käytettävät laitteet ovat yhtä lukuun ottamatta kaikki rakenteeltaan solariuminkaltaista Metec-merkkiä. Laitteet ovat vuosilta 1982 - 96, ja nimikkeissä on pientä vaihtelua; on sekä Metec Helamed- että Metec Helarium -nimisiä laitteita. Suurimmassa osassa käytetään Wolff Systemsin Helarium B1-12 -loistelamppuja. Maahantuojan ilmoituksen mukaan k.o. lamppumerkkiä ei enää valmisteta eikä maahantuoda, vaan se on korvattu saman maahantuojan Arimed B 13300 -lampulla. Uusi lamppumerkki vastaa Helarium-merkin lamppua. Toinen maahantuoja toi syksyllä 1996 markkinoille SUP-hoitoihin tarkoitetun Photomed A Wolff Systems DA1-750-100W -loistelampun, ja muutamiin Metec-laitteisiin on vaihdettu em. Photomed-lamput. Metec-laitteiden lisäksi SUP-hoitoihin käytetään yhdessä sairaalassa Kastor Tylö Solarium -merkkistä laitetta, jossa on vain potilaan yläpuolelle tuleva loistelamppupaneeli.

5.1.2 Pienikokoiset hoitolaitteet

Käsien, jalkojen ja pään paikallisiin valohoitoihin käytetään pienikokoisia loistelamppulaitteita, useimmiten PUVA-lampuilla varustettuna. Nämä laitteet ovat rakenteeltaan joko tasomaisia tai puolikaaren muotoisia. Mallista riippuen loistelamput ovat paljaita tai niiden edessä on metalliritilä tai suojalasi. Pienikokoisia UV-B-laitteita käytetään sekä hoitoihin että valotesteihin. Päänahassa esiintyvän psoriasisin hoitoon käytetään myös ns. psorikampoja, jotka on varustettu kahdella pienellä UV-B-loistelampulla. Ihon valotesteihin käytetään myös laitteita, joiden UV-lähteenä on suodattimella varustettu monimetallilamppu. Näiden pienikokoisten laitteiden laitekanta on esitetty liitteen A taulukossa A II.

5.2 Mittaukset

5.2.1 Spektrimittaukset

Tutkimusprojektin aikana mitattiin 38 koko vartalon valotukseen käytettävän hoitolaiteen ja 30 pienikokoisen hoitolaiteen UV-säteilyn spektrit tarkasti kalibroidulla spektroradiometrillä. Mittaukset tehtiin 13 keskussairaalan ihotautiosastoilla ja -poliklinikoilla. Lisäksi mitattiin UV-spektri joistakin yksittäisistä loistelampuista asentamalla mitattava lamppu erilliseen mittaustelineeseen. Spektreistä laskettiin painottamattomat ja eryteemaefektiiviset annosnopeudet sekä erikseen UV-A- ja UV-B-kaistoilla että koko UV-alueella. Valohoitolaiteiden UV-mittausten käytännön toteuttamiseen vaikuttivat mm. hoitolaiteen rakenne, ja mittaukset pyrittiin tekemään normaaleilla hoitoetäisyyksillä. Koko vartalon valotukseen käytettävissä laitteissa valotettavan henkilön keho vähentää laitteen sisällä tapahtuvia heijastuksia. Esimerkiksi spektroradiometrin optiikkaosa on ihmiseen kehoon verrattuna pienikokoinen, ja siksi laitteen sisällä tapahtuvien heijastusten takia mittaustilanteessa annosnopeus voi olla suurempi kuin normaalissa hoitotilanteessa. Rakenteeltaan solariumien kaltaisten Metec-laitteiden mittaukset tehtiin solariumeja koskevan standardin (IEC 1993) mukaisesti peittämällä alaosa mustalla huovalla. Heijastusten vaikutusten arvioimiseksi Metec-laitteiden mittauksia tehtiin myös niin, että alaosa oli peittämätön. UV-spektrit mitattiin spektroradiometrillä OL 742 aallonpituusalueelta 250 - 400 nm ja aallonpituusväli oli 1 nm.

5.2.2 Laajakaistaisten mittareiden kalibrointi

Käytännössä kaikki yliopisto- ja keskussairaaloitten käytössä olevat UV-mittarit kalibroidiin yleisimmille valohoidoissa käytettäville UV-loistelamppumerkeille. Kalibroinneista osa tehtiin STUK:n optisessa laboratorioissa ja osa HYKS:n ihotautiklinikan tiloissa. Kalibroinnit tehtiin mittaamalla hoitolaiteen annosnopeus UV-kalibroituavalla mittarilla ja vertaamalla mittarin näyttämää lukemaa spektroradiometrillä määritettyyn annosnopeuteen. Heijastusten ja hajasäteilyn poistamiseksi säteilylähteen ja mittalaitteen välissä käytettiin mattamustaa levyä, jonka keskellä on pieni suorakaitteen muotoinen aukko mittareiden antureita tai spektroradiometrin diffuuseria varten.

5.2.3 Antureiden spektrisen herkkyyden määrittäminen

Laajakaistaisten UV-mittareiden antureiden spektrinen herkkyys mitattiin aallonpituusalueella 270 - 410 nm ja mittauksessa käytettiin irradianssimonokromaattorisysteemiä, joka käsittää 1 kW:n ksenonlampun Oriel 6271 ja monokromaattorin Oriel 77200. Irradianssimonokromaattorin stabiiliisuutta monitoroitiin piidetektorilla Hamamatsu S1227-1010BQ, joka oli varustettu kaistanpäästösuodattimella Oriel 51122. Suodatin läpäisee UV-säteilyn aallonpituusalueella 250 - 400 nm. Piidetektori oli kalibroitu spektrometria Optronics 742 vastaan kaikilla käytetyillä aallonpituuksilla ja kaistanleveyksillä. Irradianssimonokromaattorin ulostulossa käytettiin kaikilla aallonpituuksilla suodatinta Oriel 51122 ja aallonpituusalueella 350 - 410 nm lisäksi suodatinta Oriel 51962 lyhytaaltoisen hajasäteilyn (alle 320 nm) poistamiseen. Monokromaattorissa käytettiin 5 nm:n kaistanleveyden antavaa rakoa. Solar Light 3D UV-A -anturilla ja Waldmann PUVA -mittarilla jouduttiin käyttämään 10 nm:n kaistanleveyden antavaa rakoa, koska mittareiden herkkyys ei riittänyt kapeammalla raolla. Mitatut spektriset herkkyydet on esitetty kohdassa 5.2.

5.3 Spektrimittausten tulokset

5.3.1 UV-lamppujen spektrit

Erialaisten UV-lamppujen spektrien kuvaajat on esitetty liitteen B kuvissa B.1 – B.3. Yhteenveto siitä, miten lamppujen tuottama UV-säteily jakaantuu UV-A- ja UV-B-kaistoille, on esitetty liitteen B taulukossa B1. Taulukko perustuu valohoitolaitteista mitattuihin UV-spektreihin, ja eri lamppumerkkien tiedot edustavat kahden tai useamman hoitolaitteen mittaustuloksia. Eräiden lamppujen, kuten Cosmolux CA1-12 100W, osalta mittaustuloksia on vain yhdestä laitteesta. Photomed A Wolff Systems DA1-750-100W -lampun spektrimittaus on tehty yksittäisestä loistelampusta.

Kun tarkastellaan taulukossa B1 esitettyjä eri lamppumerkkien spektrijakaumia ja spektrikuvia, nähdään, että eri valmistajilla on spektriltään keskenään samanlaisia lamppumerkkejä. Esimerkiksi Waldmannin F85/100 W PUVA- ja Wolff Systems FitSun DA1-710-100 W -lamppujen spektri on lähes identtinen, samoin Waldmann F85/100 W UV21 -lampun spektri on samanlainen kuin Philipsin TL-12-sarjan lamppujen. Eräitä lamppumerkkejä, kuten e.m. Philips TL-12 ja Airam LUA, valmistetaan useita eri pituuksia, jolloin myös niiden nimellisteho vaihtelee lampun pituuden mukaan välillä 15 - 100 W, mutta spektri on kuitenkin sama.

Taulukon B1 perustella kaikkien PUVA-lamppumerkkien tuottamassa UV-säteilyssä UV-B-säteilyä on vain 1 - 2 %, jos tarkastellaan painottamatonta UV-annosta. UV-B-säteilyn osuus eryteeman aiheuttajana vaihtelee välillä 30 - 75 % ja on tyypillisesti 40 - 50 %. Erimerkkisten PUVA-lamppujen spektrit on esitetty kuvassa B.1.

SUP-lamppujen, Wolff Systemsin Helarium B1-12 ja Arimed B 13300, spektrit ovat samanlaiset, ja Photomed -DA1-750-100 W -lampun spektri poikkeaa niistä vain hieman (kuva B.2). Näillä kaikilla lampuilla UV-B:n säteilyn osuus on alle 10 % painottamattomasta annoksesta ja 80 - 90 % eryteemaefektiivisestä annoksesta. Sen sijaan Toshiba FL 20T8BL-330/18W -lampun spektrissä UV-B:n osuus on huomattavasti suurempi.

UV-B-lamppujen aiheuttama eryteema syntyy puhtaasti UV-B-säteilystä, vaikka painottamattomasta annoksesta UV-A:n osuus on jopa puolet. UV-B-lamppujen spektrissä on kuitenkin huomattavia eroja (kuva B.3). Kahdella lamppumerkillä, Waldmann F85/100W UV6 ja Sylvania F75/85/UV6, on keskenään samanlainen spektri, joka alkaa noin aallonpituuden 285 nm:n kohdalla. Kolmen muun lamppumerkin, Waldmann F85/100W/UV21, Voltarc FS1763T12-20715 ja Philips TL-12 -sarja, spektrit alkavat jo aallonpituudella 275 nm, eli UV-C-alueella. Voltarc F71T12-2072 -lampun spektrissä UV-A-säteilyn osuus on suurempi kuin muilla em. UV-B-lamppumerkeillä.

Suodatettujen monimetallilamppujen spektrit on esitetty kuvassa B.4. Taulukon B1 tiedoista nähdään, että näistä toisen (Sellas lamps typ 2001 + suodatin) spektri on kokonaan UV-A-alueella, kun taas toisen spektri (Philips HPA 400W + suodatin) sisältää myös UV-B-säteilyä.

5.3.2 Valohoitolaitteiden annosnopeudet

Spektroradiometristen mittausten perusteella lasketut valohoitolaitteiden UV-säteilyn annosnopeudet ja spektrit on esitetty liitteessä C.⁴ UV-säteilyn painottamaton annosnopeus on laskettu erikseen UV-B- ja UV-A-kaistoille. Eryteemavaikutuksen arvioimiseksi on laskettu eryteemaefektiivinen annosnopeus yksikössä SED/h, jossa 1 SED vastaa 100 J/m² CIE-vaikutusspektrillä painotettuna (CIE 1996). Lisäksi on laskettu aika, jossa yksi SED kertyy.

Liitteen C taulukossa C I esitettyjen kuutta eri laitemerkkiä edustavien PUVA-kaappien painottamattomat annosnopeudet vaihtelevat välillä 70 - 190 W/m² ja eryteemaefektiivinen annosnopeus välillä 2,6 - 7,6 SED/h. Tyypillisin annosnopeus on luokkaa 4 - 5 SED/h. Kolmen erilaisen PUVA-kaapin spektriset annosnopeudet on esitetty kuvassa C.1.

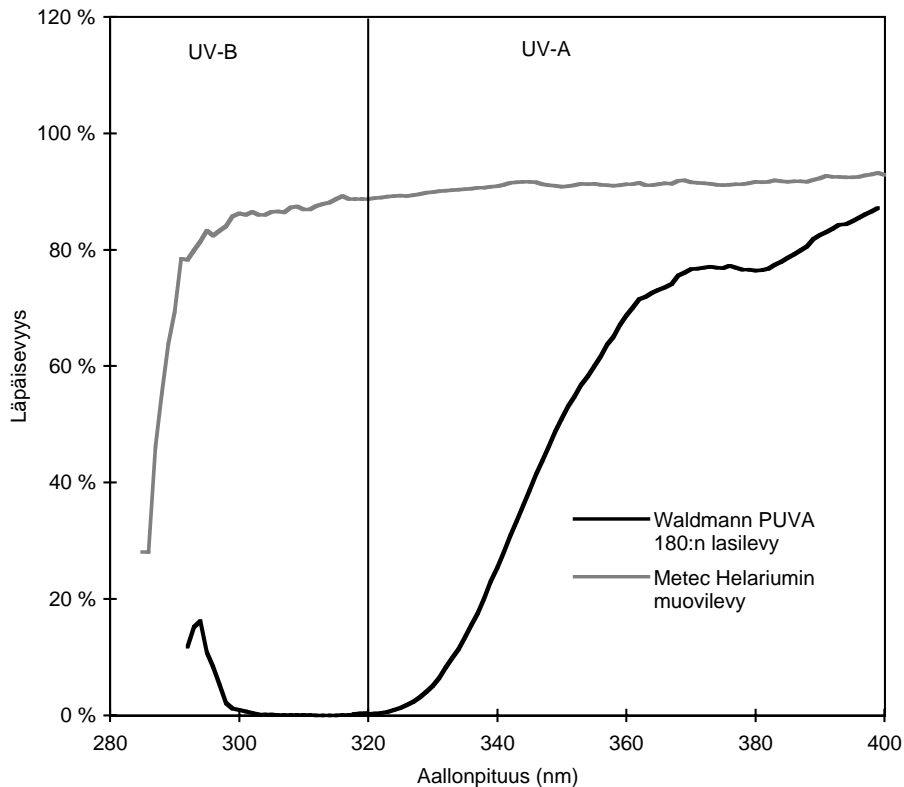
SUP-hoitoihin (taulukko C II, kuva C.2) käytettävien Metec-laitteiden annosnopeuksia mitattiin kaikkiaan kymmenestä eri laitteesta, joissa yhdeksässä lamppujen merkki oli Helarium B1-12-100W ja yhdessä Arimed B 13300. Laitteiden annosnopeudet vaihtelivat välillä 14 - 29 SED/h. Osassa Metec Helarium -laitteita on muovilevy myös yläosan lamppujen edessä. Muovilevyllä ei kuitenkaan ole merkittävää vaikutusta, koska se läpäisee UV-säteilyä lähes tasaisesti laitteessa käytettävien lamppujen spektrialueella ja sen vaikutus lamppujen UV-spektriin on vähäinen. Levyn läpäisevyyssmittauksen tulokset on esitetty kuvassa 5.2. Kastor Tylö Solarium -laitteen eryteemaefektiivinen annosnopeus oli 32 SED/h, mutta painottamaton annosnopeus oli huomattavasti pienempi kuin Metec-laitteiden.

Koko vartalon valotukseen tarkoitettuja UV-B-laitemerkkejä on vain kolme, mutta kun otetaan huomioon, että saman laitemerkin eri yksilöissä käytetään erimerkkisiä lamppeja, joiden lukumääräkin vaihtelee välillä 21 - 40 kpl, niin erilaisia UV-B-laitteita on kymmenkunta (taulukko C II ja kuva C.3). Eryteemapainotettujen annosnopeuksien vaihteluväli on huomattavan suuri: 70 - 600 SED/h. Painottamattoman annosnopeuden osalta vaihtelu on pienempi, vain 10 - 43 W/m² UV-B-alueella.

Paikallis-PUVA-hoitoihin tarkoitettujen laitteiden annosnopeudet vaihtelevat välillä 1 - 12 SED/h (taulukko C III ja kuva C.4). Mitatuissa Waldmann PUVA 180 -laitteissa oli käytössä kolme erimerkkistä PUVA-lamppua, mutta annosnopeudet olivat samaa suuruusluokkaa. Tämän laitteen osalta on huomattava, että siihen kiinteästi kuuluva lasilevy suodattaa UV-B-säteilyn käytännössä kokonaan pois ja vaimentaa myös UV-A-säteilyä. Näin ollen laitteen eryteemaefektiivinen annosnopeus on vain kolmasosa tai neljäsosa siitä, mitä se olisi samoilla lampuilla ilman suojalasia. Levyn läpäisevyys on esitetty kuvassa 5.2. Waldmann PUVA 200 -laitteen spektri ja eryteemaefektiivinen annosnopeus poikkeavat merkittävästi PUVA 180:n arvoista. Laitteita voidaan käyttää erikseen, mutta esim. käsien hoidossa laitteet on tarkoitettu käytettäväksi yhdessä siten, että PUVA 180 valottaa kämmeniä ja käsivarsien sisäpintaa ja PUVA 200 kämmenselkiä ja käsivarsien ulkopintaa.

Monimetallilampulla ja suodattimella varustettujen laitteiden, Sellas Sunlight ja Philips HP 3136, eryteemaefektiiviset annosnopeudet käytetyillä hoitoetäisyyksillä ovat samaa suuruusluokkaa, 6 - 8 SED/h (taulukko C III). Sen sijaan Sellas Sunlightin painottamaton annosnopeus on todella suuri, yli 500 W/m², kun taas Philips HP 3136:n painottamaton annosnopeus on vain kuudesosa siitä. Vertailun vuoksi mainittakoon, että keskellä kirkasta kesäpäivää Suomessa auringon UV-säteilyn annosnopeudet ovat noin 6 SED/h ja 55 W/m² (auringon korkeuskulma 53°).

⁴ Koska vuosina 1992 - 96 tehdyt mittaukset eivät kattaneet kaikkia sairaaloiden laitteita ja koska laitteisiin on vaihdettu uusia lamppumerkkeitä, niin liitteen C taulukoiden laitetiedot eivät ole aivan samoja kuin liitteen A taulukoissa esitetyt.



Kuva 5.2. Metec Helariumin ja Waldmann PUVA 180:n suojalevyjen spektriset läpäisevyudet

5.3.3 Pohdinta

Eri hoitomuotoihin, PUVA, SUP ja UV-B, tarkoitetut lamput erottuvat selkeästi erillisiksi ryhmiksi UV-spektriensä perusteella. Kunkin ryhmän sisällä eri lamppumerkeillä on kuitenkin myös pieniä eroja. Vaikka kaikkien PUVA-lamppumerkkien UV-spektrissä UV-B-säteilyä on vain 1 - 3 %, niin useimilla lamppumerkeillä eryteemaefektiivisestä annoksesta UV-B-säteilyn osuus on noin puolet. UV-B-lamppujen tapauksessa eri lamppumerkkien spektrien erot näkyvät painottamattomien UV-A- ja UV-B-annosten osuuksista. UV-B-lamppujen spektrejä arvioitaessa oleellisinta on, kuinka lyhyiltä aallonpituuksilta spektri alkaa. Monimetallilamppujen osalta voidaan todeta, että nimestään huolimatta Sellas Sunlightin spektri ei muistuta auringon spektriä (kuva B.4), vaan kyseessä on puhdas UV-A-lähde. Sen sijaan Philips HP 3136:n spektrin muoto muistuttaa auringon spektriä.

Liitteen B taulukko ja kuvat kuvaavat erimerkkisten lamppujen tuottaman UV-säteilyn spektristä jakaumaa UV-A- ja UV-B-kaistoille. Niiden perusteella ei kuitenkaan voida tehdä johtopäätöksiä eri lamppumerkeillä varustettujen hoitolaitteiden annosnopeuksista, koska spektriltään ja nimellisteholtaan samanlaisten lamppumerkkien annosnopeudet voivat poiketa toisistaan huomattavasti. Esimerkiksi niissä Airam PUVA 22 -laitteissa, joissa on Philips TL 65-80W/09N -lamput, annosnopeus on paljon suurempi kuin vastaavissa laitteissa, joissa on sama määrä spektriltään samanlaisia Airam LUA 80 W -lamppuja (Liite C, taulukko C I).

UV-B-hoitolaitteiden eryteemaefektiivisen annosnopeuden suuret vaihtelut (taulukko C II) johtuvat käytössä olevien UV-B-lamppujen erilaisista spektreistä. Kun spektri alkaa aallonpituudesta 285 nm ja hoitolaitteessa on 40 kpl lamppuja, niin annosnopeus on 130 - 260 SED/h. Sen sijaan, jos spektri alkaa jo aallonpituudesta 275 nm, eryteematehokkuus on niin suuri, että hoitolaitteen annosnopeus on 600 SED/h, vaikka lamppuja on vain 21 kpl. Painottamattoman UV-B-säteilyn osalta erot ovat huomattavasti pienempiä.

Kaappimaisten hoitolaitteiden annosnopeuksien mittaukset ylläriovivat potilaan saamaa annosnopeutta, koska ei ollut mahdollista ottaa huomioon, että valotettavan henkilön keho vähentää heijastuksia ja siten pienentää iholle osuvan UV-säteilyn annosnopeutta. Metec-laitteiden mittausten perusteella annosnopeudet olivat 14 - 22 % pienempiä, kun mittaukset tehtiin niin, että laitteen alaosan lamput oli kokonaan peitetty mustalla huovalla.

5.4 Työturvallisuus

Valohoitoja antavan henkilökunnan UV-altistuksen arviomiseksi valohoitolaiteiden tuottamaa hajasäteilyä mitattiin laitteiden ympäristössä. Mittausten perusteella hajasäteily on hyvin vähäistä eikä siitä ole vaaraa henkilökunnalle (Leszczynski 1994a). Säteilyaltistus ei ylitä STM:n määräyksiä (STMp 1474/1991). Niiden mukaan iholle tai silmään kohdistuvan UV-säteilyn CIE-vaikutusspekt-rillä painotettu tehotiheys ei saa ylittää arvoa 50 J/m² vuorokaudessa. Lisäksi silmään kohdistuvan UV-säteilyn painottamaton tehotiheys ei saa ylittää arvoa 10 W/m², kun tehotiheys määritetään 1000 sekunnin keskiarvona. Vaikka altistusrajat eivät ylity laitteiden ympäristössä, UV-säteilyltä suojaavia silmiensuojaimia on kuitenkin käytettävä hoitolaiteiden käyttöohjeiden mukaisesti ja laitteiden käytön aikana on varottava katsomasta UV-lamppuja suojaamattomin silmin.

6 LAAJAKAISTAISET UV-MITTARIT

6.1 Yleistä

Yliopisto- ja keskussairaaloilla on käytössään UV-säteilyn mittaamiseen vain laajakaistaisia UV-mittareita (kuva 6.1). Vaikka spektroradiometri on tarkin mittalaite hoitolaiteiden annosnopeuden mittaamiseen, niin kliinistä rutiinikäyttöä ajatellen se on kuitenkin liian kallis ja monimutkainen käyttää. Sairaaloiden käyttämissä UV-mittareissa on tavallisesti eri anturit eri käyttötarkoituksiin, kuten esimerkiksi UV-A-anturi PUVA-laitteiden mittaamiseen ja eryteema-anturi eryteemaefektiiviseen annosnopeuden määrittämiseen. SUP-laitteiden osalta on huomattava, että UV-A- tai UV-B-anturilla voidaan mitata vain osa näiden laitteiden UV-spektristä. SUP-laitteen painottamattoman UV-säteilyn annosnopeuden määrittäminen edellyttää sekä UV-A- että UV-B-anturin käyttöä.



Kuva 6.1. Esimerkkejä valohoitolaiteiden mittaamiseen soveltuvista laajakaistaisista UV-mittareista.

6.2 Sairaaloiden UV-mittarit

Kuudellatoista keskussairaalalla on käytössään vähintään yksi valohoitolaiteiden mittaamiseen tarkoitettu UV-mittari. Näistä kahdessa sairaalassa on kolme ja viidessä sairaalassa kaksi mittaria. Mittarit edustavat kolmea eri tuotemerkkiä: Airam, Solar Light ja Waldmann. Viidessä sairaalassa ei ole lainkaan UV-mittaria.

Airam UVM-8 -merkkisiä mittareita on keskussairaaloiden käytössä yhdeksän kappaletta. Näiden lisäksi on yksi kappale saman mittarin vanhempaa mallia UVM-7. Mittarit on hankittu vuosina 1978 - 84. Airam-mittareissa on analoginen näyttö ja kolme eri merkistä UV-anturia: UVM-8A, UVM-8B ja UVM-8BC. Kolmessa mittarissa on kaikki kolme anturia, kolmessa UVM-8A- ja UVM-8BC -anturit sekä kahdessa UVM-8A- ja UVM-8B -anturit. Kahdessa mittarissa on vain yksi anturi; toisessa UVM-8A ja toisessa UVM-8B. Anturit UVM-8A ja UVM-8B mittaavat painottamatonta UV-säteilyn annosnopeutta. Anturi UVM-8BC on tarkoitettu bakteerituholampujen ja hitsauksessa syntyvän UV-säteilyn mittaamiseen. Sen herkkyysalue on 230 - 315 nm ja anturin painotus noudattaa NIOSH (*National Institute of Occupational Safety and Health*) suositusta (Karatekniikka Oy 1994). UV-B-anturi ei kuitenkaan sovellu valohoitolaiteiden mittauksiin, koska se on suhteellisen herkkä pitkäaaltoiselle UV-A-säteilylle, ja lisäksi sen vaste on heikko aallonpituusalueella 290 - 350 nm, millä UV-B-hoitolaiteiden spektri pääosin on.

Solar Light Co:n valmistamia mittareita on keskussairaaloiden käytössä yhteensä 10 kpl. Nämä mittarit edustavat neljää eri mallia, jotka ovat saman mittarin tuotekehityksen eri vaiheita. Mittareissa on, mallista riippuen, pelkkä eryteema-anturi tai eryteema- ja UV-A-anturi. Solar Light -mittareiden eryteema-anturin nimikkeenä on SUV (*Sun-burn Ultraviolet*), ja mittareiden MED on määritelty olevan $210 \pm 30 \text{ J/m}^2$ eryteeman vaikutusspektrin (Parrish et al. 1983) mukaisesti painotettuna (Solar Light Co. 1994). SUV-anturin spektrinen herkkyys noudattelee kohtuullisen hyvin CIE:n eryteeman vaikutusspektriä (kuva 6.3). Taulukossa 6.1 on lueteltu sairaaloissa käytettävien erilaisten Solar Light -mittareiden lukumäärät. Taulukossa on esitetty myös STUK:n käyttämä uusin PMA 2100 -merkkinen mittari, jollaista ei vielä toistaiseksi ole Suomessa sairaalakäytössä.

Taulukko 6.1 Solar Light mittarit

Mittarin merkki	Mittareiden lukumäärä	SUV-anturi ¹	UV-A-anturi	Antureissa diffuuseri
--- ²	1	on	on	ei
Model 2	4	on	ei	ei
Model 3D	2	on	on	ei
Model 3DV2.0	3	on	on	on
PMA 2100 ³	1	on	on	on

1) Eryteema-anturi

2) Vanhin mittarimalli, ei merkintää mallinimikkeestä

3) STUK:n mittari

Waldmann-mittarit on tarkoitettu saman valmistajan UV-hoitolaitteiden mittauksiin. Mittareita on sairaaloiden käytössä kahta eri mallia: Waldmann UV-meter Typ. 585 100 -mallia 5 kpl, jotka on tarkoitettu UV-B- ja PUVA-laitteiden mittauksiin sekä yksi Waldmann PUVA-mittari.

6.3 UV-mittareiden kalibrointi

6.3.1 Kalibrointimenettely

Syksyn 1996 aikana kalibroidiin keskitetysti käytännössä kaikki yliopisto- ja keskussairaaloissa käytössä olevat UV-mittarit (26 kpl). Mittareille määritettiin kalibrointikertoimet valohoitoilaitteiden UV-säteilyn annosnopeuden mittamista varten. Kalibroinneista osa tehtiin STUK:n optisessa laboratoriossa ja osa HYKS:n ihotautiklinikan tiloissa.

PUVA-laitteiden mittaamiseen tarvittavat kalibrointikertoimet määritettiin käyttämällä säteilylähteenä Waldmann PUVA 180 -laitetta. PUVA 180 -laitteen mittaamiseen tarvittavien kalibrointikertoimien määrittämisen jälkeen laitteeseen normaalikäytössä kiinteästi kuuluva UV-säteilyä vaimentava lasilevy poistettiin, jotta saatiin muita PUVA-laitteita vastaava säteilylähde (Waldmann PUVA 180 on ainoa PUVA-laite, jossa on säteilyä vaimentava levy). Koska Airam LUA15W ja Philips TLD15W09 edustavat käytännössä kaikkien PUVA-lamppumerkkien spektrejä (vrt. kuva B.1), näin saatiin kahta lamppumerkkiä käyttäen kalibrointikertoimet kaikkien liitteessä D mainituilla PUVA-lampuilla varustettujen laitteiden mittaamiseen. Kalibrointikertoimet eri mittareiden antureille laskettiin eri mittausten keskiarvona taulukon 6.2 mukaan.

Taulukko 6.2 PUVA-laitteiden mittaamisen tarkoitettujen kalibrointikertoimien laskemiseen käytetyt UV-lähteet.

Mittari ja anturi	Airam LUA15W	UV-lähde Philips TLD15W09	Philips TLD15W09 ja lasilevy ⁽¹⁾
Airam UV-A ⁽²⁾	x	x	x
Solar Light UV-A ⁽²⁾	x	x	x
Waldmann UV-A ⁽³⁾	x	x	
Waldmann UV-A ⁽³⁾			x
Solar Light SUV ⁽⁴⁾	x	x	

- 1) PUVA 180 -hoitolaitteeseen kuuluva UV-säteilyä vaimentava lasilevy
- 2) Sama kalibrointikerroin sopii sekä PUVA 180 -laitteelle että muille PUVA-laitteille
- 3) Mittari tarvitsee eri kalibrointikertoimet PUVA 180 -laitteelle ja muille PUVA-laitteille
- 4) PUVA 180 -laitteen annosnopeus on liian pieni eryteema-anturin luotettavaan kalibrointiin

SUP-laitteiden mittaamiseen tarvittavat kalibrointikertoimet määritettiin UV-A-, UV-B- ja eryteema-antureille Metec Helarium -valohoitolaitteella, jossa oli Arimed B 13300 100W -loistelamput. UV-B-laitteiden mittaamiseen tarvittavat kalibrointikertoimet määritettiin UV-B- ja eryteema-antureille käyttämällä Corona Mini -laitetta, jossa oli Philips TL 20W/12 -lamput.

6.3.2 Kalibrointikertoimet

Sairaaloiden käyttämille UV-mittareille määritetyt kalibrointikertoimet on esitetty liitteen D taulukoissa. Kalibrointikertoimien määrityksen radiometrinen epävarmuus on $\pm 16\%$. Kalibrointikertoimien arvot ovat välillä 0,47 - 4,2, ja useissa tapauksissa ne poikkeavat merkittävästi ideaalisesta arvosta 1,0. Tämä osoittaa, että UV-säteilyn annosnopeuden luotettava määrittäminen laajakaistaisella mittarilla edellyttää mittaustuloksen korjaamista kalibrointikertoimella.

Liitteessä D on lueteltu ne lamppumerkit, joilla varustettujen hoitolaiteiden mittaamiseen kalibrointikertoimet soveltuvat. Eri PUVA-lamppumerkeillä on keskenään niin samankaltaiset spektrit, että liitteen taulukoissa annetut kalibrointikertoimet soveltuvat kaikkien niiden PUVA-laitteiden mittaamiseen, joissa käytetään liitteessä mainittuja PUVA-lamppuja. SUP-laitteiden kalibrointikertoimet soveltuvat Metec-laitteille, joissa käytetään jotain kolmesta liitteessä mainitusta lamppumerkistä. UV-B-hoitolaiteiden mittaamiseen tarvittavat kalibrointikertoimet sopivat vain liitteessä mainittujen UV-B-lamppumerkkien mittauksiin. Tämän tutkimuksen puitteissa ei ollut mahdollista määrittää kalibrointikertoimia muille UV-B-lamppumerkeille.

Taulukossa D I on esitetty Airam UVM-8 -mittareiden kalibrointikertoimet. Kalibrointikertoimet ovat kohtuullisen yhtenäisiä lukuunottamatta kahta mittaria. Merkiltään UVM-7 -mittari #79-1060 on vanhempi ja tekniikaltaan erilainen kuin UVM-8 -mittarit, mutta syytä mittarin #80-163 virheelliseen näyttämään ei tiedetä. Airam-mittareiden stabiilisuus on myös hyvä. Valohoitolaitemittausten yhteydessä vuosina 1992 - 95 kolmelle mittarille (#78-115, #79-122 ja #82-103) määritetyt kalibrointikertoimet olivat $\pm 10\%$ tarkkuudella samat kuin syksyllä 1996 määritetyt.

Solar Light -mittareiden kalibrointikertoimet on annettu taulukossa D II. Sekä UV-A- että eryteema- eli SUV-antureiden kalibrointikertoimien hajonta on suurta. Suurin osa SUV-antureista aliarvioi eryteema-annosnopeutta, pahimmillaan mittarin näyttämä on vain kolmasosa oikeasta arvosta. Mittareiden erilaiset mallit eivät selitä kalibrointikertoimien suurta hajontaa, sillä esim. mallin 3DV2.0 mittarin #1427 kalibrointikertoimet ovat kaksinkertaisia verrattuna mittariin #2133. Solar Light -mittareiden valmistaja on ilmoittanut alkuperäisen kalibroinnin olevan stabiili (5 %:n tarkkuudella vuoden ajan, minkä jälkeen mittarit tulisi säännöllisesti kalibroida ja säätää uudelleen (Solar Light Co. 1994). Mittareita ei kuitenkaan ole toimitettu valmistajalle uudelleen kalibroitavaksi. Maahantuojat on tehnyt osalle mittareista omia säätöjään jo heti maahantuonnin yhteydessä tai myöhem-

min, niin että eryteema-antureiden näyttämä annosnopeus poikkeaa alkuperäisestä valmistajan kalibroimasta arvosta (Pietiko 1994). Tässä tutkimuksessa mittareille määritettiin kalibrintikertoimet mittarin näyttämän tuloksen korjaamiseksi, eikä mitään säätöjä tehty. Eryteema-antureiden tapauksessa oli kaksi mittaria, joilla valmistajan antama kalibrinti oli vielä voimassa (sarjanumerot #2133 ja #2549). Näillä mittareilla kalibrintikertoimet PUVA- ja SUP-laitteille ovat lähellä arvoa 1,0. UV-B-laitteille kalibrintikertoimet ovat suurempia, mutta silti huomattavasti lähempänä arvoa 1,0 kuin muiden mittareiden vastaavat kertoimet. Kolmella mittarilla (#303, #308 ja #680) eryteema-anturin näyttämä annosnopeus on PUVA-laitteiden tapauksessa (10 % tarkkuudella oikein, mutta SUP-laitteita mitattaessa virhe on jo 40 - 70 % ja UV-B-laitteilla mittarit näyttävät vain kolmasosan oikeasta arvosta. Hoitolaitemittausten yhteydessä vuonna 1992 määritetty mittarin #303 kalibrintikerroin SUP-laitteille on vajaan 10 %:n erolla sama kuin tässä tutkimuksessa määritetty kerroin. Käytettävissä olevien tietojen perusteella ei voida päätellä johtuuko Solar Light -mittareiden kalibrintikertoimien hajonta mittareiden huonosta stabilisuudesta, maahantuojan tekemistä säädöistä vai ovatko mittarit jo alunperin poikenneet toisistaan näin paljon.

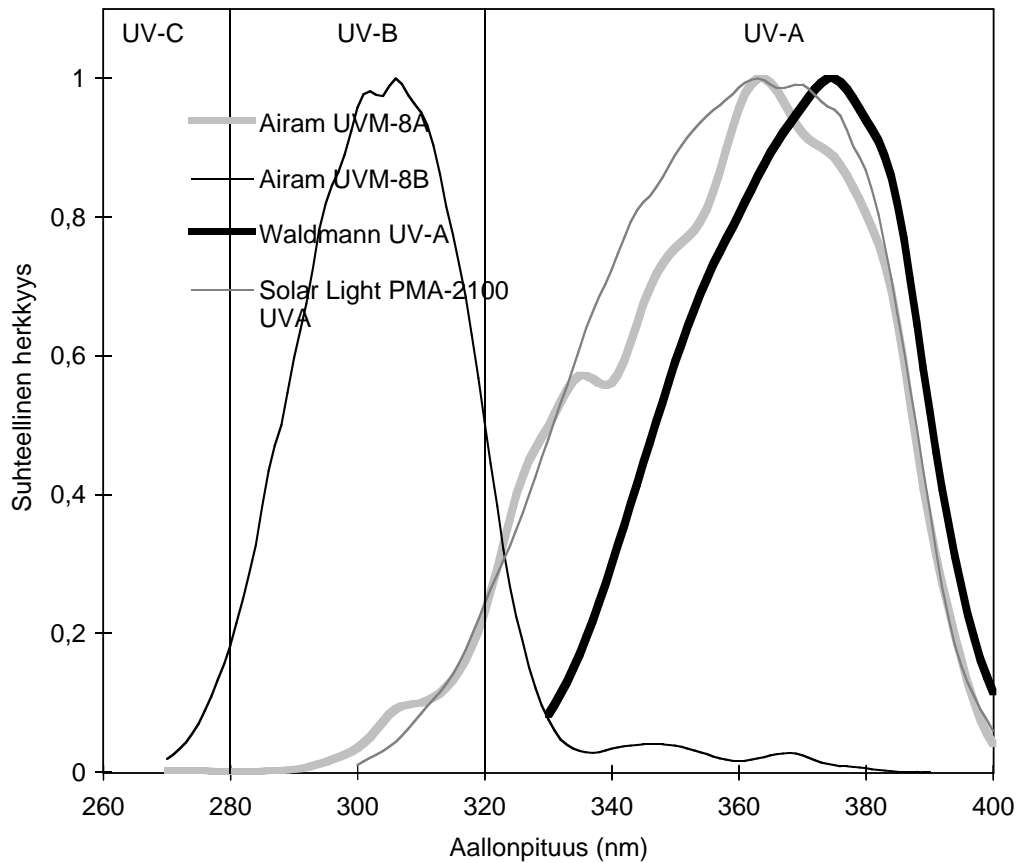
Waldmann-mittareiden kalibrintikertoimet on esitetty taulukossa D III. UV-A-antureiden kalibrintikertoimet erikseen Waldmann PUVA 180 -laitteelle ja erikseen muille PUVA-laitteille. Edellisessä tapauksessa kalibrintikertoimet ovat noin 20 % pienempiä. Vaikka Waldmann-mittarit on tarkoitettu alunperin vain valmistajan omien hoitolaitteiden mittaamiseen, niin mittarit soveltuvat hyvin muidenkin hoitolaitteiden mittauksiin. Eri mittareiden kalibrintikertoimien hajonta ei ole kovin suuri, ja kertoimet ovat systemaattisesti ykköstä pienempiä.

6.4 UV-antureiden spektriset herkkydet

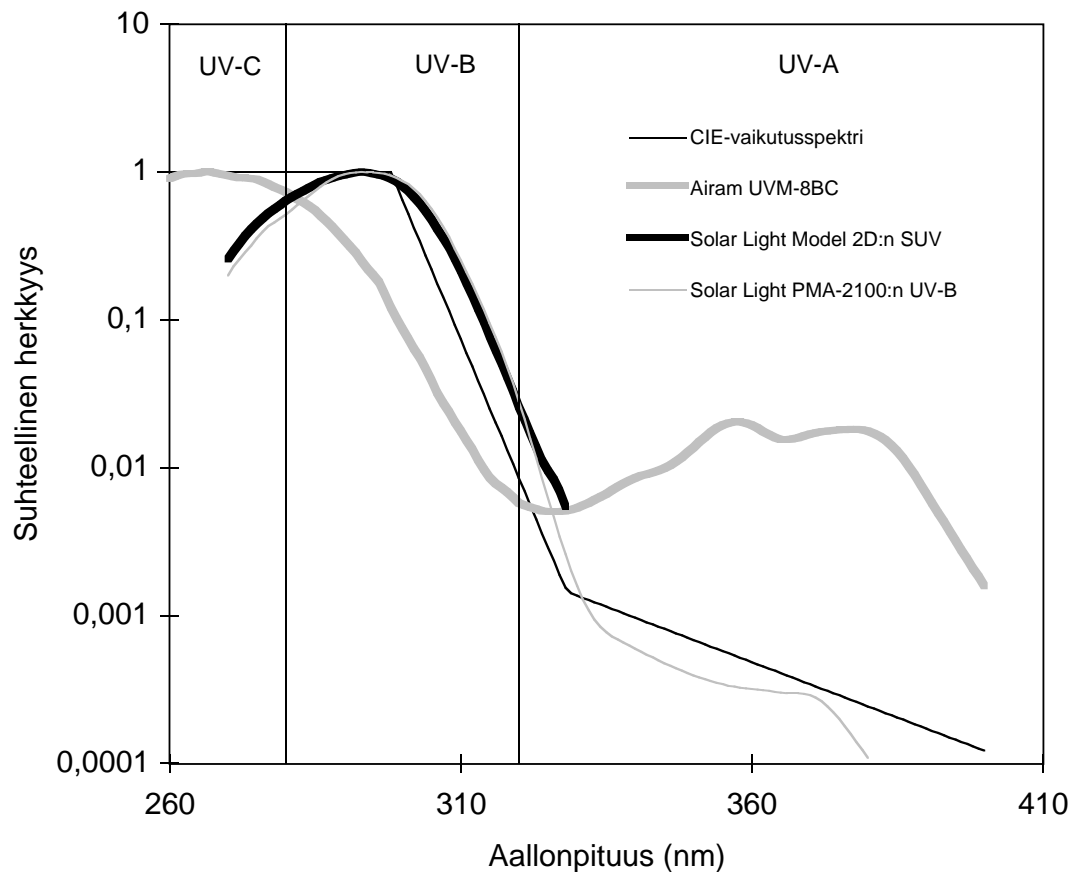
Spektrisen herkkyyden määrittämiseksi eri anturimerkeistä valittiin satunnaisesti yksi tai kaksi esimerkkitapausta, koska tutkimuksen puitteissa ei ollut mahdollista määrittää jokaisen anturin herkkyyttä erikseen. Spektrisen herkkyyden määrittäminen on kuvattu kohdassa 5.2 ja mitatut spektriset herkkydet on esitetty kuvissa 6.2 ja 6.3. Kuvissa on esitetty selkeyden vuoksi vain yksi esimerkki eri anturimerkeistä. Kahden Airam UVM-8A -anturin spektrisen herkkyyden ero on mitausten perusteella vähemmän kuin $\pm 15\%$, ja kahden UVM-8B -anturin vastaava ero on alle $\pm 8\%$. Solar Light PM 2100 -mittarin ja kahden Solar Light Model 2D -mittarin eryteema-antureiden herkkydet ovat $\pm 15\%$ puitteissa samoja aallonpituusalueella 270 - 320 nm.

Kuvasta 6.2 nähdään, että Airam UVM-8A- ja Solar Light PMA-2100 UVA-antureiden spektriset herkkydet ovat samankaltaiset ja että antureiden herkkyysalue on noin 300 - 400 nm. Waldmann PUVA-anturin herkkyysalue on vastaavasti 330 - 400 nm. Airam UVM-8B-anturin herkkyysalue on noin 270 - 330 nm, mutta anturilla on jonkin verran herkkyyttä myös UV-A alueella aallonpituuteen 380 nm asti.

Kuvassa 6.3 on esitetty kahden erilaisen Solar Light -mittarin eryteema-anturin ja Airam UVM-BC-anturin spektriset herkkydet sekä eryteeman vaikutusspektri. Eryteema-antureiden herkkyys noudattaa kohtuullisen hyvin CIE:n eryteeman vaikutusspektriä. Solar Light Model 2D -mittarin anturin herkkyys pystyttiin mittaamaan vain aallonpituuteen 320 nm asti, koska mittalaitteiston UV-säteilyn annosnopeus tällä alueella oli liian heikko. Solar Light PM 2100 -mittarilla pystytään mittaamaan pienempiä annosnopeuksia, ja sen eryteema-anturin spektrinen herkkyys saatiin määritettyä aallonpituuteen 380 nm asti. Airam UVM-BC -anturin herkkyysalue on pääosin UV-C- ja UV-B-alueella, mutta anturi on suhteellisen herkkä myös UV-A-säteilylle.



Kuva 6.2. Kolmen erilaisen UV-A -anturien ja yhden UV-B-anturin spektriset herkkyydet.



Kuva 6.3. Airam UVM-8BC-anturin ja kahden erilaisen Solar Light mittarin eryteema-anturin (SUV) spektriset herkkyydet sekä CIE:n eryteeman vaikutusspektri. Huom. Ku-
vassa logaritminen asteikko.

6.5 Valohoitolaitteiden sisäiset UV-mittarit

Valohoitolaitteiden sisäisten UV-mittareiden näyttämän annosnopeuden ja spektroradiometrilla mitatun annosnopeuden vertailu on esitetty liitteessä E. Laitteiden joukossa oli PUVA-, UV-B- ja yhdistelmälaitteita. Yhdistelmälaitteiden mittari näyttää joko PUVA- tai UV-B-lamppujen annosnopeutta, sen mukaan kummat ovat käytössä. Vertailun perusteella Voltarc F71T12-2072 -lamppuilla varustettujen Waldmann 6002 -laitteiden mittareiden näyttämät UV-B-alueen annosnopeudet ja kahden Waldmann UV 8001K -laitteen näyttämät UV-A-säteilyn annosnopeudet olivat $\pm 10\%$ tarkkuudella samoja kuin spektroradiometrilla määritetyt arvot. Muilla laitteilla poikkeamat olivat 30 - 50 %. Hoitolaitteen sisäisen mittarin käytön luotettavuus edellyttää, että mittari on säädetty laitteessa käytettävien UV-lamppujen spektrille sopivaksi.

6.6 Laskennallinen kalibrointi

Normaalisti mittarin ja sen anturin kalibroitikerroin tiettyä lamppumerkkiä varten saadaan vertaamalla spektroradiometrilla määritettyä annosnopeutta mittarin näyttämään, kuten edellä on esitetty. Laskennallisella kalibroinnilla tarkoitetaan menetelmää, jossa kalibroidulle mittarille voidaan laskea kalibroitikerroin jollekin toiselle lamppumerkille, ilman että tarvitsee tehdä rinnakaismittauksia spektroradiometrilla ja kalibroituavalla mittarilla. Tämä edellyttää, että anturin spektrin vaste ja lamppujen spektrit tunnetaan. Laskennallisen kalibroinnin teoria on esitetty liitteessä F.

Laskennallista kalibrointia testattiin käyttämällä lähtökohtana Arimed B-13300-100W:lla spektroradiometrisesti määritettyä kalibroitikerrointa, ja kalibroitikerroimet laskettiin lamppumerkille. Laskennalliset kalibroitikerroimet ja vastaavat spektroradiometrisesti määritetyt kalibroitikerroimet on esitetty liitteen F taulukossa F I. Laskennallisella kalibroinnilla saadut kalibroitikerroimet olivat noin 10 - 40 % suurempia kuin spektroradiometrisesti määritetyt kalibroitikerroimet. Suureen vaihteluun vaikuttavat kalibroinnin epävarmuus, mittaustilanteiden erilaiset geometriat, määritetyn spektrisen herkkyyden epävarmuus ja mittareiden omat epäideaalisuudet. Syytä laskennallisten kalibroitujujen systemaattisesti liian suuriin kalibroitikerroimiin ei tiedetä. Kun otetaan huomioon, että ilman mitään kalibrointia mittareiden näyttämä annosnopeus voi pahimmillaan olla vain kolmasosa tai yli kaksinkertainen verrattuna spektroradiometriin tuloksiin, niin nähdään, että jo pelkällä laskennallisella kalibroinnilla voidaan huomattavasti parantaa mittaustarkkuutta.

6.7 Pohdinta

Liitteen D taulukoista nähdään selkeästi, kuinka tärkeää on korjata laajakaistaisten UV-mittareiden tulokset oikealla kalibroitikerroimella, jotta saataisiin oikea arvio UV-säteilyn annosnopeudesta. Käyttämällä taulukoiden kertoimia saadaan eri mittareiden mittaustuloksista keskenään vertailukelpoisia. Tämä mahdollistaa sen, että eri hoitoyksiköt voivat vaihtaa keskenään tietoa valohoitojensa UV-annoksista fysikaalisesti luotettavalla tavalla. Jos valohoitolaitteessa on sisäinen UV-mittari, joka on oikein säädetty, niin sisäisen mittarin lukema soveltuu hoitojen annosnopeuden ja annoksen määrittämiseen.

UV-mittareiden kalibroitikerroimien määrittämisessä spektroradiometrinen määrittäminen on ensisijainen menetelmä. Mutta jos spektroradiometrillä määrittäminen ei jostain syystä voida toteuttaa, niin laskennallista kalibrointia voidaan käyttää korvaavana menetelmänä.

7 UV-VALOHOITOJEN LAADUNVARMISTUS

7.1 Yleistä

UV-valohoitosten laadunvarmistuksen tavoitteena on parantaa valohoitolaiteiden ja niiden käytön säteilyturvallisuutta sekä optimoida valohoitosten toteutusta niin, että haluttu hoitotulos saavutetaan mahdollisimman vähäisellä UV-annoksella. Pitkällä aikavälillä kertyvän UV-annoksen rajoittamisella voidaan vähentää pitkäaikaisiin valohoitoihin liittyvää ihosyöpäriskiä.

Valohoitosten laadunvarmistuksella tarkoitetaan tässä yhteydessä kaikkia niitä toimenpiteitä, joilla varmistetaan hoitolaiteiden toimintakunto ja hoitosten turvallinen toteutus sekä parannetaan UV-annosten määrittelyn luotettavuutta ja vähennetään tarpeetonta UV-altistusta.

7.2 Nykyinen käytäntö

7.2.1 Laitteiden säteilytehon seuranta

Sairaaloiden valohoitoyksiköt käyttävät laajakaistaisia UV-mittareitaan lähinnä seuratakseen hoitolaiteiden säteilytehon heikkenemistä vanhenemisen myötä, eivät valotuskertojen tuottaman UV-annoksen määrittämiseen. Kymmenkunta sairaalaa mittaa laitteiden tehon säännöllisesti. Suurin osa tekee mittaukset vuosittain, osa jopa kuukausittain. Mittaukset koskevat eniten käytettyjä hoitolaiteita. Vähän käytettäviä hoitolaiteita ei juurikaan mitata. Useimmiten mittauksista vastaa hoitaja tai lääkäri, harvemmin sairaalan tekninen osasto tai laitehuolto. Viidessä sairaalassa ei ole lainkaan UV-mittaria ja neljässä sairaalassa, joissa on UV-mittari, niiden käyttö on satunnaista.

Valohoitolaiteiden UV-lamppuja uusitaan vaihtelevin perustein. Äärimmäiset esimerkit ovat lampujen uusiminen säännöllisesti kerran vuodessa ja lampujen uusiminen vasta sitten kun kliininen hoitovaste heikkenee havaittavasti. Useimmiten kuitenkin vaihdon syynä on jokin kolmesta seuraavasta syystä: lampujen säteilyteho on mittauksen perusteella alentunut, tietty käyttötuntimäärä on täynnä tai lamput lakkaavat toimimasta.

Niissä tapauksissa, joissa laitteiden teho mitataan säännöllisesti, UV-lamput vaihdetaan, kun säteilyteho on 50 - 70 % alkuperäisestä. Käyttötuntien perusteella vaihdetaan lamput esim. Metec Helarium- ja Waldmann UV 1000-laitteisiin. Vaihdon perusteena käytettävä tuntimäärä Metec-laitteiden kohdalla vaihtelee välillä 400 - 1500 h, kun valmistajan suositus on ollut 800 - 1000 h. Näissä tapauksissa vaihdetaan kerralla laitteen kaikki lamput. Muutamissa hoitoyksiköissä laitteiden lampuja uusitaan yksitellen sitä mukaan, kun ne sammuvat.

7.2.2 UV-annoksen seuranta

Suomen yliopisto- ja keskussairaaloissa UV-valohoittoa saaneiden potilaiden kokonaismäärä on vuosittain noin 5 550 (Jansén ym. käsikirjoitus) ja valohoitokertojen määrä on noin 88 000, eli keskimäärin 15 valotuskertaa potilasta kohden. Potilaiden UV-hoidosta kertyvän altistuksen seuranta vaihtelee suuresti. Suurimassa osassa hoitolaiteita on kyllä ajastin, jolla voidaan valita valotusaika riittävän tarkasti, mutta valotuksen tuottaman UV-annoksen suuruutta ei tunneta, koska annosnopeus ei ole tarkasti tiedossa. Vain yksi sairaala mittaa hoitolaiteiden annosnopeuden eryteemamittarilla ja laskee sen perusteella tarvittavat valotusaikojen pituudet ja potilaiden UV-annokset. Suurin osa sairaaloista kuitenkin pitää kirjaa vähintään valotuskertojen lukumäärästä, usein myös valotusaikojen pituudesta. Tämä koskee varsinkin kokovartalolaitteita, paikallishoitolaiteiden osalta ei kirjanpito ole yhtä yleistä. Jos hoitolaiteessa on sisäinen UV-annosmittari, niin potilaan saamat UV-annokset voidaan kirjata mJ/cm² -yksiköissä. Muutama sairaala ei pidä seuranta potilaille kertyvästä UV-altistuksesta.

Käytännössä kaikki sairaalat peittävät potilaan genitaalialueen ihon valotusten ajaksi, mikäli hoidettava ihottuman levinneisyys sen sallii. Suojaukseen käytetään mm. vihreää leikkaussalikalangasta ja paperipyyhkeitä. Kolme sairaalaa peittää myös naisten rinnat. Suojausten riittävyys on joissain

tapauksissa kyseenalainen: Säteilyturvakeskuksen tekemien mittausten mukaan suojuksena käytetty kaksinkertainen kuitukangasmyssy läpäisi yli 50 % UV-säteilyä. Pääsääntöisesti voidaan sanoa: jos em. kaltaiset suojuukset läpäisevät näkyvää valoa, niin ne läpäisevät myös UV-säteilyä.

7.3 Suositukset UV-valohoitojen laadunvarmistuksesta

Tässä annettavat suositukset on laadittu tämän tutkimuksen ja kansainvälisten esikuvien mukaan (British 1993, American 1994) soveltaen samoja periaatteita, mitä noudatetaan muiden lääkinnällisessä käytössä olevien säteilylaitteiden osalta. Säteilylain (592/91) 40 §:n mukaan toiminnan harjoittajan on järjestettävä säteilylähteiden, niihin liittyvien laitteiden ja välineiden sekä niiden käytön laadunvarmistus.

Valohoitoyksiköiden tulisi järjestää UV-valohoitolaitteilleen laadunvarmistus. Laadunvarmistuksen laajuus on riippuvainen laitteiden määrästä, hoitokertojen määrästä ja muista yksikkökohtaisista seikoista. Seuraavassa esitetään laadunvarmistuksen oleellisin sisältö ja annetaan suosituksia niiden toteuttamiseksi.

7.3.1 Henkilöstö

Valohoitolaitteiden laadunvarmistukselle nimetään vastuuhenkilö. Vastuuhenkilön on tunnettava laitteiden toiminta ja käyttö ja hänellä on oltava riittävät perustiedot UV-säteilyn biologisista vaikutuksista. Hänen on ymmärrettävä UV-lamppujen vaihdon ja muiden muutostöiden vaikutus laitteen tuottamaan UV-annokseen ja hänen osattava käyttää UV-mittareita.

Valohoitolaitteita saavat käyttää vain tähän tehtävään nimetyt henkilöt. Heille on annettava riittävä opastus laitteiden oikeaan ja turvalliseen käyttöön sekä UV-säteilyn haittavaikutuksilta suojautumiseksi. Hoitohenkilökunnan on käytettävä suojalaseja, jos työskentely on sen laatuista, että työntekijän silmät ovat alttiina UV-säteilylle. Joissain tilanteissa, kuten valotestejä tehtäessä ja UV-säteilyä mitattaessa, myös suojakäsineiden tai muun suojavaatetuksen käyttö on tarpeen.

7.3.2 Valohoitolaitteiden käyttö ja huolto

Valohoitolaitteilla on oltava käyttöohjeet ko. hoitoyksikössä käytettävällä toisella kotimaisella kielellä, tarvittaessa molemmilla. Laitteista on pidettävä kirjaa, josta selviää vähintään laitteen merkki, kulloinkin käytössä olevat UV-lamput, lamppujen vaihtoajankohdat, käyttötunnit ja muut huoltotoimenpiteet sekä UV-annosnopeuden mittaustulokset.

Lamppuja uusittaessa kaikki lamput tulisi vaihtaa samanaikaisesti. Jos laitteeseen vaihdetaan lamput, jotka eivät ole samaa merkkiä kuin alkuperäiset, niin laadunvarmistuksesta vastaavan henkilön on selvitettävä esim. laitevalmistajan ja maahantuojan antamien tietojen ja UV-annosnopeusmittausten perusteella, ovatko uusien lamppujen UV-säteilyn spektri ja annosnopeus samanlaisia kuin alkuperäisten lamppujen. Tarvittaessa neuvoa voi kysyä STUK:lta. Jos uuden lamppumerkin UV-säteily poikkeaa aiemmasta, niin ero on otettava huomioon potilaiden hoidoissa niin, että haluttu hoitotulos saavutetaan ilman, että potilaan UV-annosta tarpeettomasti kasvatetaan.

Valohoitoja antavalla yksiköllä olisi hyvä olla UV-mittari, joka on kalibroitu yksikössä yleisimmin annettavien valohoitojen annosnopeuksien mittaamista varten. Mittarin valinnasta on annettu ohjeita luvussa 7.3.4. Valohoitoyksiköt voivat tarvittaessa tilata hoitolaitteiden UV-spektrien ja annosnopeuden mittauksia sekä mittareiden kalibrointeja STUK:lta. Valohoitolaitteiden annosnopeus tulisi mitata säännöllisin väliajoin ja suhteuttuna laitteen käyttömäärään esim. 50 käyttötunnin tai 2 kk välein, sen mukaan kumpi raja ensin täyttyy. Jos mittaukset tehdään luotettavalla mittarilla riittävän säännöllisesti, niin säteilytehon alenema voidaan ottaa huomioon ja vastaavasti pidentää valotusaikoja saman hoitovaikutuksen ylläpitämiseksi.

Valohoitolaitteen ajastimen toiminta tulisi tarkistaa vähintään kerran vuodessa ja aina jos epäillään ajastimen toimivan väärin.

7.3.3 Valohoitojen toteutus ja potilasturvallisuus

UV-valohoidoista ja niiden toteutuksesta on oltava kirjalliset ohjeet niin, että on yksikäsitteisesti määritelty millä hoitolaitteella ja millaisilla valotusajoilla tai UV-annoksilla potilaille määrätyt hoidot toteutetaan.

Potilaille on annettava riittävästi opastusta ja tietoa, mahdollisuuksien mukaan myös kirjallisesti, UV-hoidoista ja niiden vaikutuksista, tiettyjen lääkeaineiden aiheuttamasta UV-herkistymisestä sekä tarvittavista varotoimenpiteistä, kuten silmien suojaamisesta ja auringonvalolta suojautumisesta. Potilaita on opastettava itse tarkkailemaan ihomuutoksia mahdollisen ihosyövän varhaiseksi havaitsemiseksi.

Potilaiden silmät on suojattava UV-säteilyltä suojaavilla silmiensuojaimilla aina valotuksen aikana. Mikäli hoito ei muuta vaadi, niin suositellaan, että potilaiden genitaalialueet suojataan valotuksen ajaksi UV-säteilyä läpäisemättömällä suojalla. Valotettavalla ihoalueella olevat pigmenttiluomet, varsinkin ns. ärjyluomet, on hyvä peittää esim. sinkkipastalla. Myös kasvot on hyvä suojata UV-säteilyä läpäisemättömällä suojalla, jos niitä ei hoideta.

Valotusta antavan hoitajan on oltava läsnä hoituhuoneessa valotuksen ajan. Hoitajakson aikana hoitavan lääkärin tulee säännöllisesti seurata ja arvioida hoidon vaikutusta ja pitää potilaan saama UV-annos niin pienenä kuin mahdollista halutun hoitotuloksen saavuttamiseksi. Potilaille on järjestettävä säännöllinen ja pitkäaikainen, tarvittaessa elinikäinen, seuranta mahdollisen ihosyövän varhaiseksi havaitsemiseksi.

7.3.4 UV-säteilyn annosnopeuden mittaaminen

Mittaamalla valohoitolaitteen UV-säteilyn annosnopeus säännöllisesti hyvin kalibroidulla mittarilla voidaan seurata potilaille kertyviä UV-annoksia ja havaita muutokset lamppujen säteilytehossa. PUVA-laitteiden painottamattoman annosnopeuden mittaamiseen soveltuu UV-A-anturi, ja eryteema-anturilla saadaan suuntaa antavia tietoja eryteemaefektiivisestä annosnopeudesta. SUP-laitteiden mittaamiseen riittää eryteema-anturi. UV-B-laitteiden mittaamisessa eryteema-anturi ja painottamaton UV-B-anturi ovat käyttökelpoisia. Kaikissa tapauksissa on tärkeää, että mittarit on kalibroitu ko. laitteissa käytettävien lamppumerkkien mittaamiseen.

Valohoitolaitteen annosnopeus tulisi mitata normaalisti käytettävällä valotusetäisyydellä. Paikallishoitolaitteiden etäisyys on useimmiten ilmoitettu käyttöohjeessa, tai se määräytyy selkeästi laitteen rakenteen perusteella. Kokovartalon hoitoon käytettävien laitteiden mittaukset tulisi tehdä etäisyydellä, joka vastaa keskikokoisen potilaan vartalon etäisyyttä lamppuista normaalissa hoitotilanteessa. On tärkeää kehittää mittaustapa sellaiseksi, että mittaukset voidaan tehdä kerrasta toiseen aina samalla tavalla, jolloin voidaan havaita muutokset laitteen annosnopeudessa. Mittauksia tehtäessä on suojauduttava hoitolaitteen tuottamalta UV-säteilyltä käyttämällä asianmukaisia silmiensuojaimia ja suojavaatetusta.

Valohoitolaitteen annosnopeus saadaan, kun mittarin näyttämä lukema kerrotaan laitteessa käytettävälle lamppumerkille ja mittauksessa käytetylle anturille tarkoitettulla kalibrintikertoimella. Jos todellista annosnopeutta merkitään symbolilla **E** ja mittarin näyttämää annosnopeutta lyhenteellä **ML** ja tarvittava kalibrintikerroin on $KK_{\text{anturi,lamppu}}$ niin silloin annosnopeuden laskeminen voidaan esittää seuraavalla kaavalla:

$$E = ML \times KK_{\text{anturi,lamppu}}$$

Esimerkki 1:

PUVA-laitteen annosnopeus on mitattu mittarilla, jossa on sekä UV-A- että eryteema-anturi. UV-A-säteilyn mittaustulokseksi on saatu $11,5 \text{ mW/cm}^2$ ja eryteemaefektiiviseksi annosnopeudeksi $1,6 \text{ MED/h}$. UV-A-anturin kalibroitikerroin laitteessa käytettäville PUVA-lampuille on $0,68$, ja eryteema-anturin kerroin PUVA-lampuille on $1,2$. Silloin korjatut annosnopeudet E_{UVA} ja E_{Eryt} ovat seuraavat:

$$\begin{aligned} E_{\text{UVA}} &= 11,5 \text{ mW/cm}^2 \times 0,68 = 7,8 \text{ mW/cm}^2 \\ E_{\text{Eryt}} &= 1,6 \text{ MED/h} \times 1,2 = 1,9 \text{ MED/h} \end{aligned}$$

7.3.5 Potilaiden UV-annosten seuranta

Potilaiden UV-hoidoista on kirjattava vähintään tiedot hoitojakson aikana annettujen valotuksien lukumäärästä ja kestoajoista sekä käytetty hoitolaite. Koska valohoidon tuottama UV-annos riippuu valotusajan pituuden lisäksi myös lampujen UV-spektristä ja säteilytehosta, niin pelkkien valotusaikojen perusteella ei voida arvioida potilaan saaman UV-annoksen suuruutta. Mikäli mahdollista, UV-annos on määritettävä kalibroidulla mittarilla mitatun annosnopeuden perusteella. Kun annosnopeus tunnetaan, voidaan laskea kuinka pitkä valotusaika tarvitaan halutun suuruisen annoksen tuottamiseen. Annos D on valotusajan Δt ja annosnopeuden E tulo, eli

$$D = \Delta t \times E.$$

Esimerkki 2:

Esimerkissä 1 kuvatulla PUVA-laitteella hoidetun potilaan hoitojakson kokonaisvalotusaika on 33 min . Silloin hoitojakson UV-A-säteilyn kokonaisannos $D_{\text{UVA-tot}}$ saadaan laskettua seuraavasti:

$$D_{\text{UVA-tot}} = 33 \times 60 \text{ s} \times 7,8 \text{ mW/cm}^2 = 15,4 \text{ J/cm}^2$$

Esimerkki 3:

UV-B-hoitolaitteen eryteemaefektiivinen annosnopeus on kalibroidun mittauksen perusteella 70 MED/h . Lääkäri määrää potilaan hoidon aloitusannokseksi $1,5 \text{ SED}$:tä ja annoksia korotettaviksi 1 SED :n välein.

1 SED on määritelmänsä mukaan 100 J/m^2 eryteemaefektiivisenä annoksena. Eryteemamittareiden MED -yksikkö on 200 J/m^2 , eli 1 MED/h on sama kuin 2 SED/h . Silloin aloitusannoksen valotusaika Δt_0 saadaan seuraavasti:

$$\Delta t_0 = \frac{1,5 \text{ SED/h}}{2 \times 70 \text{ MED/h}} = 0,0107 \text{ h} = 39 \text{ s}$$

Valotusaikoja pidennetään vastaavasti 26 sekunnin välein.

Potilaskohtainen UV-annosten kirjaus voidaan toteuttaa esimerkiksi käyttämällä valohoidoissa lomaketyypistä hoitokorttia, johon kunkin valotuksen kesto ja UV-annos merkitään. Kortista tulisi käydä myös ilmi potilaan henkilötiedot ja käytetty hoitolaite ja lampumerkki. Esimerkki valohoitojen annosseurantaan soveltuvasta lomakkeesta on esitetty liitteessä G.

7.3.6 Yhteenveto laadunvarmistuksen pääkohdista

Valohoitolaiteiden laadunvarmistuksen keskeisin sisältö voidaan tiivistää seuraaviin kohtiin:

- Valohoitolaitteita käytäville henkilöille on annettava riittävä opastus laitteiden käyttöön.
- Hoitolaitteilla on oltava kirjalliset käyttöohjeet.
- Valohoitolaiteiden annosnopeutta tulisi seurata kalibroidulla UV-mittarilla.
- Hoitolaitteista ja niiden UV-annoksiin vaikuttavista seikoista, kuten lamppumerkeistä ja annosnopeuksista, tulisi pitää kirjaa.
- Potilaiden UV-annokset on kirjattava, ja annokset tulee pitää niin pieninä kuin hoidon kannalta on mahdollista.
- Potilaiden silmät on aina suojattava hoitolaitteen UV-säteilyltä ja mahdollisuuksien mukaan myös riskialttiit ihoalueet tulisi peittää valotuksen ajaksi.
- Mahdollisen ihosyövän varhaiseksi havaitsemiseksi potilaille on järjestettävä säännöllinen ja pitkäaikainen seuranta ja heitä on opastettava itse tarkkailemaan ihomuutoksia.

8 JOHTOPÄÄTÖKSET

Suomen sairaaloissa käytössä oleva valohoitolaitteisto on varsin laaja. Kuudenkymmenen koko vartalon valotuksiin käytettävän hoitolaitteen joukossa on viitisentoista eri mallia, ja näissä käytetään yhteensä viittätoista eri lamppumerkkiä. Mutta koska samaa mallia edustavissa eri hoitolaitteissa käytetään jopa neljää erilaista lamppumerkkiä, ja vastaavasti samaa lamppumerkkiä voidaan asentaa useaan eri laitemalliin, niin lopputuloksena erilaisia hoitolaitteita on lähes kaksinkertainen määrä verrattuna laitemallien määrään. Tilanne on samanlainen myös pienikokoisten valohoitolaitteiden osalta.

PUVA-laitteissa käytettäviä lamppeja voidaan luonnehtia siten, että kaikkien PUVA-lamppumerkkien tuottamassa UV-säteilyssä UV-B:n osuus on vain 1 - 3 %, jos tarkastellaan painottamatonta UV-annosta. Sen sijaan eri PUVA-lamppujen eryteematehokkuus vaihtelee. Tyypillisesti UV-B-säteilyn osuus eryteeman aiheuttajana on 40 - 50 % ja pienimmilläänkin hieman yli 30 %. Täysin puhtaita UV-A-säteilijöitä ovat vain laitteet, joissa on suodattava lasi lamppujen edessä. Näitä ovat Waldmann PUVA 180, jossa käytetään tavallisia PUVA-loistelamppeja, ja valotesteissä käytettävä Sellas Sunlight, jonka säteilylähteenä on monimetallilamppu.

SUP-hoitoihin käytettävät valohoitolaitteet ovat yhtä lukuunottamatta kaikki samaa Metec Helarium -merkkiä. Näissä laitteissa aiemmin käytetyn Helarium-merkkisen lampun sijaan markkinoidaan nyt kahta uutta lamppumerkkiä. Kaikkien kolmen em. lampun UV-spektrit ovat toistensa kaltaisia, mutta spektrin muodossa ja eryteematehokkuudessa voidaan havaita pieniä eroja. Samalla lamppumerkillä varustetuista eri Metec-laitteista mitatuissa annosnopeuksissa on kuitenkin suurta vaihtelua.

UV-B-laitteiden aiheuttama eryteema syntyy puhtaasti UV-B-säteilystä, vaikka painottamattomassa annoksessa UV-A:n osuus on jopa puolet. UV-B-lamppujen spektrissä on kuitenkin keskenään huomattavia eroja. UV-B-lamppumerkkien, joiden spektri alkaa noin 275 nm:n aallonpituudelta, eryteemaefektiivisyys on paljon suurempi kuin niiden UV-B-lamppumerkkien, joiden spektri alkaa vasta noin 285 nm:n aallonpituudelta. Tämän takia edellisen kaltaisia lamppeja käytettäessä UV-B-hoitolaitteen eryteemaefektiivinen annosnopeus voi olla kaksin - kolminkertainen verrattuna laitteisiin, joissa on jälkimmäisen kaltaiset lamput, vaikka lamppeja olisi vähemmän.

Sairaaloiden UV-mittarikantaa voidaan pitää kohtalaisena: 16 sairaalassa on vähintään yksi UV-mittari. Viidessä sairaalassa mittarissa on anturit sekä UV-A-säteilyn että eryteemapainotetun UV-säteilyn mittaamiseksi, 14 sairaalassa on vain painottamaton UV-A-anturi ja kolmessa vain eryteema-anturi.

Painottamattoman UV-A-säteilyn mittaamista voidaan pitää ensisijaisena mittausmenetelmänä PUVA-laitteille. SUP- ja UV-B-laitteiden tapauksessa eryteema-anturin käyttö on tarkoituksenmukaisiin tapoihin määrittää UV-annokset. Painottamaton UV-B-anturi sopii parhaiten hoitolaitteen annosnopeuden muutosten seurantaan lamppujen ikääntymisen myötä. Painottamaton UV-B-annosnopeus ei korreloi hyvin eryteemavaikutukseen, koska eri UV-B-lamppumerkkien eryteemaefektiivisellä annosnopeudella on huomattava ero, vaikka painottamaton UV-B-annosnopeus olisi yhtä suuri.

Mittareille määritettyjen kalibroitukertoimien suuri vaihteluväli (0,47 - 4,2) osoittaa, että mittaustulosten korjaaminen kalibroitukertoimella on välttämätöntä, jotta mittauksilla olisi mitään merkitystä hoitoannoksen määrittämisessä. Erityisesti eryteema-antureiden kalibroitukertoimien vaihteluväli oli suuri ja anturit aliarvioivat SUP- ja UV-B-laitteiden annosnopeutta. Sen sijaan painottamatonta UV-A- ja UV-B-säteilyä mittaavien antureiden kalibroitukertoimien vaihtelu oli kohtuullista. Huomiota on, että sama kalibroitukerroin sopii kaikille spektriltään samankaltaisille, myös eri merkkisille lampuille. Tämä käytännössä yksinkertaistaa suuresti mittareiden kalibroitua, koska mittareita ei ole tarpeen kalibroida erikseen jokaiselle lamppumerkille.

Laskennallisella kalibroinnilla saadut kalibroitukertoimet poikkeavat spektrometrisesti määritetyistä kertoimista 10 - 40 %. Ero on varsin kohtuullinen, kun otetaan huomioon, että ilman kalibroitukertoimella tehtävää korjausta mittareiden näyttämät annosnopeudet poikkesivat

-50 % – +320 % spektrometrillä määritetyistä annosnopeuksista. Laskennallisen kalibroinnin käyttöä rajoittaa kuitenkin se, että kaikkien anturimerkkien spektristä herkkyyttä ei voida määrittää riittävän tarkasti. Mutta jos anturin herkkyys on määritetty, niin laskennallista kalibroitua voidaan tarvittaessa käyttää spektrometristä määritystä korvaavana menetelmänä.

Valohoitolaiteiden turvallisen käytön varmistamiseksi ja potilaiden UV-annoksen minimoimiseksi valohoitoyksiköiden tulisi järjestää UV-valohoitojen laadunvarmistus. Laadunvarmistuksen keskeisin sisältö voidaan tiivistää seuraaviin ohjeisiin. Valohoitolaiteita käyttävän henkilökunnan on hallittava laitteiden käyttö ja osattava suojautua tarvittaessa laitteiden tuottamalta UV-säteilyltä. Potilaiden silmät on aina suojattava hoitolaitteen UV-säteilyltä ja mahdollisuuksien mukaan myös riskialttiit ihoalueet tulisi peittää valotuksen ajaksi UV-säteilyä läpäisemättömällä suojalla. Potilaiden saamat UV-annokset tulee pitää niin pieninä kuin hoidon kannalta on mahdollista. Mahdollisen ihosyövän varhaiseksi havaitsemiseksi potilaille on järjestettävä säännöllinen ja pitkäaikainen seuranta ja heitä on opastettava itse tarkkailemaan ihomuutoksia. Valohoitoyksikön tulisi pitää kirjaa hoitolaitteista ja niiden UV-annoksiin vaikuttavista seikoista, kuten lamppumerkeistä ja annosnopeuksista. Hoitolaiteiden UV-annosnopeutta suositellaan seurattavaksi kalibroidulla UV-mittarilla. Näin voidaan havaita muutokset lamppujen säteilytehossa sekä seurata potilaille kertyviä UV-annoksia. Potilasannosten kirjaaminen ja kalibroittujen mittareiden käyttö parantavat myös valohoitoyksiköiden mahdollisuuksia vaihtaa tietoa ja kokemuksia eri hoitomuodoista ja siten edelleen kehittää valohoitojaan.

9 KIRJALLISUUSVIITTEET

Anders A, Althide H-J, Knälmann M, Tronnier H. Action spectrum for erythema in humans investigated with dye lasers. *Photochem. Photobiol.* 1995; 61: 200-205.

Anderson RR, Parrish JA. The optics of human skin. *J. Invest. Dermatol.* 1981; 77: 13-19.

American Academy of Dermatology. Guidelines of care for phototherapy and photochemotherapy. *J Am Acad Dermatol* 1994;31:643.8.

Bickers DR. Position Paper- PUVA therapy. *Am Acad Dermatol* 1983; 2: 265-270

British Photodermatology group guidelines for PUVA. *British Journal of Dermatology* (1994) 130, 246-255.

Bruls WAG, Slaper H, van der Leun JC, Berrens L. Transmission of human epidermis and stratum corneum as a function of thickness in the ultraviolet and visible wavelengths. *Photochem. Photobiol.* 1984; 40: 485-494.

Bruynzeel I. et al. 'High-single-dose' European PUVA regimen also causes an excess of non-melanoma skin cancer. *BR. J. Dermatol.* 1991; 124: 49-55

Coblentz WW and Stair R. Data on the spectral erythemic reaction of the untanned human skin to ultraviolet radiation. *Journal of research. National Bureau of Standards* 1934; 12:13-14.

CIE International Commission on Illumination, Berlin ; *Compt. Rend.* 9: 596,1935

CIE Research Note. A reference action spectrum for ultraviolet induced erythema in human skin. Vol 6, No 1, 1987

CIE Research Note. Reference action spectrum for ultraviolet induced erythema and pigmentation of different humankind types. CIE Technical Collection 1993/3

CIE Standard Erythema Dose. Draft Standard 1996

Coblentz WW and Stair R. Data on the spectral erythemic reaction of the untanned human skin to ultraviolet radiation. *Journal of research. National Bureau of Standards* 1934; 12: 13-14.

Cripps DJ, Ramsay CA. *Br. J. Derm.* 1970; 82: 584

D'Arcy C, Holman J, Armstrong BK, Heenan PJ. Relationship of cutaneous malignant melanoma to individual sunlight-exposure habits. *JNCI* 1986; 76: 403-414

De Gruijl F, van der Meer J, van der Leun J. Dose-time dependency of tumor formation by chronic UV-exposure. *Photochem Photobiol* 1983; 37: 56-62.

De Gruijl FR, Sterenborg HJCM, Forbes D, Davies RE, Cole C, Kelfkens G, van Weelden H, Slaper H, van der Leun J. Wavelength dependence of skin cancer induction by irradiation of albino hairless mice. *Cancer Research* 1993; 53: 53-60

De Gruijl FR, van der Leun J. Estimates of the wavelength dependency of ultraviolet carcinogenesis in humans and its relevance to the risks assessments of a stratospheric ozone depletion. *Health Physics* 1994; 67(4): 319-325

Diffey BL, Challoner AVJ, Key PJ. A survey of the ultraviolet radiation emissions of photochemotherapy units. *British Journal of Dermatology* 1980; 102:301-306

Diffey BL,. *Ultraviolet Radiation in Medicine, Medical Physics Handbooks* 11, 1982

- Epstein J. Effects of ultraviolet radiation on the mitotic cycle and DNA and RNA and protein synthesis in mammalian epidermis in vivo. *Photochem Photobiol* 1970; 12: 7-59.
- Eskelinen A, Halme K, Lassus A, Idänpää-Heikkilä J. Risk of cutaneous carcinoma in psoriatic patients treated with PUVA. *Photodermatol.*1985; 2(1): 10-14
- Everett MA, Olsson RL, Sayre RM. *Arch. Dermatol.* 1965; 92: 713.
- Everett MA, Yeagers E, Sayre RM and Olsson RL. *Photochem. Photobiol* 1996;5:533.
- Forbes PD, Davies RE, and Urbach F. Experimental ultraviolet photocarcinogenesis: Wavelength interactions and time-dose relationship. 1978; NCI Monograph 50 (M.L.Kripke and E.R.Sass, eds.) NCI Bethesda, MD pp. 31-38.
- Forman AB, Roenigk HH, Caro WA, Magid ML. Long-term follow-up of skin cancer in the PUVA-48 cooperative study. *Arch. Dermatol.* 1989; 125: 515-519
- Fischer T. UV-light treatment of psoriasis. *Acta Dermatol.* 1976; 56: 473-479
- Fitzpatrick TB, Sober AJ. Sunlight and skin cancer. *N Engl J Med* 1985; 313: 818-9
- Fitzpatrick TB. The validity and practicability of sun-reactive skin types I through VI. *Arch Dermatol* 1988; 124: 869-871.
- Freeman RG, Owens DW, Knox JM, Hudson HT. *J. Invest. Dermatol.* 1966; 47: 506
- Gange R, Blackett A, Mazinge E, Sutherland B. Differential effects of UVA- and UVB-induced tans upon UVB-induced pyrimidine dimer formation and erythema in human skin. *J Invest Dermatol* 1984; 82; 419-420.
- Hausser K. and Vahle W. *Stralenterapie.* 1921; 13:41
- Hensler T, Christophers E. Skin tumors in psoralen- and ultraviolet A treated patients. *Nat-Cancer-Inst-Monogr.* 1984; 66: 217-219
- Hensler T, Christophers E, Honingsmann H. Skin tumors in the European PUVA Study. *J. Am. Acad.Dermatol.* 1989; 20: 297-298
- Holmes MG. *Action Spectroscopy. Kirjassa Radiation Measurements in Photobiology.* Ed. Diffey BL. Academic Press London 1989.
- Huurto L. Valohoitolaitteiden UV-säteilyannokset ja niiden spektroradiometrinen määrittäminen. *Lisensiaatintyö Helsingin yliopisto* 1994.
- IEC Publ. 335-2-27, amendment no 1: Particular requirements for ultraviolet and infra-red radiation skin treatment appliances for household use. 198
- IEC International Standard: Method of measuring and specifying the UV-radiation of ultraviolet lamps used for sun-tanning. First edition 1993.
- Jansén C. Valohoidot. *Duodecim* 1985; 101: 1121-1134.
- Jansén C. Self-reported skin type and reactivity to UVB, UVA and PUVA irradiation. *Photodermatology* 1989; 6: 234-236
- Jokela K, Leszczynski K, Visuri R. Effects of arctic ozone depletion on UV exposure in Finland. *Photochem Photobiol.*; 1993: 4: 559-566
- Jung EG. Sun and Skin. ; *Dermatologica* 1975; 151: 257

- Karateknikka Oy. Airam UVM-8 käyttöohje. Helsinki 1994.
- Kligman LH, Aki FJ, Kligman AM. The contribution of UVA and UVB to connective tissue damage in hairless mice. *J Invest Dermatol* 1985; 4: 272-276
- Kligman LH, Sayre RM. An action spectrum for ultraviolet induced elastosis in hairless mice: Quantification of elastosis by image analysis. *Photochem Photobiol* 1991; 53: 237-242.
- Lee JAH. Melanoma and exposure to sunlight. *Epidemiol Rev* 1982; 110-136
- Leszczynski K. Ultravioletisäteilyaltistus ja dosimetria ihon hoidossa. XVII Sädeturvapäivät, Luennot; 1993: 16-20.
- Leszczynski K, Jokela K, Visuri R, Huurto L, Simola J, Koskela T, Taalas P, Aarva A. Performance tests of two Robertson-Berger type UV meters Solar Light Model 500 and 501. *Proc. International Symposium on High Latitude Optics, Tromso, Norway, 28 June 2 July 1993.*
- Leszczynski K. UV-valohoitolaitteet. Sähkömagneettisen säteilyn turvallisuusriskit. 20.-21.4. 1994. (S4036L) AEL-INSKO 1994a.
- Leszczynski K. Assessment and Comparison of Methods for Solar Ultraviolet Radiation Measurements. Licentiate Thesis, University of Helsinki, Report STUK-A-115, Säteilyturvakeskus 1994b.
- Leszczynski K, Jokela K, Visuri R and Ylianttila L. Calibration of the solar UV radiometers in Finland. Finnish Research Project on Climate Change. Publication of the Academy of Finland 4/96. Ed. Roos J. 1996.
- Leszczynski K, Jokela K, Ylianttila L, Visuri R and Blumthaler M. Report of the WMO/STUK intercomparison of erythemally-weighted solar UV radiometers. (Spring/summer 1995 Helsinki, Finland). World Meteorological Organization, Global Atmosphere Watch, Report No. 112. 1997
- Lew RA, Sober AJ, Cook N ym. Sun exposure habits in patients with cutaneous melanoma: a case control study. *J Dermatol Surg Oncol* 1983; 9: 981-986
- Lindelöf B. et al. PUVA and cancer: a large scale epidemiological study *Lancet* 1991; 13: 91-93
- Marks R. Primary prevention of skin cancer. *BMJ* 1994; Vol 309
- Megaw JM, Drake LA. Photobiology of the skin. Kirjassa *Photobiology of the skin and eye*. Ed. Jackson EM. Marcel Dekker, New York 1986
- Moan J, Dahlback A, Larsen S, Henriksen T. Ozone depletion and some of its biological consequences. *Trends in Photochemistry & Photobiology* 1990; 1: 95-106
- Mountford PJ. Phototherapy and photokemotherapy ultraviolet irradiation equipment. *Photodermatology* 1986; 3: 83-91.
- Noonan FP, De Fabo EC. Ultraviolet -B dose-response curves for local and systemic immunosuppression are identical. *Photochem. Photobiol.* 1990; 52: 801-810.
- Parrish JA, Anderson RR, Urbach F Pitts D. 1978. UV-A: biological Effects of Ultraviolet Radiation with Emphasis on Human Responses to longwave Ultraviolet (Chichester: John Wiley)
- Parrish JA, White HAD, Pathak MA. Photomedicine, kirjassa *Dermatology in General Medicine*, ed. Fitzpatrick TB ym. McGraw-Hill Inc., New York 1979; 972-994

- Parrish JA, Jaenicke KF. Action spectrum for phototherapy of psoriasis. *J. of Invest. Dermatol.* 1981; 76; 359-362
- Parrish JA. Response of Skin to Visible and Ultraviolet Radiation. *Kirjassa Biochemistry and Physiology of the Skin.* Ed. Goldsmith LA. Oxford Univ. Press New York 1983.
- Parrish et al. *Photochemistry and Photobiology*, 1983; 36: 188
- Pietiko: Solar Light mittareiden käyttöohje. Pietiko Oy 1994.
- Ros A-M. Photosensitive psoriasis. Epidemiological, clinical and experimental studies. *Acta Dermatol Vener Supplementum* 131 1987.
- Sayre RM and Kligman LH. *Photochemistry and Photobiology* 1991; 55: 141-143.
- Scotto J Fears TR, Fraumeni JF Jr. Incidence of nonmelanoma skin cancer in the United States. *Bethesda, Md:National Institute of Health;1983. Publication 83-2433.*
- Setlow RB. The Wavelengths in sunlight effective in producing skin cancer: A theoretical analysis. *Proc. Nat. Sci.* 1974: 71; 3363-3366
- Seyfried M. Optical Radiation Interactions with Living Tissue. *Kirjassa Radiation Measurements in Photobiology.* Ed. Diffey BL. Academic Press London 1989.
- SFS-IEC 50(845) Sähköteknillinen sanasto. Valaistus. Suomen standardisoimisliitto ja Suomen Sähköteknillinen Standardisoimisyhdistys SESKO 1992.
- Snellman E. Heliotherapy of Psoriasis, An Experimental and Clinical Study. KELA 1993
- Snellman E, Jansen CT, Leszczynski K, Visuri R, Milan T and Jokela K. Ultraviolet erythema sensitivity in anamnestic (I-IV) and phototested (1-4) Caucasian skin phototypes: The need for a new classification system. *Photoche. Photobiol.* 1995; 62: 769-772.
- Solar Light Co. Model 3DV2.0 Erythema UV&UVA Intensity Meter, Instruction Manual. 721 Oak Lane, Philadelphia, January 1994
- Stern RS, Lange R. Non-melanoma skin cancer occurring in patients treated with PUVA five to ten years after first treatment. *J. Invest. Dermatol.* 1988; 91:120-124
- Stern RS. Genital tumors among men with psoriasis exposed to psoralen and ultraviolet A radiation (PUVA) and ultraviolet B radiation. *N. Engl. J. Med.* 1990; 19: 1093-1097
- Stern RS. Risks of cancer associated with long-term exposure to PUVA in humans: current status 1991. *Blood-Cells* 1992; 18: 91-97
- Stern RS, Khan TN, Väkevä L. Malignant melanoma in patients treated for psoriasis with methoxsalen (psoralen) and ultraviolet radiation (PUVA). *N Engl J Med* 1997; 336: 1041-45.
- STMp 1474/1991 Sosiaali- ja terveystieteiden ministeriön päätös ionisoimattoman säteilyn enimmäisarvoista.
- STUK Tiedottaa 1/1996: Auringon UV-säteily ja terveys.
- Torinuki W, Tagami H. Incidence of skin cancer in Japanese psoriatic patients treated with either methoxsalen, Goeckerman regimen, or both therapies. *J. Am. Acad. Dermatol.* 1988; 18: 1278-1281
- Urbach F. Ultraviolet radiation and skin cancer in man. *Prev Med* 1980; 9: 227-30

van der Leun JC. Ultraviolet erythema. PhD Thesis; University of Utrecht, The Netherlands, 1966

van Weelden H, Gruijl FR, van der Putte SCJ, Toonstra J, van de Leun JC. The carcinogenic effects of modern tanning equipment: Is UVA safer than UVB?. *Arch Dermatol Res* 1988; 280: 300-307.

Visuri R, Leszczynski K, Huurto L, Jokela K. Solariumlamppujen tarkastukset vuosina 1989 - 1992. STUK-B-STO 27. Säteilyturvakeskus 1993

Vitaliano PP and Urbach F. The relative importance of risk factors in nonmelanoma carcinoma. *Arch. Dermatol.* 1980; 116: 454-456.

Vitasa B, Taylor HR, Strickland PJ, Rosenthal FS, West, Abbey, Ng SK, Munoz B and Emmett EA. Association of nonmelanoma skin cancer and actinic keratosis with cumulative solar ultraviolet exposure in Maryland watermen. *Cancer* 1990; 65: 2811-2817.

WHO 1979 Environmental Health Criteria 14: Ultraviolet Radiation (Geneva: WHO)

Wolff K. Should PUVA be abandoned ? Editorial, *N Engl J Med* 1997; 336: 1090-91.

Taulukko A I Kokovartalon valotukseen tarkoitetut UV-valohoitolaitteet

Laitemerkki	Hankinta- vuosi	Laitemäärä sairaloissa kpl	Lamppumerkki	Lamppu- määrä kpl
PUVA-laitteet				
Airam PUVA 22	197? - 1983	8	Airam LUA 80W <i>tai</i> Philips TL 65-80W/09N	22 22
Airam PUVA 22A	1977 - 1983	3	Airam LUA 80W	22
PUVA 2200	1988 - 1990	2	Fit Sonne 100W	22
Waldmann PUVA 1000	1986 - 1989	4	Waldmann F85/100W PUVA <i>tai</i> Sylvania F75/85W/PUVA	26 - 28 26 - 28
Waldmann PUVA 6002	1985	1	Waldmann F85/100W PUVA	32
SUP-laitteet				
Kastor Työ Solarium	1988	1	Toshiba FL 20T8BL-330/18W	6
Metec Helarium 1380 ja 1381	1988 - 1996	4	Arimed B 13300/100W <i>tai</i> Helarium B1-12-100W <i>tai</i> Photomed A DA1-750-100W	20 20 20
Metec Helarium 1480 ja 1481	1982 - 1991	11	Arimed B 13300/100W <i>tai</i> Helarium B1-12-100W <i>tai</i> Photomed A DA1-750-100W	24 24 24
UV-B-laitteet				
Waldmann UV 1000	1983 - 1991	8	Sylvania F75/85W/UV6 <i>tai</i> Waldmann F85/100W/UV6	26 26
Waldmann UV 6002	1983 - 1987	8	Waldmann F85/100W UV6 <i>tai</i> Sylvania F75/85/UV6 <i>tai</i> Philips TL 100W/12 <i>tai</i> Voltarc U:S:A F71T12-2072	32 40 21 40
UV-A- ja UV-B- yhdistelmälaitteet				
Waldmann UV 7001K	1995	1	<i>UV-A-lamput:</i> Waldmann F85/100W PUVA <i>UV-B-lamput:</i> Waldmann F85/100W-UV21	27 13
Waldmann UV 8001K	1985 - 1992	6	<i>UV-A-lamput:</i> Waldmann F85/100W PUVA <i>tai</i> Cosmolux CA1-12 100W <i>UV-B-lamput:</i> Waldmann F85 100W -UV21 <i>tai</i> Voltarc FS1763T12-20715 <i>tai</i> Philips TL 100W/12	27 ⁽¹⁾ 27 13 ⁽¹⁾ 13 13

¹ Yhdessä hoitolaitteessa PUVA-lamppujen lukumäärä on 21 ja UV-B-lamppujen 18.

Taulukko A II Paikallishoitoihin ja valotestehin käytettävät UV-laitteet.

Laitemerkki	Hankinta- vuosi	Luku- määrä kpl	Lamppumerkki	Luku- määrä kpl
Paikallis-PUVA-laitteet				
Airam PUVA 12	1982 - 1988	2	Airam LUA 20/40W	12
Airam PUVA 4	1977 - 1991	13	Airam LUA 15W	4
Waldmann PUVA 180 ⁽¹⁾	1977 - 1989	8	Airam LUA 15W <i>tai</i> Philips TL 44D 25/ 60N <i>tai</i> Sylvania F15T8/PUVA <i>tai</i> Waldmann PUVA F15/15W	8 8 8 8
Waldmann PUVA 200	1979 - 1991	8	Sylvania F8T5 PUVA	14
Waldmann UV 800	1984	1	Philips TL 20W 09N	10
Pienet SUP- ja UV-B-laitteet				
Metec Helarium 630-2	1989	1	Helarium B1-12-40W	6
Corona III UVB	199? - 1996	2	Philips TL 40W/12	3
Corona Mini UVB	1992 - 1993	4	Philips TL 20W/12	2
Handylux UV 88-H	1992 - 1993	2	F8T5 UVB <i>tai</i> FL8E	8 8
Psorikammat				
Dermalight 80 Psoracomb	1991 - 1994	5	Philips TL 4W/12	2
Saalmann Psora-Kamm	1989 - 1993	2	- ⁽²⁾	
Monimetallilamppulaitteet				
Philips HP 3136	1992	1	Philips HPA 400W + suodatinlasi	1
Sellas Sunlight 2000	1992 - 1993	3	Sellas lamps typ 2001 + suodatinlasi	1

- 1) Huom. Laitteessa oleva lasinen suojalevy leikkaa pois UVB-säteilyn ja vaimentaa myös UVA-säteilyä.
2) Lamppumerkki ei ole tiedossa.

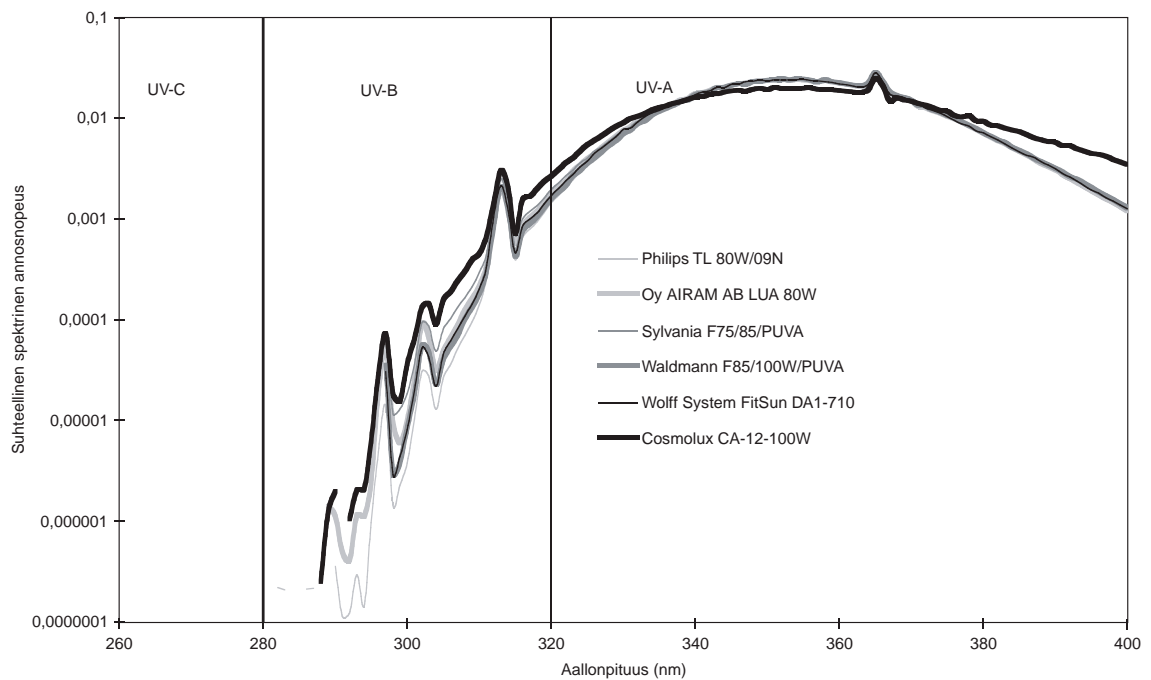
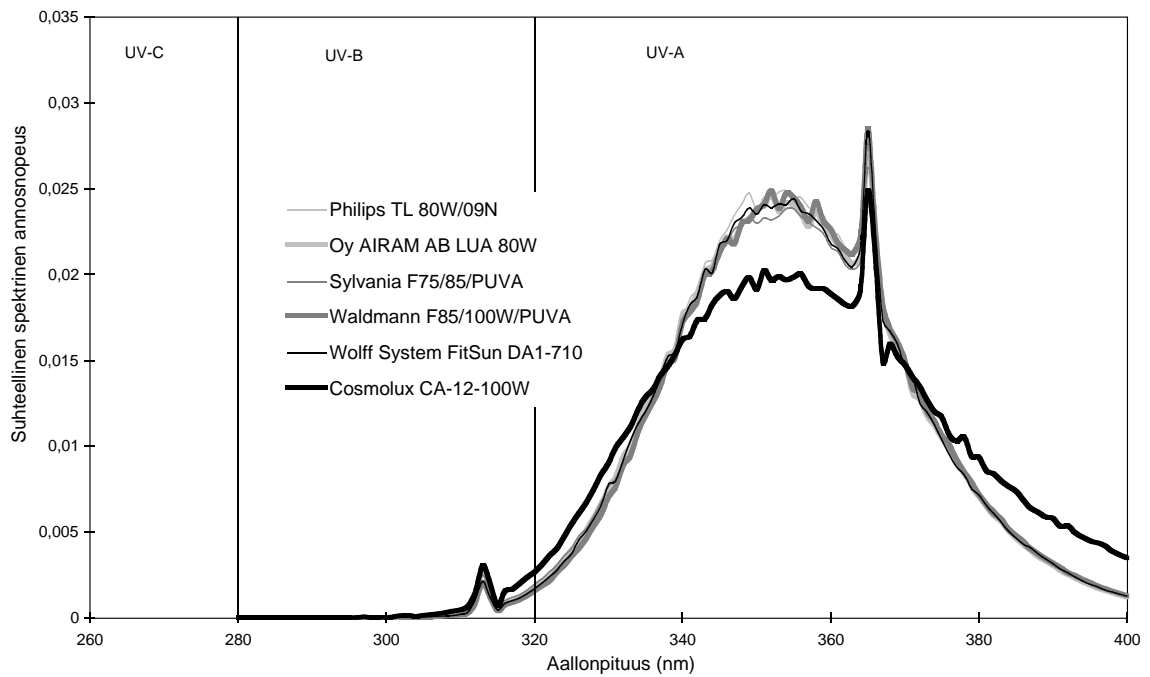
LIITE B

Taulukko B I Yhteenveto eri UV-lamppujen spektristä ominaisuuksista.
Taulukko perustuu valohoitolaitteista mitattuihin UV-spektreihin.

UV-lamppumerkki		Painottamaton spektri		UV-B:n osuus eryteemaefekt. annoksesta
		suhteelliset osuudet UV-B	UV-A	
PUVA- loistelamput				
Philips	TL 20W/09			
Philips	TL 65-80W/09N	1%	99%	32 - 37 %
Philips	TLK 40W/09R			
Philips	TLD15W/09N			
Waldmann	F85/100W/PUVA	1%	99%	33 - 40 %
Wolff System	FIT SUN DA1-710-100W	1%	99%	33 - 40 %
Sylvania	F75/85/PUVA	1%	99%	40 - 50 %
Airam	LUA 80W	1%	99%	45 - 50 %
Airam	LUA 15 W			
Cosmolux	CA1-12-100W	2%	98%	57 %
Sylvania	F8T5/PUVA	3%	97%	70 - 75 %
SUP-loistelamput				
Wolff System	Helarium B1-12-100W	7%	93%	81 - 85 %
Arimed	B-13300-100W	4%	96%	79 %
Wolff System	Photomed A DA1-750-100W ⁽¹⁾	9%	91%	88 %
Toshiba	FL 20T8BL-330/18W	16%	84%	95 %
UV-B- loistelamput				
Voltarc	F71T12-2072	41 - 42 %	58 - 59 %	99 %
Voltarc	FS1763T12-2071	41 - 42 %	58 - 59 %	99 %
Voltarc	FS1763T12-20715	58 %	42 %	100 %
Waldmann	F85/100W UV6	50 %	50 %	99 %
Sylvania	F75/85/UV6	50 %	50 %	99 %
Philips	TL 4W/12 ⁽²⁾			
Philips	TL 100W/12 ⁽²⁾	60 - 66 %	34 - 40 %	98 - 99 %
Philips	TL 20W/12 ⁽²⁾			
Waldmann	F85/100W/UV21 ⁽²⁾	49 - 60 %	40 - 51 %	98 - 99 %
Monimetallilamput				
Sellas lamps typ 2001 + suodatin		0 %	100 %	0 %
Philips HPA 400 W + suodatin		2 %	98 %	75 %
Aurinko				
Helsingissä kesäpäivänä, auringon korkeuskulma 53°		5 %	95 %	76 %

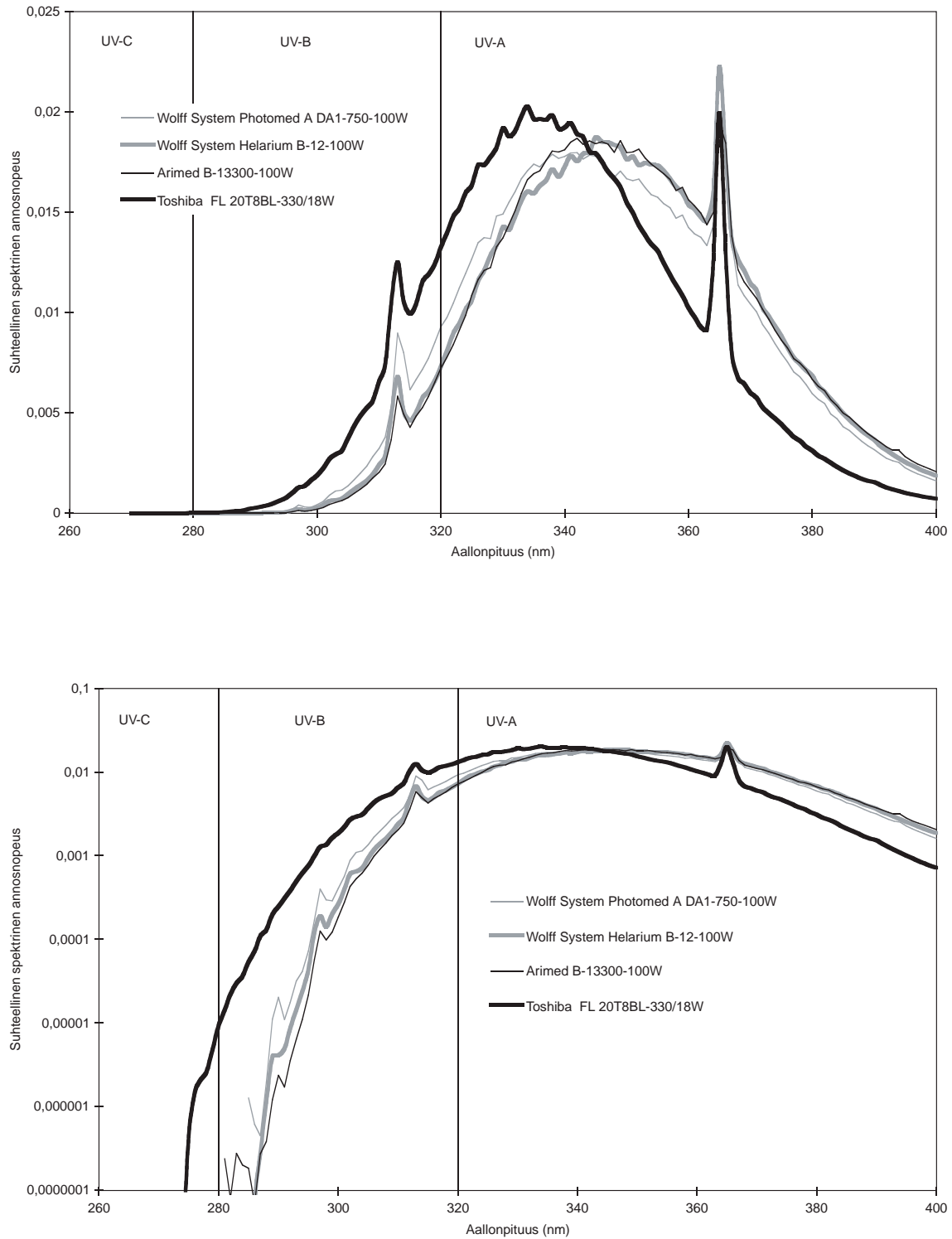
1) Mitattu erillisestä loistelampusta

2) Eryteemavaikutuksesta 1 - 2 % aiheutuu UV-C:stä.

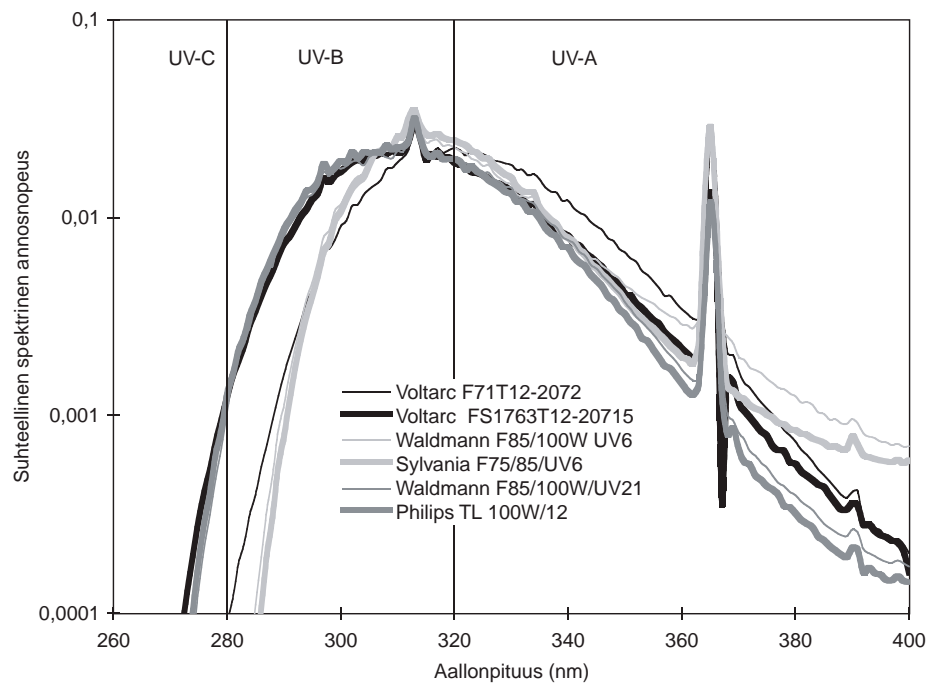
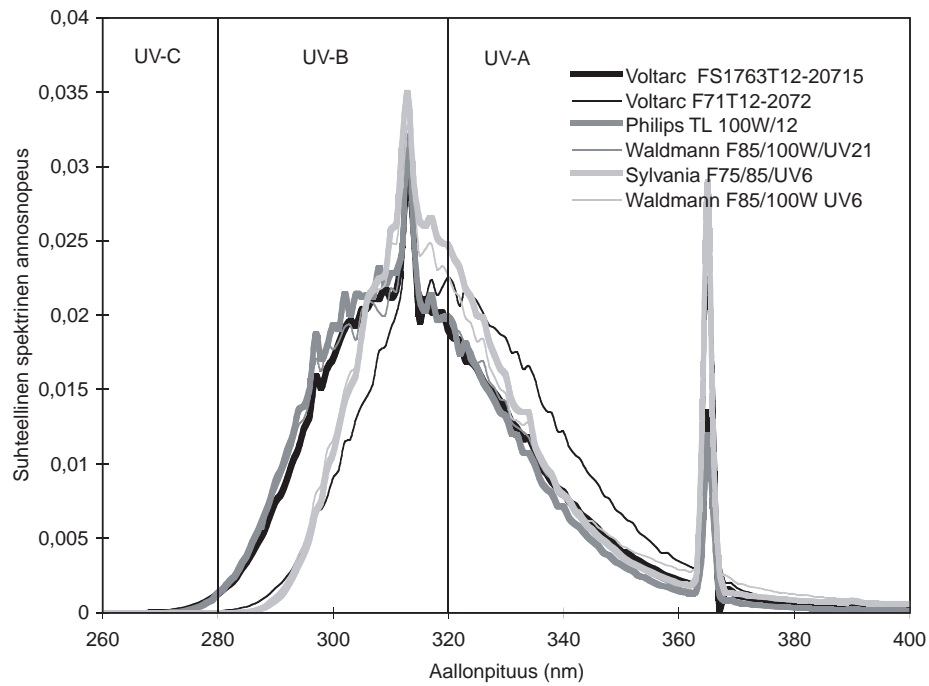


Kuva B.1. Kuuden erilaisen PUVA-lamppumerkin UV-spektrit lineaarisella (a) ja logaritmisella (b) asteikolla. Spektrit perustuvat hoitolaitteista tehtyihin mittauksiin ja ne on normitettu siten, että niiden annosnopeudet ovat yhtäsuuret.

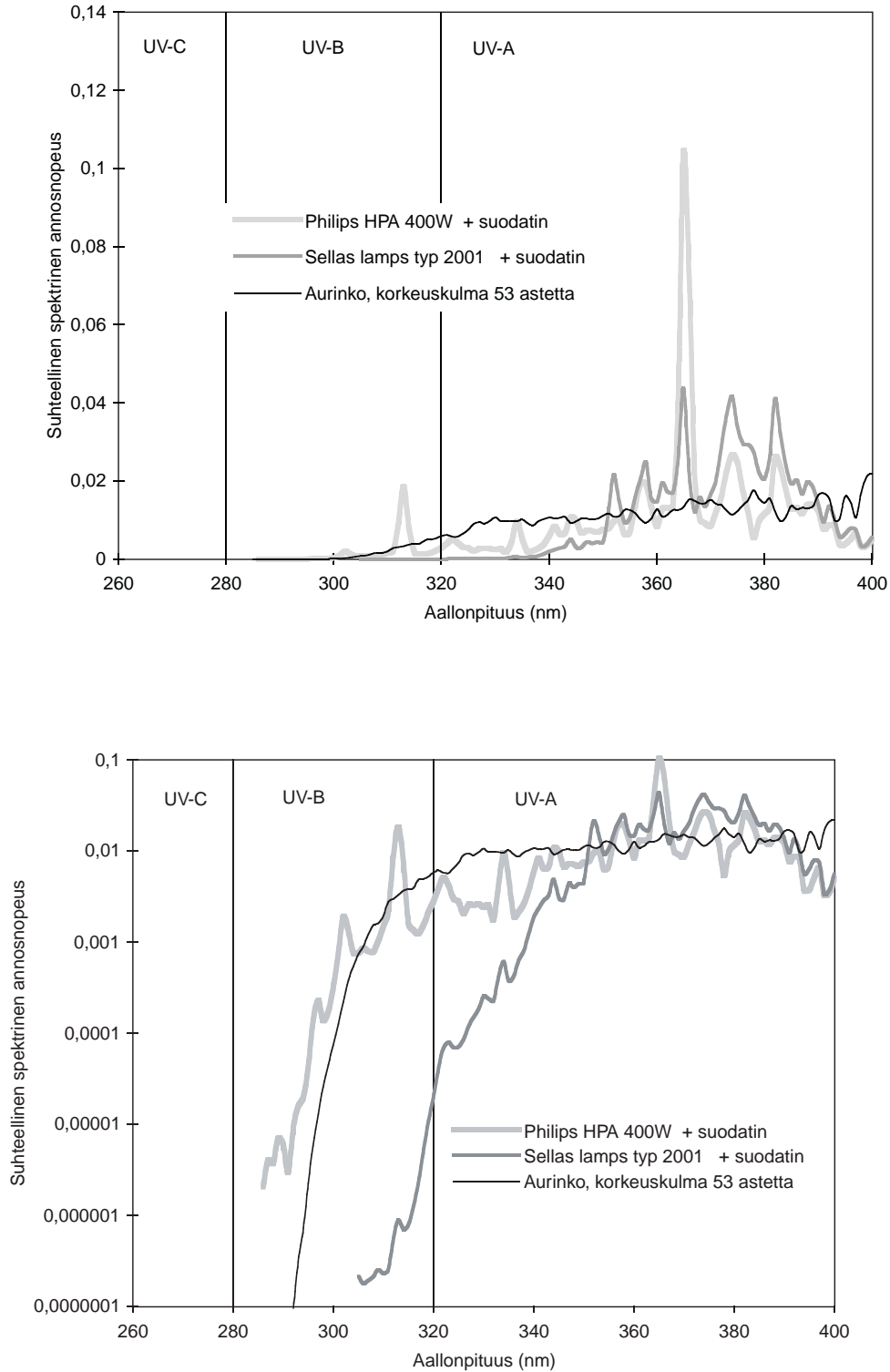
LIITE B



Kuva B.2. Neljän erilaisen SUP-hoitoihin käytettävän lampunmerkin UV-spektrit lineaarisella (a) ja logaritmisella (b) asteikolla. Spektrit perustuvat hoitolaiteista tehtyihin mittauksiin ja ne on normitettu siten, että niiden annosnopeudet ovat yhtäsuuret.



Kuva B.3. Kuuden erilaisen UV-B-lamppumerkin UV-spektrit lineaarisella (a) ja logaritmisella (b) asteikolla. Spektrit perustuvat hoitolaitteista tehtyihin mittauksiin ja ne on normitettu siten, että niiden annosnopeudet ovat yhtäsuuret.



Kuva B.4. Kahden erilaisen suodatetun monimetallilampun sekä auringon UV-spektrit lineaarisella (a) ja logaritmisella (b) asteikolla. Spektrit perustuvat hoitolaitteista tehtyihin mittauksiin ja ne on normitettu siten, että niiden annosnopeudet ovat yhtäsuuret.

Taulukko C I Kokovartalon PUVA-laitteiden UV-annosnopeudet

Laitemerkki ja mitattujen laitteiden lukumäärä	Lampunmerkki ja lukumäärä	Mittaus- etäisyys sm	Painottamaton annosnopeus W/m ² UV-B UV-A	Eryteema- efektiivinen annosnopeus SED/h ⁽¹⁾	Yhden SED:n annoksen kertymäaika
PUVA-laitteet					
Airam PUVA 22	Philips TL 65-80W/09N	22	1,0...1,2	4,0...4,8	12...15 min
Airam PUVA 22	Airam LUA 80 W	22	0,70...0,84	2,6...3,2	19...23 min
Airam PUVA 22A	Airam LUA 80 W	22	0,93...1,1	3,4...3,9	15...18 min
PUVA 2200	Wolff System Fit Sun DA1-710-100W	22	1,0...1,2	4,0...4,8	12...15 min
Waldmann PUVA 1000	Waldmann F85/100 W PUVA	26	1,1...1,7	4,0...6,0	10...15 min
Waldmann PUVA 1000	Sylvania F75/85/PUVA	28	1,7	6,0	10min
Waldmann PUVA 6002	Waldmann F85/100 W PUVA	40	1,8	7,6	8 min
UV-A ja UV-B-yhdistelmälaitteet					
(vain UV-A-puiket)					
Waldmann UV 8001K	Waldmann F85/100W-PUVA	27 ⁽²⁾	1,0...1,7	4,0...6,4	9...15 min
Waldmann UV 8001K	Cosmolux CA1-12-100W	27	2	6,2	10min

1) 1 SED = 100 J/m² CIE-vaikutusspektriä painotettuna annoksena.

2) Yhdessä laitteessa UV-A-puikien lukumäärä oli 22.

Taulukko C II Kokovartalon SUP- ja UV-B-laitteiden UV-annosnopeudet

Laitemerkki ja mitattujen laitteiden lukumääriä	Lampunmerkki ja lukumääriä	Mittaus- etäisyys m	Painotamanon annosnopeus W/m ²	UV-B	UV-A	Elyteema- efektiivinen annosnopeus SED/h ⁽¹⁾	Yhden SED:n annoksen kertymäaika	
SUP-laitteet								
Kastor Työ Solarium	1 Toshiba	FL 20T8BL-330/18W	7	20	6,5	35	32	1 min 52 s
Motec Helarium	9 Wolff System	Helarium B1-12-100W	24 ⁽²⁾	15-22	4,8..9,2	75..130	14..29	2 min 15 s..4 min 17 s
Motec Helarium	1 Aitmed	B 13300/100W	24	8	6,5	106	17,2	3 min 30 s
UV-B-laitteet								
Waldmann UV 1000	2 Sylvania	F75/85/UV6	26	20-30	10..16	11..15	70..110	33..52 s
Waldmann UV 1000	2 Waldmann	F85/100W-UV6	26	16-20	12..20	13..20	90..164	22..38 s
Waldmann UV 6002	1 Philips	TL 100W/12	21	30	4,3	25	600	6 s
Waldmann UV 6002	1 Voltarc	F71T12-2072	40	30	3,3	46	212	17 s
Waldmann UV 6002	1 Voltarc	FS1763T12-2071	38	30	3,3	21	260	14 s
Waldmann UV 6002	3 Waldmann	F85/100W-UV6	40	30	16..19	20..21	130..164	22..28 s
UV-A ja UV-B-yhdistelmälaitteet (vain UV-B-putket)								
Waldmann UV 8001K	1 Waldmann	F85/100W-UV21	18	30	31	21	424	8 s
Waldmann UV 8001K	1 Waldmann	F85/100W-UV21	13	30	2,5	16	360	10 s
Waldmann UV 8001K	1 Philips	TL 100W/12	13	30	2,0	13	276	12 s
Waldmann UV 8001K	1 Voltarc	FS1763T12-20715	13	25	2,5	18	332	11 s

1) 1 SED = 100 J/m² CIE-vaikutusspektrillä painotettuna annoksena.

2) Yhdessä laitteessa putkien lukumääriä on 20 kpl. Kahdeksan laitteen keskiarvona annosnopeus oli 20 SED/h ja SED:n kertymäaika 3 min.

Taulukko C III Paikallishoito- ja testilaitteiden annosnopeudet

Laitemerkki ja mitattujen laitteiden lukumäärä	Lamppumerkki ja lukumäärä	Mittaus- etiäisyys cm	Painottamaton annosnopeus W/m ² UV-B UVA	Eryteena- efektiivinen annosnopeus SED/h ⁽¹⁾	Yhden SED:n annoksen kertymäaika
Paikallis-PUVA					
Airam PUVA 4	3 Airam LUA 15W	4	0,46...0,58 27...36	1,44...2,2	28...42 min
Waldmann PUVA 180	2 Philips TL 44D25/09N	8	0,00	1,26	58 min
Waldmann PUVA 180	2 Sylvania F15T8/PUVA	8	0,01	1,06...1,4	40...57 min
Waldmann PUVA 180	2 Sylvania F15T8/PUVA	8	0,01	1,32...1,54	40...45 min
Waldmann PUVA 180	1 Philips TLD 15W/09N	12	0,00	1,58	38 min
Waldmann PUVA 200	2 Sylvania F8T5/PUVA	14	2,5...3,2	9,2...12,2	5...7 min
Waldmann PUVA 200	4 Sylvania F8T5/PUVA	14	1,6...2,0	6,2...7,4	8...10 min
Waldmann UV 800	1 Philips TL 20W/09N	10	0,62	1,76	34 min
Waldmann UV 800	1 Philips TLK 40W/09N	6 ⁽³⁾	0,48	2,2	27 min
Paikallis-UV-B					
Corona Mini	4 Philips TL 20W/12	2	9,3...14	140...200	17...25 s
Dermalight 80 PsoraComb	5 Philips TL 4W/12	2	17...22	220...312	12...17 s
Monimetallilampputlaitteet					
Sellas Sunlight ⁽⁵⁾	2 Sellas lamps typ 2001 + suodatin	1	0,01...0,03	550...670	7...9 min
Philips HP 3136 ⁽⁶⁾	1 HPA 400W + suodatin	1	2,3	7,2	8 min

1) 1 SED = 100 J/m² CIE-vaikutusspektrillä painotettuna annoksena.

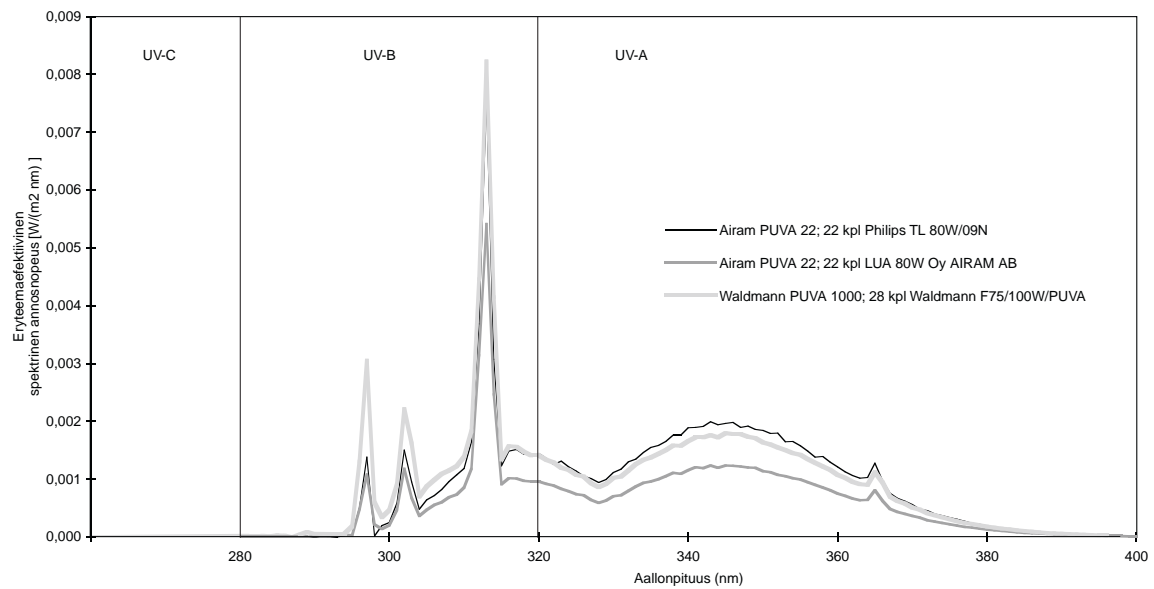
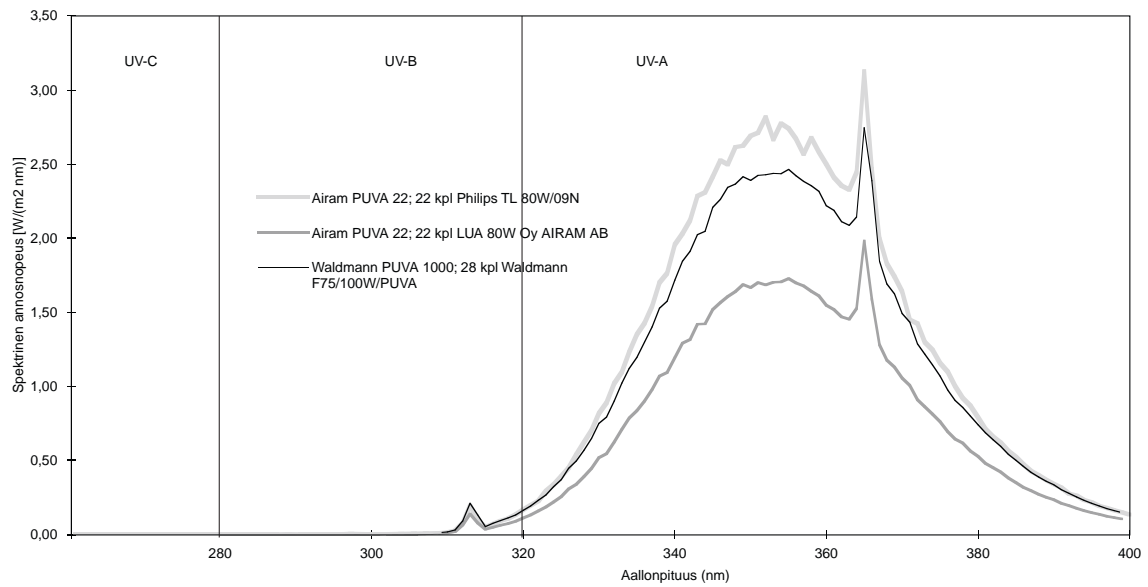
2) Mittaukset tehty laitteiden suojalasin pinnassa

3) Laitteen 10 lampusta 4 ei toiminut.

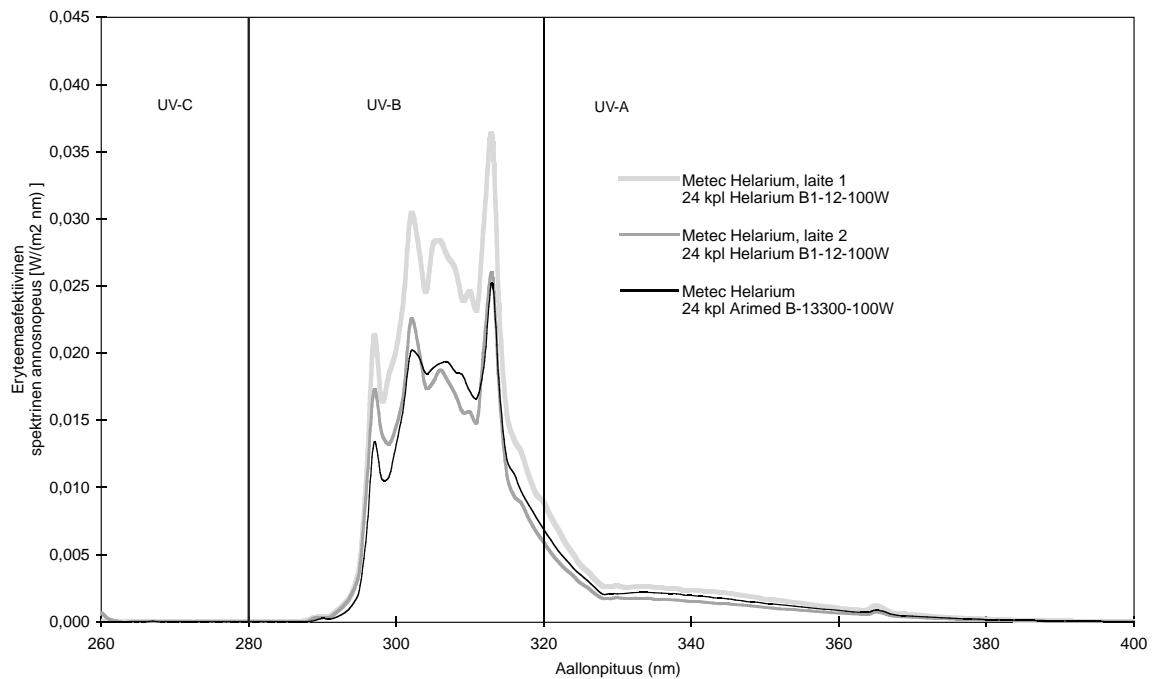
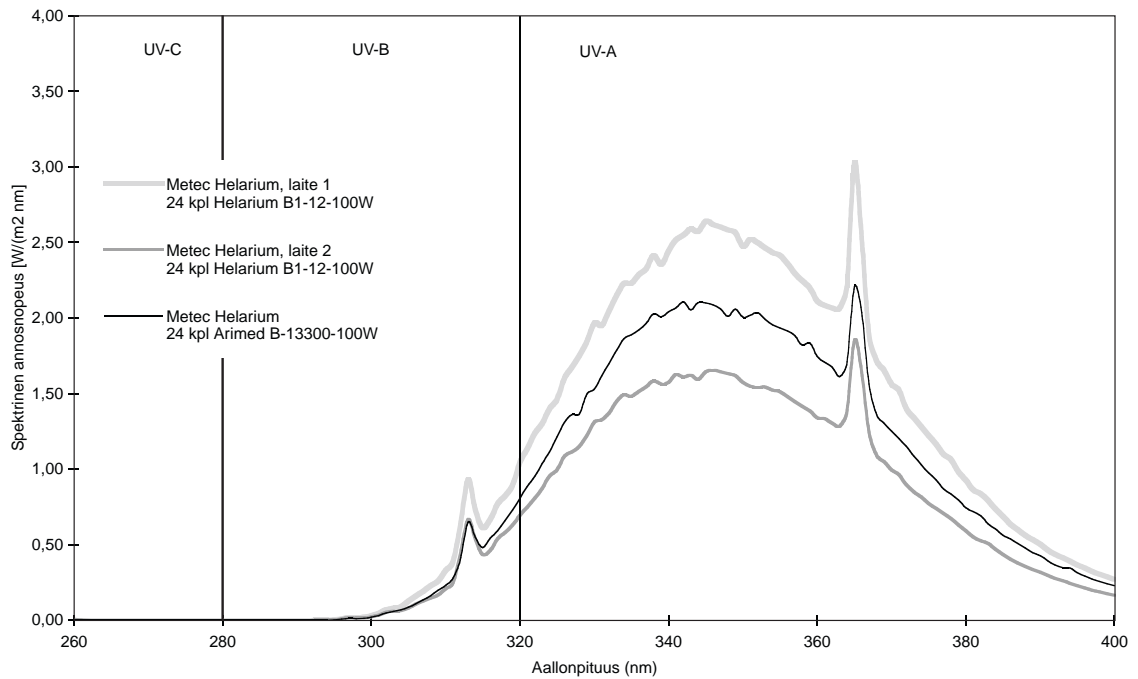
4) Mittaus on tehty kampaosan piikkien tasossa.

5) Laite on hyvin voimakas UV-A-lähde.

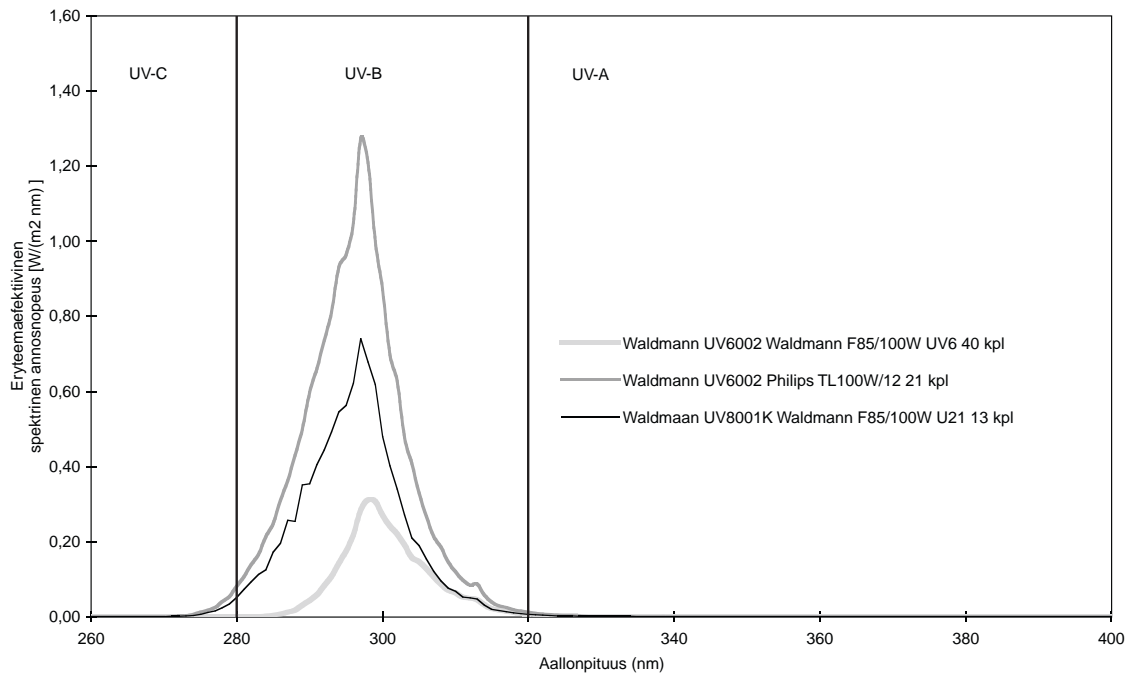
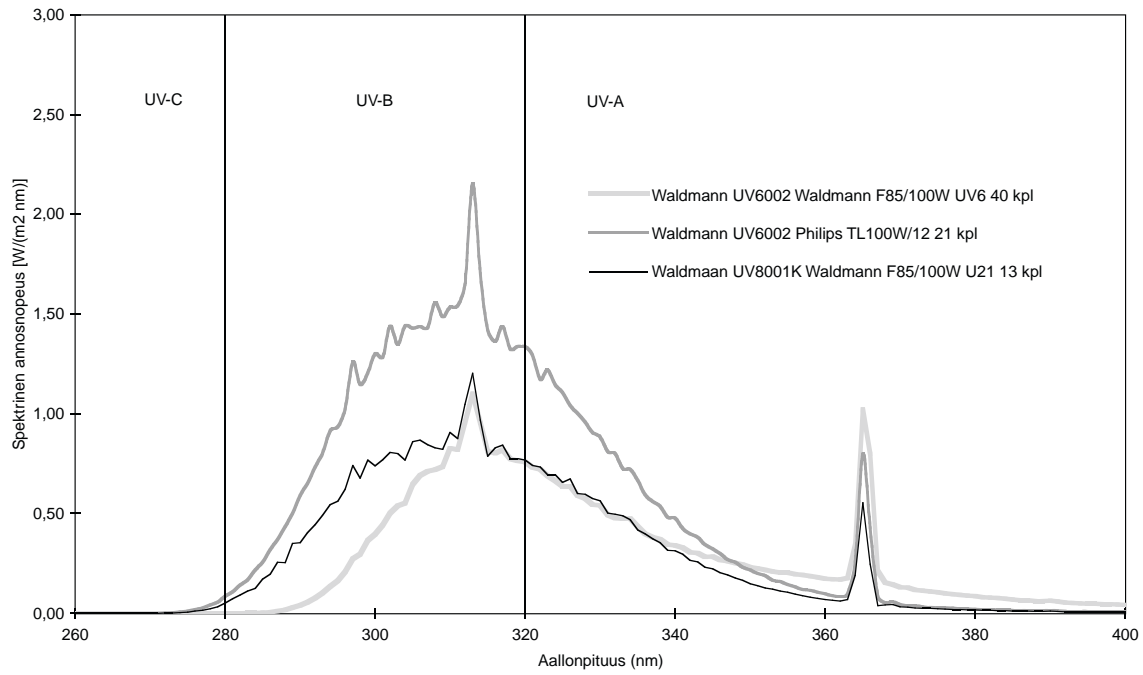
6) Laitteen spektri on lähes samanlainen kuin auringon spektri. Vuodesta 1994 alkaen laitteen nimi on ollut HB411.



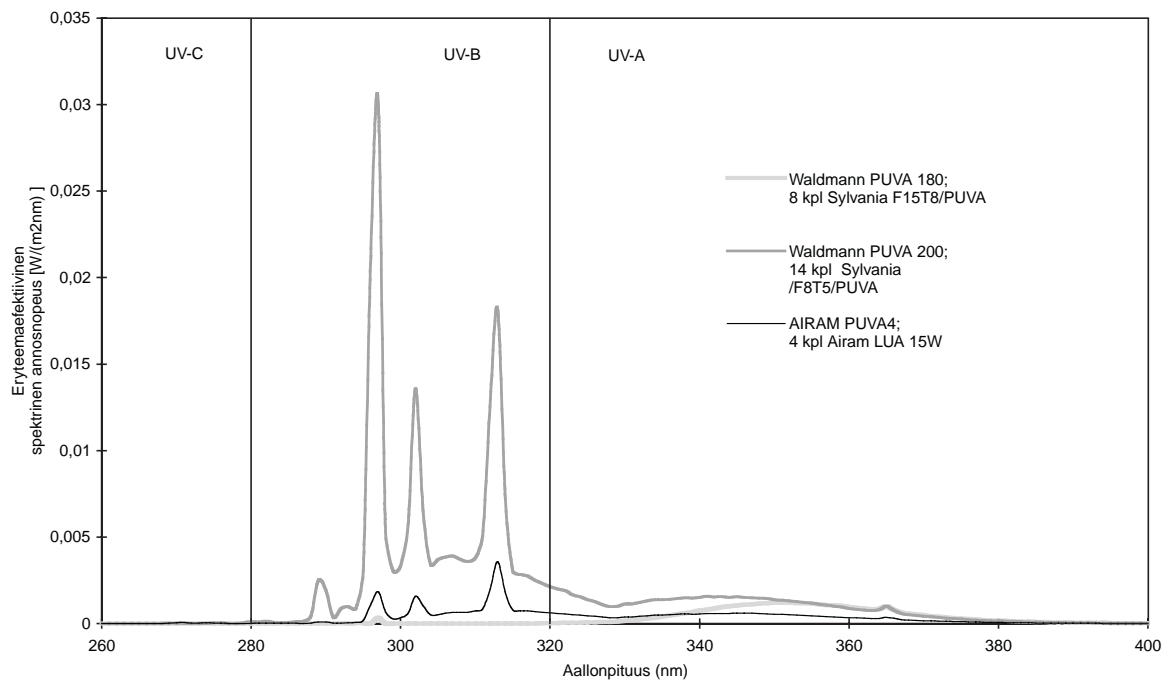
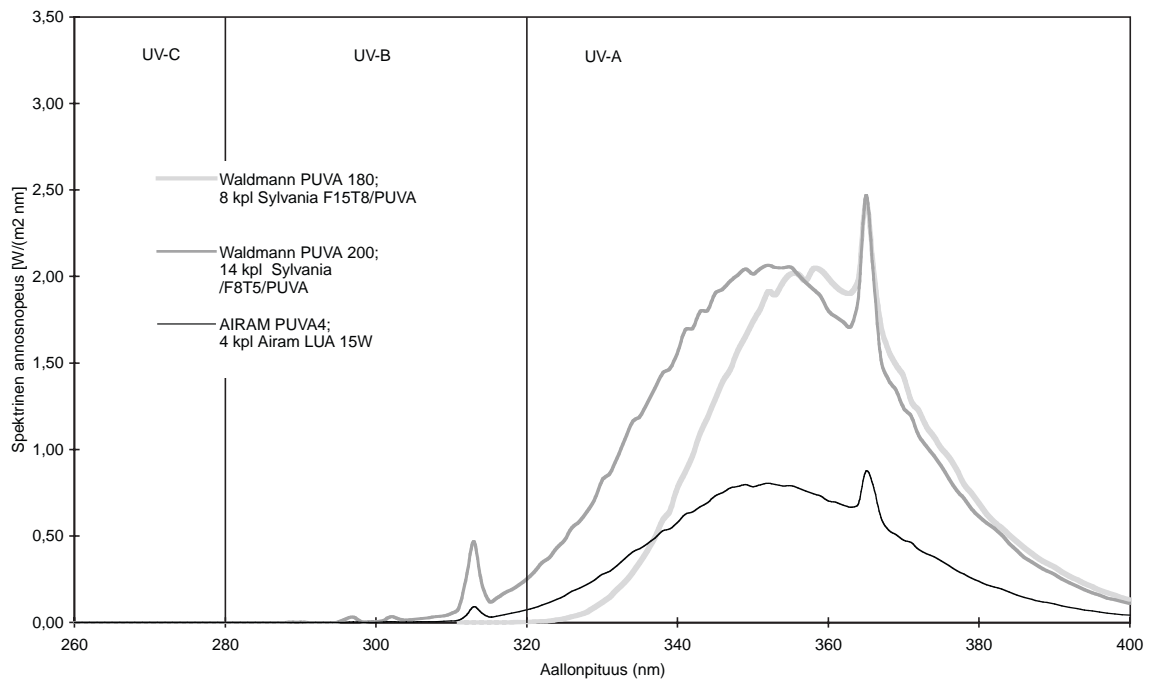
Kuva C.1. Kolmen erimerkkisen PUVA-laitteen painottamattomat (a) ja eryteemaefekttiiviset UV-spektrit (b). Mittaukset on tehty normaalilla hoitoetäisyydellä.



Kuva C.2. Metec Helarium laitteen painottamattomat (a) ja eryteemaefektiiviset UV-spektrit (b) käytettäessä eri merkisiä UV-lamppuja. Mittaukset on tehty normaalilla hoitoetäisyydellä.



Kuva C.3. Kolmen erimerkkisen UV-B-laitteen painottamattomat (a) ja eryteemaefektiiviset UV-spektrit (b). Mittaukset on tehty normaalilla hoitoetäisyydellä.



Kuva C.4. Kolmen erimerkkisen paikallis-PUVA-laitteen painottamattomat (a) ja eryteemaefektiiviset UV-spektrit (b). Mittaukset on tehty normaalilla hoitoetäisyydellä.

LIITE D

LAAJAKAISTAISTEN UV-MITTAREIDEN KALIBROINTI-KERTOIMET UV-VALOHOITOLAITTEIDEN MITTAAMISEEN

UV-B-laitteiden mittaamiseen annetut kalibroitukertoimet soveltuvat hoitolaitteille, joissa käytetään jotain seuraavista UV-lampuista:

Philips TL 4W/12
Philips TL 100W/12
Philips TL 20W/12
Voltarc FS1763T12-20715
Waldmann F85/100W/UV21

SUP-laitteiden mittaamiseen annetut kalibroitukertoimet soveltuvat hoitolaitteille, joissa käytetään jotain seuraavista UV-lampuista:

Arimed B 13300/100W
Helarium B1-12-100W
Photomed A DA1-750-100W

PUVA-laitteiden mittaamiseen annetut kalibroitukertoimet soveltuvat hoitolaitteille, joissa käytetään jotain seuraavista PUVA-lampuista:

Airam LUA 80W
Airam LUA 15 W
Cosmolux CA1-12-100W
Philips TL 20W/09
Philips TL 80W/09N
Philips TLK 40W/09R
Philips TLD15W/09N
Sylvania F75/85/PUVA
Sylvania F8T5/PUVA
Waldmann F85/100W/PUVA
Wolff System FIT SUN DA1-710-100W

Taulukko D I Kalibroituskertoimet Airam UVM-8 -mittareille
Kalibroituskertoimien määrittämisen radiometrinen epävarmuus $\pm 16\%$

	Mittarin sarjanumero	Anturin sarjanumero	UV-B-laitteet	SUP-laitteet	PUVA-laitteet
Airam UVM-8 UV-A-anturi	#7-1060 ⁽¹⁾	UVM-7A #790420		0,66	0,47
	#78-111	UVM-8A #81A306		1,3	0,89
	#78-115 ⁽²⁾	UVM-8A #78-307		0,96	0,80
	#79-122	UVM-8A #79-317		0,96	0,78
	#79-144	UVM-8A ei numeroa		1,2	0,82
	#80-163 ⁽³⁾	UVM-8A # H582		3,5	2,2
	#80-187	UVM-8A #79-362		0,96	0,72
	#80-192	UVM-8A #79-366		1,1	0,79
	#81A104	UVM-8A #81A310		1,3	0,88
	#82-103	UVM-8A #81A303		1,3	0,92
Airam UVM-8 UV-B-anturi	#79-144	UVM-8B #82713	1,5	1,0	
	#80-163 ⁽³⁾	UVM-8B #82707	4,2	3,0	
	#80-192	UVM-8B #84711	1,6	1,1	
	#82-103	UVM-8B #8471	1,6	1,2	
	#84A102	UVM-8B #84715	1,6	1,0	

- 1) Mittarin merkki on Airam UVM-7
- 2) STUK:n mittari
- 3) Selvästi virheellisesti toimiva mittari

LIITE D

Taulukko D II Kalibroitikertoimet Solar Light -mittareille.
Kalibroitikertoimien määrittämisen radiometrinen epävarmuus $\pm 16\%$

	Mittarin ja anturin sarjanumero	UV-B-laitteet	SUP-laitteet	PUVA-laitteet
Solar Light UV-A-anturit	----- ⁽¹⁾		3,8	2,1
	Model 3D #00342		1,1	0,83
	Model 3D #680		0,65	0,47
	Model 3DV2.0 #1427		1,1	0,74
	Model 3DV2.0 #1807		1,0	0,77
	PM2100#2549		0,82	0,63
Solar Light SUV-anturit	----- ⁽¹⁾	- ⁽⁴⁾	1,9	2,3
	Model 2D ⁽²⁾	2,6	1,5	1,3
	Model 2D #301	3,2	1,9	1,7
	Model 2D #303	3,1	1,7	1,1
	Model 2D #308	2,8	1,6	1,1
	Model 3D #342	2,6	1,5	1,3
	Model 3D #680	3,0	1,4	1,0
	Model 3DV2.0 #1427	2,5	1,8	2,0
	Model 3DV2.0 # 1807	2,4	1,5	1,4
	Model 3DV2.0 #2133	1,4	1,0	0,9
	PMA 2100 #2549 ⁽³⁾	1,9	1,1	1,2

1) Ei mallinimikettä eikä sarjanumeroa

2) Ei sarjanumeroa

3) STUK:n mittari

4) Mittarin toiminta-alue ylittyi

Taulukko D III Kalibroituskertoimet Waldmann -mittareille
Kalibroituskertoimien määrityksen radiometrinen epävarmuus $\pm 16\%$

	Mittarin sarjanumero	UVB-laitteet	PUVA-laitteet	Waldmann PUVA 180 ¹⁾
Waldmann PUVA-meter	#1071		0,67	0,60
Waldmann Typ. 585 100 Valinta UVA	#2902		0,84	0,69
	#2230		0,77	0,59
	#2729		0,85	0,71
	#2582		0,75	0,60
	#2181		0,64	0,50
Waldmann Typ. 585 100 Valinta UV21	#2181	0,70		
	#2230	0,70		
	#2582	0,89		
	#2729	0,91		
	#2902	0,79		

1) Waldmann PUVA 180 -laitteeseen kiinteästi kuuluva lasilevy muuttaa laitteessa käytettävien UV-lamppujen tuottaman spektriä niin, että Waldmann-mittaria käytettäessä tälle laitteelle tarvitaan eri kalibroituskertoimen, kuin muille PUVA-laitteille.

Taulukko E I Valohoitolaiteiden sisäisten UV-mittareiden näyttämät annosnopeudet ja spektroradiometrillä mitatut annosnopeudet.

Hoitolaite	Lamppumerkki	Hoitolaitteen mittarilukema (mW/cm ²)	Spektroradiometrillä mitatut annosnopeudet (mW/cm ²)		
			UV-B	UV-A	UV-AB
PUVA-laitteet					
Airam PUVA 22A	Airam LUA 80 W	5,5 - 5	0,1	7,8	7,9
Airam PUVA 22A	Airam LUA 80 W	5 - 7,9	0,1	7,0 - 7,3	7,1 - 7,4
Waldmann PUVA 6002	Waldmann F85/100W PUVA	23 - 40	0,2	19,8	20,0
UV-B-laitteet					
Waldmann 6002	Voltarc F71T12-2072	3,1 - 3,8	3,2 - 3,5	4,5 - 4,8	7,6 - 8,3
Waldmann 6002	Voltarc F71T12-2072	2,7 - 3,3	2,8	3,9	6,7
Waldmann 6002	Waldmann F85/100W UV6	2,6	1,7 - 1,8	2,2	3,9
Waldmann 6002	Philips TL 100 W/12	2,4 - 2,6	4,2 - 4,3	2,5 - 2,6	7,0
Yhdistelmälaitteet					
Waldmann 8001K	Waldmann F85/100W PUVA	11,9	0,1	11,6	11,7
	Waldmann F85/100W UV21	2,4	1,9	2,0	3,9
Waldmann 8001K	Waldmann F85/100W PUVA	11,5	0,2	16,5	16,7
	Waldmann F85/100W UV21	2,0 - 2,1	2,5	1,6	4,1
Waldmann 8001K	Waldmann F85/100W PUVA	11	0,1	9,6 - 10	10,1
	Philips TL 100 W/12	3,0	2,0	1,3	3,3

Laskennallisen kalibroinnin teoria

Laskennallisessa kalibroinnissa oletetaan mittarin spektrisen herkkyyden vaikutuksen kalibrointikertoimeen olevan separoituva. Tällöin mittarin kalibrointikerroin CF_{ref} voidaan esittää muodossa

$$CF_{ref} = \frac{\int r_{cal,\lambda} E_{ref,\lambda} d\lambda}{\int r_{mit,\lambda} E_{ref,\lambda} d\lambda} k,$$

missä $r_{cal,\lambda}$ on ideaalinen mittarivaste, (eryteema, UVA, UVB), $r_{mit,\lambda}$ on mittarin suhteellinen spektrinen herkkyys, $E_{ref,\lambda}$ on UV-spektri, jolle mittari on kalibroitu ja k on mittarin kalibrointikerroin mittarin omalla spektrisellä herkkyydellä. Mittarin omalle spektriselle herkkyydelle laskettu kalibrointikerroin on tällöin

$$k = \frac{CF_{ref}}{s_{ref}},$$

missä

$$s_{ref} = \frac{\int r_{cal,\lambda} E_{ref,\lambda} d\lambda}{\int r_{mit,\lambda} E_{ref,\lambda} d\lambda}.$$

Uudelle UV-lähteelle saadaan laskennallinen kalibrointikerroin käyttämällä mittarin omalle spektriselle herkkyydelle laskettua kalibrointikerrointa k ja ottamalla erikseen huomioon uuden lähteen spektri $E_{lask,\lambda}$. Tällöin laskennalliseksi kalibrointikertoimeksi saadaan

$$CF_{lask} = s_{lask} k = CF_{ref} \frac{s_{lask}}{s_{ref}},$$

missä

$$s_{lask} = \frac{\int r_{cal,\lambda} E_{lask,\lambda} d\lambda}{\int r_{mit,\lambda} E_{lask,\lambda} d\lambda}.$$

Taulukko F I Laskennalliset kalibrointikertoimet

		Lamppumerkki			
Mittari ja sarjanumero	Anturin sarjanumero	Arimed B-13300-100W	Philips TL4W/12	Philips TLD15W/09N	Airam LUA 15 W
		Kalibrointikerroin Mitatuu Laskennallinen ⁽¹⁾	Kalibrointikerroin Mitatuu Laskennallinen ⁽¹⁾	Kalibrointikerroin Mitatuu Laskennallinen ⁽¹⁾	Kalibrointikerroin Mitatuu Laskennallinen ⁽¹⁾
UV-A-anturi					
Airam UVM-8A					
#80-192	#79-366	1,06	-	0,79	0,83
#80-103	#81A303	1,32	-	0,91	0,94
Solar Light PMA 2100					
#2549	#2375	0,82	-	0,63	0,66
UV-B-anturi					
Airam UVM-8B					
#80-192	#84711	1,08	1,58	1,91	
#80-103	#84714	1,25	1,64	2,09	
Eryseema-anturi					
Solar Light PMA 2100					
#2549	#2275	1,12	1,82	1,96	1,18

1) Laskennallisessa kalibroinnissa on käytetty peruskalibrointina Arimed B-13300-100W :lla tehtyä kalibrointia. Tähän kalibrointikertoimeen perustuen on laskettu kalibrointikertoimet muille lamppumerkeille.

Esimerkki valohoitojen annosseurantalomakkeesta.

Huom. PUVA-hoidoissa käytettävä psoraleeni ja sen annostelu on syytä mainita huomautuksia osassa, ellei se selviä muista hoitoon liittyvistä asiapapereista.

Nimi: _____		Henkilötunnus: _____			
Hoitomuoto <input type="checkbox"/> PUVA <input type="checkbox"/> SUP <input type="checkbox"/> UVB		Diagnoosi: _____			
Hoitolaite: _____		Lamppumerkki: _____			
Suojaukset: <input type="checkbox"/> Silmät <input type="checkbox"/> Genitaalit <input type="checkbox"/> Muu, mitä: _____					
Onko saanut valohoitoja aiemmin? <input type="checkbox"/> Ei <input type="checkbox"/> Kyllä		Milloin: _____			
Lisätietoja aiemmista hoidoista ja niiden UV-annos. _____					
Valotus- kerta	pvm	valotusaika	UV-annos	UV-annoskertymä	Huomautuksia
1					
2					
3					
4					
:					:
:					:

Hoitojakson UV-annos: _____

Kaikkien hoitojaksojen kokonaisannos: _____

